

## METODA POMIARU ZUŻYCIA PALIWA TŁOKOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH Z WYKORZYSTANIEM ZINDYWIDUALIZOWANYCH PARAMETRÓW ELEKTROMAGNETYCZNYCH WTRYSKU

### METHOD OF PISTON COMBUSTION ENGINES FUEL CONSUMPTION MEASUREMENT APPLYING INDIVIDUALIZED ELECTROMAGNETIC INJECTION PARAMETERS

*W artykule zaprezentowano nową metodę pomiaru zużycia paliwa tłokowych silników spaliny-  
wych wyposażonych w elektromagnetyczne wtryskiwacze paliwa. Metoda ta została zilustrowana  
na przykładzie silnika ZS wyposażonego w układ zasilania typu Common Rail.*

**Słowa kluczowe:** metoda pomiaru zużycia paliwa, układ zasilania typu Common Rail

*The paper presents a new method of fuel consumption measurement in piston combustion engines  
equipped with electromagnetic fuel injectors. That method is presented on the example of the  
ZS engine equipped with Common Rail type fuel supply system.*

**Keywords:** fuel consumption measurement method, Common Rail type fuel supply system

#### 1. Wprowadzenie

Pomiar zużycia paliwa jest jednym z ważniejszych czynników umożliwiających racjonalną eksploatację pojazdów mechanicznych. Nadmierne zużycie paliwa wpływa negatywnie zarówno na szeroko rozumianą ekonomię transportu jak także na środowisko naturalne, przy czym może być także informacją diagnostyczną, mogącą pomóc w określeniu aktualnego stanu technicznego silnika lub jego układów. Wczesne zidentyfikowanie takiego stanu, może uchronić silnik przed uszkodzeniem, ale w głównej mierze umożliwia planową realizację procesu transportowego. Inną istotną przesłankę określającą konieczność kontroli zużycia paliwa należy upatrywać w aspekcie ochrony środowiska. Ograniczenie emisji szkodliwych związków powstałych w wyniku funkcjonowania silnika, jest możliwe poprzez ciągły rozwój konstrukcji silników jak także poprzez stosowanie zasady im mniejsze zużycie paliwa przez silnik, tym mniejsze zanieczyszczenie środowiska naturalnego przy zachowaniu reżymu „czystości spalin”. Ta zasada przyświeca przyszłościowym światowym normom, które jednocześnie ograniczają wartości emisję związków szkodliwych do atmosfery, jak także określają wartość zużycie paliwa przez silnik, na przejechany kilometr lub wykonaną pracę. Widoczne to jest wyraźnie w europejskich normach emisji spalin [1]. Od roku 2008 emisja dwutlenku węgla dla samochodu osobowego (CO<sub>2</sub>) nie może przekroczyć średnio 140 g/km.

#### 1. Introduction

Fuel consumption measurement is among the major factors allowing rational operation of mechanical vehicles. Excessive fuel consumption has a negative influence on both the widely understood economy of transport and the natural environment. It can also provide diagnostic information that can help determining the current status of the engine and its systems. Early identification of that status can protect the engine from damage, but the main thing is that it allows planned implementation of the transport process. The natural environment is also an important consideration determining the need for fuel consumption control. Limiting emissions of harmful substances produced as a result of engine operation is possible through continual development of engines design as well as the application of the principle that the lower the fuel consumption by the engine the lower natural environment pollution resulting from maintaining the “clean exhaust” regime. That principle is the guideline for future global standards that at the same time limit the values of harmful substances emission to atmosphere and define fuel consumption values for engines per one kilometer or per work accomplished. This is clearly visible in the European exhaust emission standards [1]. As of 2008 the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission for a car cannot exceed 140 g/km in average. Obtaining the CO<sub>2</sub> emission standard below

Uzyskanie wartości emisji CO<sub>2</sub> przez pojazd poniżej tej wartości oznacza konieczność zużycia paliwa na poziomie ok. 5-6 l/100 km.

Przedmiotem artykułu jest przedstawienie nowej metody pomiaru zużycia paliwa dla tłokowych silników spalinowych posiadających elektromagnetyczne wtryskiwacze paliwa i zostanie ona zaprezentowana na przykładzie silnika ZS wyposażonego w układ zasilania typu Common Rail.

Proponowana w pracy metoda pomiaru zużycia paliwa, może być zastosowana zarówno do tłokowych silników spalinowych (ZI, ZS) jak i innych urządzeń wymagających cyklicznego wtryskiwania dokładnej odmierzonej dawki paliwa za pomocą wtryskiwaczy elektromagnetycznych. Jest to metoda trakcyjna, tzn. pomiar zużycia paliwa jest realizowany w rzeczywistych warunkach eksploatacji pojazdu lub maszyny roboczej. Zarówno konstrukcja jak i funkcjonowanie proponowanego paliwomierza nie wpływa i nie ingeruje w konstrukcję i funkcjonowanie układu zasilania paliwem.

### 2. Metody pomiaru zużycia paliwa w pojazdach użytkowych

W literaturze problemu odnajduje się szereg metod pomiaru zużycia paliwa [6, 8]. Możliwość ich zastosowania uzależniona jest od wielu czynników m.in.: żądanej dokładności pomiaru, możliwości zastosowania do konkretnych układów zasilania czy ingerencji w układ zasilania lub choćby kosztu takiego układu pomiarowego. Ogólnie metody pomiaru zużycia paliwa możemy podzielić na dwie grupy: laboratoryjne i trakcyjne (drogowe).

Główną grupę metod pomiaru zużycia paliwa stanowią metody laboratoryjne, są to metody które stosuje się w laboratoriach (badania hamowniane) lub podczas np. badań homologacyjnych pojazdów [2]. Metody te charakteryzują się dużą dokładnością pomiaru (ok. ±0,5%), lecz mogą być ze względów konstrukcyjno – metodycznych stosowane w ograniczonym zakresie. Zakres stosowania tego typu aparatury to laboratoria, tory pomiarowe, lub odpowiednio do tego przystosowane pojazdy. Wadą tych metod jest brak możliwości zastosowania do typowych pojazdów roboczych z uwagi na: duży koszt aparatury pomiarowej, konieczność okresowej kalibracji, trudne warunki eksploatacji którym nie jest w stanie sprostać precyzyjna aparatura laboratoryjna, konieczność ingerencji w układ zasilania, itd..

Metody trakcyjne (drogowe) są to metody, które umożliwiają monitorowanie zużycia paliwa przez silnik, w każdych warunkach jego eksploatacji poprzez urządzenia [6] lub procedury zaimplementowane na eksploatowanym obiekcie [5]. Metody te są stosowane

that value could mean fuel consumption at the level of ca. 5-6 l/100 km.

This paper presents a new method for fuel consumption measurement in piston combustion engines equipped with electromagnetic fuel injectors and it is presented on the example of a ZS engine equipped with the Common Rail type fuel supply system.

The fuel consumption measurement method proposed in this paper can be applied in case of piston combustion engines (ZI, ZS) as well as in other devices that require cyclic injection of precisely measured dose of fuel using electromagnetic injectors. This is a traditional method, i.e. fuel consumption measurement is done in actual operational conditions of the vehicle or machine. Both the design and operation of the proposed fuel gauge neither influence nor intervene in the design and operation of the fuel supply system.

### 2. Fuel consumption measurement methods in utility vehicles

Subject literature presents numerous methods of fuel consumption measurement [6, 8]. The possibilities of applying them depend on numerous factors such as, e.g. the required measurement accuracy. Possibility of application in a specific supply system or intervention in the supply system or even the shape of the measurement system. Generally, fuel consumption measurement methods can be divided into two groups: laboratory and traction (road) methods.

Laboratory fuel consumption measurement methods are the main group. Those are methods applied in laboratories (engine test bench) or during, e.g. homologation tests of vehicles [2]. Those methods are characterized by high measurement precision (ca. ±0,5%), but, for design and methodology reasons, they can be applied to a limited extent. This type of systems can be applied in laboratories, on test tracks or in appropriately adapted vehicles. The negative aspect of those methods is that they cannot be applied in standard working vehicles as a consequence of high cost of measurement devices, necessity of periodic calibration, difficult operational conditions that precise laboratory equipment is unable to survive, necessity of intervention in the fuel supply system, etc.

Traction (road) methods allow fuel consumption by engine monitoring during any operational conditions of the device [6] or procedures implemented in the operated object [5]. Those methods have been in use as of mid-1970s but until the present day they are treated as approximated measurement with high

od płowy lat siedemdziesiątych lecz do dnia dzisiejszego traktuje się je jako pomiar orientacyjny, o dużym błędzie pomiarowym. Uzyskiwana tu dokładność pomiaru, jest wypadkową kosztów poniesionych na wyprodukowanie przepływomierza, trwałości oraz zastosowanych metod określania zużycia paliwa (np.: linie Willansa, charakterystyka wtryskiwacza itp.).

### 3. Metody pomiaru zużycia paliwa na podstawie czasu trwania wtrysku

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie założeń dla trakcyjnej metody pomiaru zużycia paliwa dla nowoczesnych tłokowych silników spalinowych w których dawka wtrysku paliwa do cylindra jest sterowana poprzez czas otwarcia elektromagnetycznego wtryskiwacza paliwa.

Zaletami metody pomiaru zużycia paliwa według prezentowanej metody jest:

- brak konieczności ingerencji w układ zasilania silnika (możliwość montażu na fabrycznie nowych silnikach bez obawy utraty gwarancji);
- całkowita brak wpływu paliwomierza na funkcjonowanie silnika jak i pojazdu na którym został on zaimplementowany;
- niezawodność i odporność na trudne warunki eksploatacji (brak części mechanicznych);
- mały błąd pomiaru poprzez - identyfikacja czasu wtrysku na każdym wtryskiwaczu silnika;
- łatwa rozbudowa o dodatkowe funkcje np.: kontroli czasu i jakości pracy kierowcy;
- łatwość adaptacji i rozbudowy paliwomierza do innych rodzajów silników (ZI) jak i układów zasilani (GDI).

Dla lepszego zaprezentowania metody i idei funkcjonowania oraz konstrukcji paliwomierza, dalsze rozważania zostaną przedstawione na przykładzie układu zasilania Common Rail (CR) stosowanym w nowoczesnych silnikach z zapłonem samoczynnym.

W tego typu układach zasilania dawka wtrysku paliwa do cylindra jest określana przez czas otwarcia zaworu elektromagnetycznego wtryskiwacza i jest uzależniona głównie od: ciśnienia panującego w zasobniku Common Rail, prędkości obrotowej wału korbowego silnika oraz położenia i zmiany kąta przepustnicy pedału gazu.

Na rys. 1 przedstawiono elementy proponowanego systemu rejestracji zużycia paliwa pojazdów użytkowych. Z kolei na rys. 2 przedstawiono graficznie wielkości charakteryzujące układ zasilania Common Rail, w aspekcie kontroli zużycia paliwa. Rysunki te jednocześnie obrazuje ideę funkcjonowania paliwomierza.

Podstawowym problemem jakim napotyka się przy takim podejściu do monitorowania zużycia paliwa jest określenie czasu wtrysku paliwa  $t_w$ , na

measurement error. Measurement accuracy obtained in this case is the resultant of the costs incurred in manufacturing of the flow gauge, its durability and the methods applied for determining the fuel consumption (e.g.: Willans lines, injector characteristics, etc.).

### 3. Fuel consumption measurement methods based in injection time

This paper aims at presenting the assumptions for the traditional fuel consumption measurement method for modern piston combustion engines in which the fuel dose injected into the cylinder is controlled by the opening time of the electromagnetic fuel injector.

The advantages of the presented fuel consumption measurement method are:

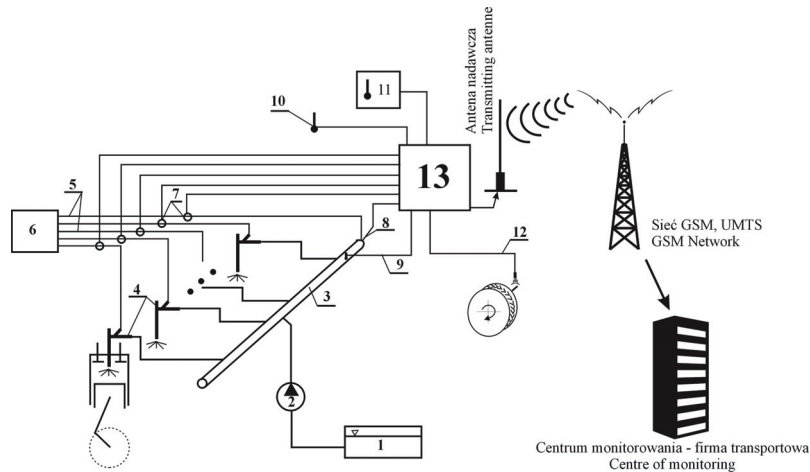
- no need for intervention in the engine supply system (possibility of installation on factory new engines without the risk of loosing the guaranty);
- absolute absence of fuel gauge influence on operation of engine and vehicle in which it was implemented;
- reliability and resistance to difficult operation conditions (no mechanical parts);
- low measurement error – injection time identification in each engine injector;
- easy extension with additional functions, e.g. control of driver work time and quality;
- ease of fuel gauge adaptation and extension for other engine types (ZI) and other fuel supply systems (GDI).

To present the method and operational idea as well as design of the fuel gage, the further solutions will be presented on the example of Common Rail (CR) fuel supply system in modern engines with self-ignition.

In that type of supply systems the fuel dose injected into the cylinder is determined by the injector electromagnetic valve opening time and it depends mainly on the pressure in the Common Rail container, rotational speed of engine crank shaft as well as position and change in the angle of accelerator throttle valve.

Figure 1 presents the components of the proposed vehicle fuel consumption recording system. Figure 2 presents graphically the values characteristic for the Common Rail supply system in the aspect of fuel consumption control. Those two figures present at the same time the idea of fuel gauge operation.

The fundamental problem encountered in case of this approach to fuel consumption monitoring is the determination of fuel injection times  $t_w$  on individual injectors. The inductive sensor installed on the "pulse"



Rys. 1. Elementy systemu rejestracji zużycia paliwa. 1 – zbiornik paliwa, 2 – pompa paliwa, 3 – szyna wysokiego ciśnienia lub kolektor wtryskiwaczy, 4 – wtryskiwacze elektromagnetyczne, 5 – przewody sterujące wtryskiwaczami elektromagnetycznymi, 6 – Centralne Urządzenie Sterujące funkcjonowaniem silnika (moduł EDC), 7 – czujniki pola magnetycznego, 8 – czujnik ciśnienia w szynie wysokiego ciśnienia, 9 – czujnik temperatury paliwa w szynie wysokiego ciśnienia lub kolektorze wtryskiwaczy, 10 – czujnik temperatury otoczenia, 11 – czujnik temperatury komory spalania nagrzewnicy, 12 – czujnik prędkości obrotowej koła (prędkość jazdy pojazdu), 13 – pokładowy rejestrator zużycia paliwa

Fig. 1. Elements of fuel consumption recording system. 1 – fuel tank, 2 – fuel pump, 3 – high pressure rail or injectors' collector; 4 – electromagnetic injectors, 5 – electromagnetic injectors' control wires, 6 – Central Control Unit for engine operation control (EDC module), 7 – magnetic field sensor, 8 – sensor of pressure in the high pressure rail, 9 – fuel temperature sensor in the high pressure rail or injectors' collector, 10 – environment temperature sensor, 11 – temperature sensor of heater combustion chamber, 12 – wheel rotational speed sensor (vehicle driving speed), 13 – boars fuel consumption recorder; GSM, UMTS network; Monitoring center / transport company

poszczególnych wtryskiwaczach silnika. Elementem umożliwiającym określenie tego czasu jest czujnik indukcyjny zamontowany na przewodzie „plusowym” zasilającym cewkę każdego z wtryskiwaczy. Konstrukcja układu zasilania CR umożliwia wtrysnięcie oprócz dawki zasadniczej określonej czasem wtrysku  $t_{wz}$ , dawkę wtrysku wstępnego (prowadzącego) o stałym czasie wtrysku  $t_{ww}$ , lecz o różnym wyprzedzeniu względem wtrysku zasadniczego. Czas wyprzedzenia uzależniony jest od typu i producenta układu i wynosi od 1ms i wzrasta wraz z obrotami wału korbowego silnika. Inną ważną cechą wtrysku wstępnego jest jego brak podczas funkcjonowania zimnego silnika (faza rozgrzewania silnika) jak także jego zanik przy podwyższonych obrotach (dla silników samochodów użytkowych granicą jest  $n_s = 1500$  obr/min, i odpowiednio 3 000 obr/min dla silników pojazdów osobowych).

Czas jednego wtrysku dawki paliwa dla jednego cylindra wg prezentowanej metody określany jest za pomocą wzoru (1):

$$t_{w(c)} = t_{ww} + t_{wz} \quad (1)$$

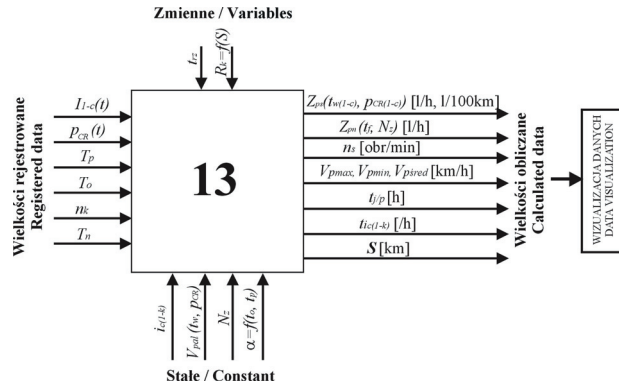
gdzie:  $t_{w(c)}$  – czas wtrysku dla  $c$ -go cylindra;  $t_{ww}$  – czas trwania wtrysku wstępnego;  $t_{wz}$  – czas trwania wtrysku zasadniczego.

lead supplying the coil of every injector is the element allowing determining that time. The CR fuel supply system design permits injecting, in addition to the basic fuel portion determined by the injection time  $t_{wz}$ , the initial (lead) dose with the constant injection time  $t_{ww}$  but with differentiated lead-time relative to the basic injection. The lead-time depends on the system type and manufacturer and it starts from 1 ms increasing with the revolutions of the crankshaft of the engine. Another characteristic of the initial injection is that it does not appear during cold engine operation (engine warm-up phase) as well as its disappearance at increased engine revolutions) for utility vehicles engines the limit is  $n_s = 1500$  rpm and for cars 3 000 rpm respectively).

The time of a single injection of the fuel dose for one cylinder is determined for the presented method using the formula (1):

$$t_{w(c)} = t_{ww} + t_{wz} \quad (1)$$

where:  $t_{w(c)}$  – injection time for cylinder  $c$ ;  $t_{ww}$  – initial injection time;  $t_{wz}$  – main injection time.

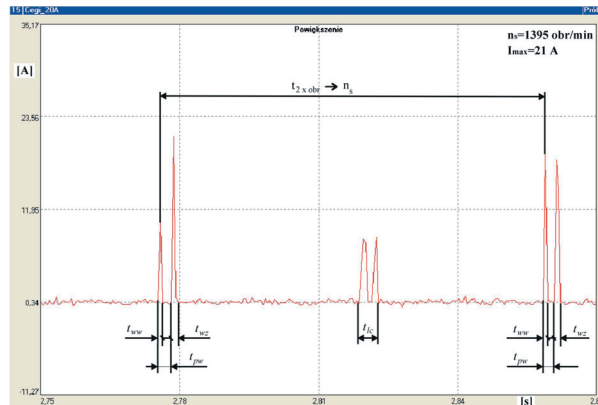


Rys. 2. Ilustracja graficzna wielkości charakteryzujących układ zasilania Common Rail w aspekcie kontroli zużycia paliwa przez silnik. Znaczenie poszczególnych wielkości:  $I_{1-c}(t)$  – przebieg zmiany prądu na cewce wtryskiwacza,  $c$  – liczba wtryskiwaczy;  $p_{CR}(t)$  – ciśnienie w szynie lub kolektorze wtryskiwaczy,  $T_p$  – temperatura paliwa,  $T_o$  – temperatura otoczenia,  $n_k$  – prędkość obrotowa koła napędowego pojazdu,  $T_n$  – temperatura komory nagrzewnicy,  $R_k$  – promień toczny koła napędowego,  $S$  – droga przebyta przez oponę,  $t_{rz}$  – zegar czasu rzeczywistego,  $i_{c(1-k)}$  – przełożenie całkowite na poszczególnych biegach,  $k$  – liczba biegów,  $V_{pal}$  – wielkość wydatku paliwa  $mm^3$ /wtrysk,  $Z_{ps}$  – zużycie paliwa przez silnik w l/h lub l/100km,  $t_w$  – czas wtrysku paliwa,  $Z_{pn}$  – zużycie paliwa przez nagrzewnicę w l/h,  $t_f$  – czas funkcjonowania nagrzewnicy,  $N_z$  – norma zużycia paliwa przez nagrzewnicę;  $\alpha$  – współczynnik rozszerzalności cieplnej paliwa,  $n_s$  – obroty wału korbowego silnika,  $V_p$  – prędkość jazdy pojazdu,  $t_{jp}$  – czas jazdy/postoju pojazdu,  $t_{ic(1-k)}$  – czas jazdy na określonych biegach,  $S$  – droga przebyta przez pojazd, 13 – pokładowy rejestrator zużycia paliwa

Fig. 2. Graphic illustration of values characteristic for Common Rail supply system in the in the aspect of fuel consumption control. Meanings of individual parameters are:  $I_{1-c}(t)$  – current change path on the injector coil,  $c$  – number of injectors;  $p_{CR}(t)$  – pressure in the rail or injectors collector,  $T_p$  – fuel temperature,  $T_o$  – environment temperature,  $n_k$  – vehicle driving wheel rotational speed,  $T_n$  – heater chamber temperature,  $R_k$  – driving wheel rolling radius,  $S$  – distance covered by the tyre,  $t_{rz}$  – real time clock,  $i_{c(1-k)}$  – total transmission ration in individual gears,  $k$  – number of gears,  $V_{pal}$  – fuel delivery  $mm^3$ /injector,  $Z_{ps}$  – engine fuel consumption in l/h or l/100km,  $t_w$  – fuel injection time,  $Z_{pn}$  – fuel consumption by the heater in l/h,  $t_f$  – heater operation time,  $N_z$  – heater fuel consumption standard;  $\alpha$  – coefficient of fuel heat expansion,  $n_s$  – engine crank shaft rotations,  $V_p$  – vehicle driving speed,  $t_{jp}$  – vehicle drive/stand still time,  $t_{ic(1-k)}$  – drive time in individual gears,  $S$  – distance covered by the vehicle, 13 – board fuel consumption recorder

Przykładowy oscylogram przebiegu prądu na przewodzie zasilającym wtryskiwacz wraz z identyfikacją cech sygnału przedstawiono na rys. 3.

The sample oscillogram for the current in the lead supplying the injector with the identification of the signal characteristics is presented in fig. 3.



Rys. 3. Oscylogram przebiegu zmiany prądu zasilania cewki wtryskiwacza CR, przy swobodnym przyśpieszaniu silnik, dla dwóch po sobie następujących wtrysków wraz z określeniem cech i wartości sygnału:  $t_{2xobr}$  – czas trwania dwóch obrotów wału korbowego,  $t_{lc}$  – czas ładowania kondensatora cewki wtryskiwacza,  $t_{pw}$  – czas pomiędzy wtryskiem wstępnym ( $t_{w1}$ ) a wtryskiem zasadniczym ( $t_{w2}$ ),  $n_s$  – obroty wału korbowego silnika, [HDI Peugeot 407, badania własne]

Fig. 3. The oscillogram of CR injector coli supply current change during free acceleration of the engine for two consecutive injections including identification of signal characteristics and values:  $t_{2xobr}$  – time of two crankshaft revolutions,  $t_{lc}$  – time of injector coil capacitor loading,  $t_{pw}$  – time between initial injection ( $t_{w1}$ ) and the main injection ( $t_{w2}$ ),  $n_s$  – engine crankshaft revolutions, [HDI Peugeot 407, own study]



Należy podkreślić iż przedstawiony przebieg zmiany prądu w cewce wtryskiwacza nie jest adekwatny do przebiegów, które można odnaleźć w literaturze [3, 4, 7], jednakże zadaniem czujników wchodzących w skład paliwomierza jest określenie czasu trwania poszczególnych procesów, a nie identyfikacji kształtu i przebiegu procesu wtrysku. W związku z tym na potrzeby budowanego paliwomierza tak pozyskany i zidentyfikowany sygnał jest zupełnie wystarczający.

Kolejnym parametrem który należy rejestrować w celu określenia dawki wtrysku jest ciśnienie paliwa w zasobniku wysokiego ciśnienia. Pokładowy czujnik ciśnienia w zasobniku jest czujnikiem typu napięciowego i informuje procesor sterujący EDC jak należy dobrać czas trwania wtrysku paliwa na poszczególnym wtryskiwaczu w zależności od ciśnienia panującego w zasobniku i prędkości obrotowej wału korbowego silnika oraz kąta otwarcia przepustnicy.

Ze względu, iż w zasobniku układu Common Rail podczas funkcjonowania silnika następuje ciągła zmiana ciśnienia paliwa, procesor sterujący ma zaimplementowane krzywe dawki wtrysku paliwa w zależności od ciśnienia w zasobniku. Dla naszych rozważań można przyjąć, że czas wtrysku (jednocześnie jej dawka) ustalana jest jedynie na podstawie ciśnienia paliwa w zasobniku. Dawka ta jest określana na podstawie charakterystyki wydatku paliwa dla konkretnego typu i konstrukcji układu zasilania Common Rail – pozyskanej od producenta lub w trakcie badań stanowiskowych tych układów. Na rys. 4 przedstawiono wykres roboczy wydatku paliwa wtryskiwacza układu zasilania Common Rail dla hipotetycznego silnika, dla pojedynczego wtrysku paliwa.

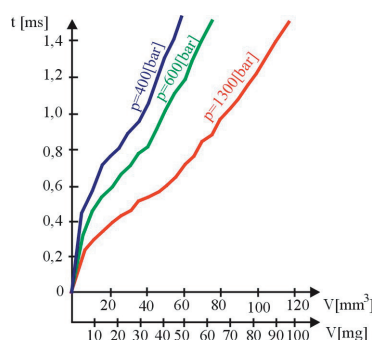
Na podstawie uzyskanych informacji o czasie wtrysku (wstępnego i zasadniczego) oraz ciśnieniu w zasobniku można określić dawkę wtrysniętego paliwa przez poszczególne wtryskiwacze. Sumując

It should be highlighted that the presented process of current change in the injector coil is not adequate to the processes that can be found in the literature [3, 4, 7], however, the task of sensors in the fuel gauge is to determine the time of individual processes and not identification of injection process shape and development. As a consequence, the signal obtained and identified in that way is absolutely sufficient for the requirements of the designed fuel gauge.

Fuel pressure in the high-pressure container is another parameter that should be recorded to determine the injected fuel dose. The board sensor of fuel pressure in high-pressure container is a voltage type sensor and it informs the EDC control processor how to select the fuel injection time for individual injectors depending on the fuel pressure in the container and engine crankshaft rotation speed as well as throttle opening angle.

As a consequence of the fact that fuel pressure in the Common Rail system container is subject to continual changes during engine operation the control processor has fuel injection dosed curves dependent on pressure in the container implemented. For our discussion it can be assumed that injection time (and at the same time injected fuel dose) is determined on the basis of fuel pressure in the container only. That dose is determined on the basis of the fuel discharge characteristics for a specific type and design of the Common Rail fuel supply system obtained from the manufacturer or during bench studies on those systems. Figure 4 presents the working graph of injector fuel discharge from Common Rail fuel supply system for a hypothetical engine and one fuel injector.

On the basis of the information on injection (initial and main) time and pressure in the container the dose of fuel injected by individual injectors can be determined. By totaling the injection doses for individual



Rys. 4. Wykresy robocze wydatku paliwa układu zasilania Common Rail dla hipotetycznego silnika,  $t$  – czas trwania wtrysku,  $p$  – ciśnienie w zasobniku Common Rail,  $V$  – objętość całkowita/masa paliwa wtrysnięta do jednego cylindra w czasie pojedynczego wtrysku (wstępnego lub zasadniczego)

Fig. 4. Working graph of injector fuel discharge from Common Rail fuel supply system for a hypothetical engine,  $t$  – injection time,  $p$  – pressure in Common Rail container,  $V$  – total volume/mass of fuel injected into a single cylinder during a single injection (initial or main)

elementarne dawki wtrysku na poszczególnych cylindrach można określić zużycie paliwa na przejechaną drogę lub wykonaną pracę.

Całkowite zużycie paliwa przez pojazdy użytkowe to nie tylko zużycie paliwa przez silnik. Innym równie istotnym źródłem zużycia paliwa przez pojazd może być nagrzewnica, wykorzystywana zarówno do podgrzewania płynów eksploatacyjnych (oleju silnikowego, płynu chłodzącego) jak także kabiny pojazdu w okresie zimowym podczas postoju pojazdu.

Urządzenia te mają normatywy zużycia paliwa określone czasem funkcjonowania w l/h. Można przyjąć iż ilość zużytego paliwa przez tego typu nagrzewnicę jest niezależna od prędkości, czy funkcjonowania silnika lecz jedynie od czasu jego użytkowania. W związku z tym zużycia paliwa przez nagrzewnicę jest określona poprzez iloczyn czasu funkcjonowania i normy zużycia paliwa przez to urządzenie.

Czas funkcjonowania nagrzewnicy jest identyfikowany poprzez okresowy (co 1 minutę) pomiar temperatury komory spalania nagrzewnicy. Przyjęto, iż temperatura komory powyżej 100°C jest granicą funkcjonowania urządzenia. Czas ten jest sumowany i na tej podstawie określana jest wartość zużycia paliwa przez nagrzewnicę.

Paliwomierz rejestruje także informację dotyczące temperatury otoczenia jak i temperaturę paliwa na zasobniku wysokiego ciśnienia. Informacje to służą do korekcji wartości zużycia paliwa w zależności od temperatury otoczenia w czasie rozgrzewania silnika w niskich temperaturach.

Wartość całkowitego zużycia paliwa przez pojazd jest określona sumą zużycia paliwa przez silnik i nagrzewnicą.

Istotną cechą prezentowanego przepływomierza jest brak jakiegokolwiek ingerencji w układy i konstrukcję pojazdu. W przypadku uszkodzenia przepływomierza jego awaria nie wpływa na funkcjonowanie zarówno silnika jak i pojazdu. Zatem system ten może być aplikowany do pojazdów objętych gwarancją bez obawy jej utraty.

Metoda pomiaru zużycia paliwa na podstawie dawki wtryskiwanego paliwa może być stosowana do silników z zapłonem iskrowym (układ zasilania GDI) jak i zapłonem samoczynnym (układu CR). Po odpowiedniej adaptacji paliwomierz może zostać także wykorzystany dla układów z pompowtryskiwaczami i wtryskiem benzyny (MPI, itd.).

W przypadku firm przewozowych, dla których sprawne zarządzanie pojazdami stanowi jeden z najbardziej newralgicznych elementów ich działalności, radiokomunikacja ruchoma jest jedną skuteczną drogą sprawowania kontroli nad biegiem pojazdów. Kontrola (monitorowanie) zużycia paliwa jak i lokalizacji położenia pojazdu, wpływa na efektywne wykorzy-

cylinders the fuel consumption for the distance driven or work done can be determined.

The fuel consumption by utility vehicles is not only the engine fuel consumption. The heater used for both heating up the operational fluids (engine oil, coolant) as well as the driver' cabin during the wintertime when the vehicle is stationary can be another equally important source of fuel consumption.

Those devices have fuel consumption standards defined by time of operation in l/h. It can be assumed that the quantity of fuel consumed by that type of a heater is independent of speed or operation of the engine and depends on the operation time only. As a consequence, fuel consumption by the heater is defined by the product of operation time and fuel consumption standard for the device.

Heater operation time is identified by periodic (every 1 minute) measurement of temperature in the heater combustion chamber. It was assumed that heater combustion chamber temperature in excess of 100°C is the limit of the device operation. The time is totaled and on that basis the heater fuel consumption value is calculated.

The fuel gage records also the information concerning the environment temperature and fuel temperature at high-pressure fuel container. That information serves adjustment of fuel consumption depending of environment temperature during engine warm-up at low temperatures.

The value of total fuel consumption by the vehicle is determined as the total of fuel consumption by the engine and by the heater.

Absence of intervention of any kind in vehicle systems or design is an important feature of the presented fuel gauge. In case the fuel gage is damaged, that damage does not influence the operation of either the engine or the vehicle. As a consequence, the system can be applied in vehicles covered by guaranty without the risk of losing the guaranty rights.

The method of fuel consumption measurement on the basis of injected fuel dose can be applied in both spark ignition engines (GDI fuel supply system) and self-ignition engines (CR system). After appropriate adaptation the fuel gauge can also be used in systems of injector-pumps and ethylene injection (MPI, etc.).

In case of transport companies, for which efficient management of vehicles is one of the key elements of operation, mobile radio communication is the only effective way to control the vehicles movements. Fuel consumption control (monitoring) and vehicle location influence effective use of resources and decrease in operational costs and shortening the lead-time for orders.

stanie zasobów oraz obniżenie kosztów eksploatacji i skrócenia czasu realizacji zamówień.

W wersji testowej prezentowany przepływomierz będzie zbierał informacje na kartach pamięci, z których następnie będą za pomocą skanerów przesyłane do komputera głównego, gdzie nastąpi ich dekodowanie. W wyniku dekodowania zostaną określone wartości zużycia paliwa, czasy i prędkości robocze pojazdu. Ten sposób pozyskiwania informacji jest dość kłopotliwy i czasochłonny, dlatego po pomyślnym przejściu testów laboratoryjnych przez paliwomierz, zostanie zautomatyzowany transfer danych poprzez przesył bezprzewodowy. Docelowo informacje zarejestrowane i wstępnie obróbrane przez paliwomierz, przekazywane będą do centrum nadzorowania w firmie transportowej za pośrednictwem systemu UMTS (UMTS Terrestrial Radio Access Network) lub GSM [9, 10] ciągle, lub okresowo np. po przekroczeniu przez pojazd bramy wjazdowej bazy transportowej. Dzięki tego rodzaju rozwiązaniom zapewnione będzie szybkie uzyskiwanie precyzyjnych i aktualnych danych o stanie pojazdów.

Należy nadmienić, iż prezentowany paliwomierz nie posiada w swojej konstrukcji elementów mechanicznych. Brak tego typu układów powoduje dużą niezawodność urządzenia i możliwość użytkowania w szerokim zakresie temperatur jak i warunkach działania. Poza tym brak możliwości ingerencji operatora czy kierowcy na funkcjonowanie urządzenia w sposób obniżający jego dokładność pomiarową czy w ogóle - funkcjonowanie.

#### 4. Podsumowanie

Z analizy dotychczasowego stanu wiedzy i techniki oraz problematyki dotyczącej metod pomiaru zużycia paliwa pojazdów użytkowych wynika, że:

- brak jest zarówno w kraju jak i za granicą nowoczesnych metod trakcyjnych pomiaru zużycia paliwa, dla których dokładność pomiarowa nie przekracza  $\pm 2\%$  zarejestrowanego przepływu (zużycia paliwa) i jednocześnie charakteryzującego się możliwością sprostania trudnych warunków eksploatacji (brak ingerencji w układy silnika, wysoki poziom drgań, duże wahania temperatur);
- w związku z ciągłym wzrostem cen ropy naftowej na świecie, koszty paliwa wpływają w coraz to większym stopniu na ogólne koszty transportu. W związku z powyższym istnieje konieczność i potrzeba identyfikacji rzeczywistych kosztów paliwa w ogólnych kosztach transportu;
- istnieje szerokie zapotrzebowanie na mierniki (rejestratory) rzeczywistego zużycia paliwa przez firmy transportowe w celu określenia rzeczywistego zużycia paliwa przez silniki w aspekcie zarówno ekonomicznym jak i ekologicznym.

In the test version the presented flow gauge will collect information on memory cards from which it will be scanned and sent to the main computer where it will be decoded. As a result of decoding the fuel consumption values, working times and speeds of the vehicles will be determined. That method of obtaining information is quite arduous and time-consuming and as a consequence, after successful completion of laboratory tests of the fuel gauge the data transfer will be automated by applying wireless transmission. Ultimately, the collected and initially processes information of fuel gauge will be sent to the control center at the transport company via the UMTS (UMTS Terrestrial Radio Access Network) or GSM system [9, 10] either in real time or periodically, e.g. on passing through the entrance gate of the transport company. That type of solution will secure quick gathering of precise and current data on the status of vehicles.

It should be added that the presented fuel gauge has no mechanical components in its design. Absence of such components results in high reliability and possibility of using within a wide range of temperatures and operational conditions. Additionally, intervention of the operator or driver in operation of the device in a way decreasing its measurement accuracy or generally its operation is not possible.

#### 4. Conclusion

Analysis of the current status of knowledge and technology as well as the issues concerning utility vehicles fuel consumption measurement indicates that:

- both in Poland and abroad there are no modern traction methods of fuel consumption measurement in case of which the measurement accuracy does not exceed  $\pm 2\%$  of the recorded flow (fuel consumption) and that at the same time could be applied at difficult operational conditions (no intervention in the engine design, high levels of vibrations, large temperature changes);
- as a consequence of continual increase in global crude prices the costs of fuels exert an increasing influence on overall costs of transport. As a consequence of the above it is necessary and needed to identify the actual fuel costs in total costs of transport;
- there is a wide demand for gauges (recorders) of actual fuel consumption among transport companies to determine the actual fuel consumption by engines in both the ecological and environmental aspect.



Przedstawiona w pracy nowa metoda pomiaru zużycia paliwa ma mieć zastosowanie do nowoczesnych silników pojazdów użytkowych. Proponowany paliwomierz będzie miał zastosowanie do monitorowania zużycia paliwa wszelkiego rodzaju maszyn i pojazdów w których elementem wykonawczym procesu wtrysku paliwa jest wtryskiwacz elektromagnetyczny. Zastosowanie tego typu paliwomierzy w pojazdach użytkowych przedsiębiorstw transportowych pozwoli na osiągnięcie wymiernych efektów ekonomicznych poprzez rzetelne i rzeczywiste ponoszenie kosztów ceny paliwa - ograniczenie „przepałów” (aspekt ekonomiczny), jednocześnie eliminując z eksploatacji pojazdy w których zaobserwowano nadmierny wzrost zużycia paliwa (aspekt ekologiczny) lub wcześniej zidentyfikowano stan niezdatności układu wtryskowego (aspekt ekologiczno-ekonomiczny). Proponowany paliwomierz ponadto posiada możliwość rejestracji czasu i jakości pracy kierowcy (prędkość jazdy pojazdu, prędkość obrotowa wału korbowego silnika itp.) co umożliwi ocenę bezpieczeństwa użytkownika jak i sposób eksploatacji pojazdu.

The new fuel consumption measurement method presented in the paper is to be applicable in modern engines of utility vehicles. The proposed fuel gauge will be applicable for fuel consumption monitoring in all types of machines and vehicles in which the electromagnetic injector is the fuel injection effecting component. Application of fuel gauges of that type in utility vehicles of transport companies would allow achievement of material economic effects by reliable and actual calculation of fuel costs limiting the excessive fuel consumption (economic aspect) and justifying decommissioning of vehicles in which excessive increase of fuel consumption is noticed (ecological aspect) or early identification of fuel injection system unsuitability condition (economic and ecological aspect). The proposed fuel gauge also possesses the ability to record the drivers work time and quality (driving speed, crankshaft rotational speed, etc.) allowing assessment of operation safety and mode of vehicle operation.

### 5. Literatura

- [1] Chłopek Z.: Tendencje rozwojowe w napędach autobusów miejskich. Eksploatacja i Niezawodność Nr 1(29)/2006.
- [2] Dyrektywa 1999/1000/EC.
- [3] Hubertus G.: Diagnostowanie silników wysokoprężnych. WKŁ, W-wa 2002;
- [4] Janiszewski T., Mavrantzas S.: Elektroniczne układy wtryskowe silników wysokoprężnych, WKŁ, W-wa 2001.
- [5] Kędzia R., Okoński A.: Układy paliwowe systemów wtryskowych silników ZI. Poradnik Serwisowy Nr1, Warszawa 2002.
- [6] Podstawický I, Liščák Š, Droždziel P.: Nowoczesna metoda pomiaru zużycia paliwa w transporcie samochodowym. Eksploatacja i Niezawodność Nr 1(25)/2005.
- [7] Robert Bosch GmbH: Układy wtryskowe Common Rail. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Wydanie 1, Warszawa 2000.
- [8] Rychlik. A.: Metody pomiaru zużycia paliwa pojazdów użytkowych. Eksploatacja i niezawodność Nr 4(32)/2006.
- [9] Utkowski P.: System satelitarny Galileo dla potrzeb transportowych. Politechnika Radomska. Prace Naukowe. Transport Nr 1(18) 2004.
- [10] Wada R.: Nowe możliwości aplikacji systemów telekomunikacji trzeciej generacji w zastosowaniach transportowych. Politechnika Radomska. Prace Naukowe. Transport Nr 2(20) 2004.

---

**Dr inż. Arkadiusz RYCHLIK**

Katedra Budowy Eksploatacji Pojazdów i Maszyn  
Wydział Nauk Technicznych  
Uniwersytet Warmińsko – Mazurski  
ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn  
e-mail: rychter@uwm.edu.pl

---