

## POSSIBILITIES OF PARAMETRIC ESTIMATION OF VEHICLE OPERATION CONDITIONS

**Jacek Kropiwnicki**

Gdańsk University of Technology, Mechanical Engineering Faculty  
ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk  
tel. (+58) 347-10-24, fax (+58) 347-11-74  
e-mail: jkropiwn@pg.gda.pl

### **Abstract**

*A novel method of parametric estimation of vehicle operation conditions has been presented in this work. Car operating conditions will be identified using parameter, which contains impact of the traffic conditions as well as the style of driving. The factors mentioned above have influence on the amount of mechanical energy transferred to the driving wheels, which is part of this parameter. Amount of mechanical energy transferred to the driving wheels, during a measurement cycle, can result to the same degree from traffic conditions as well as the driving style. The factors proposed in the method are treated equivalently and their influence on car operating conditions has been included in the same parameter. Finally, the traffic and the style of driving can finally be described using a probability density function of this parameter.*

*A novel method enabling parametrical identification of operation conditions of the car vehicle is represented in the article. Operational conditions of the car vehicle depend equally from conditions traffic of vehicles, as well as from the style ride of a driver. Operational conditions can be registered during normal use of the vehicle. Proposed method makes possible appointment of reference fuel consumption for the same operational conditions. The paper presents examples of the parametral identification of operational conditions of the car vehicle*

**Keywords:** transport, vehicles, combustion engines, operation of vehicles, fuel consumption

## MOŻLIWOŚCI PARAMETRYCZNEJ IDENTYFIKACJI WARUNKÓW EKSPLOATACJI POJAZDU SAMOCHODOWEGO

### **Streszczenie**

*W pracy zaprezentowana została nowa metoda parametrycznej identyfikacji warunków eksploatacji pojazdu samochodowego. Warunki eksploatacji pojazdu zidentyfikowane będą za pomocą parametru, który obejmuje zarówno wpływ warunków zewnętrznych jak również styl jazdy kierowcy. Ilość energii mechanicznej przekazywanej kołom napędowym w czasie cyklu pomiarowego może wynikać w równym stopniu z zaistniałych warunków ruchu pojazdów, co ze stylu jazdy kierowcy. Z tego powodu, w zaproponowanej metodzie wspomniane czynniki są traktowane jako równoważne, a ich oddziaływanie na warunki eksploatacji pojazdu zostały ujęte w tym samym parametrze. Ostatecznie miejsce eksploatacji (intensywność ruchu) oraz sposób prowadzenia pojazdu mogą być natomiast opisane za pomocą funkcji gęstości rozkładu przyjętego parametru.*

*Nowa metoda umożliwiająca parametryczną identyfikację warunków eksploatacji pojazdu samochodowego jest przedstawiona w artykule. Warunki eksploatacji pojazdu samochodowego zależą w równym stopniu od warunków ruchu pojazdów, jak również od stylu jazdy kierowcy. Warunki eksploatacji mogą być zarejestrowane w czasie normalnego użytkowania pojazdu. Zaproponowana metoda umożliwia wyznaczenie referencyjnego zużycia paliwa dla tych samych warunków eksploatacji. Artykuł prezentuje przykłady parametrycznej identyfikacji warunków eksploatacji pojazdu samochodowego*

**Słowa kluczowe:** transport, pojazdy samochodowe, silniki spalinowe, eksploatacja pojazdów samochodowych, zużycie paliwa

## 1. Wstęp

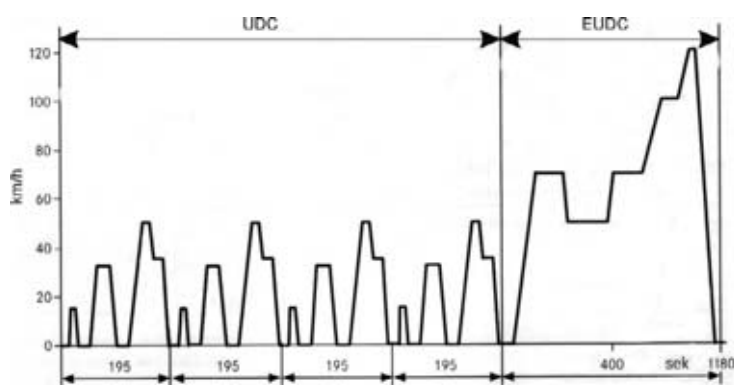
Poprawna i jednoznaczna (parametryczna) ocena warunków eksploatacji pojazdów samochodowych jest ważnym elementem optymalizacji sposobu użytkowania pojazdu. Funkcje celu oraz wagi takiej optymalizacji będą w głównej mierze uzależnione od przeznaczenia użytkowanych samochodów, wielkości i struktury floty, lokalizacji i zasięgu wykonywanych przewozów a także rodzaju misji społecznej, którą ewentualnie realizuje użytkujący samochody podmiot. Przykładem wykorzystania takiej oceny może być:

- wyznaczenie wdrożonego (referencyjnego) zużycia paliwa dla tych samych warunków eksploatacji, z którym można porównać eksploatacyjne zużycie paliwa,
- określenie wpływu stosowanych rozwiązań inżynierii drogowej na strukturalne zużycie energii i emisję związków szkodliwych do atmosfery (dla określonej struktury eksploatowanych pojazdów),
- wyznaczenie optymalnej drogi przejazdu.

Można wyróżnić następujące metody oceny warunków eksploatacji pojazdów samochodowych:

- ocena ekspercka:
  - jazda w mieście,
  - jazda poza miastem,
  - jazda po autostradzie,
- ocena z użyciem wskaźników:
  - energochłonność przebiegowa:  $\Psi = E/L$  [J/m]
  - energochłonność jednostkowa:  $\Phi = E/(L \cdot m)$  [J/(m·kg)]
  - średnie przyspieszenie w fazach napędzania:  $a_{\text{sr}}$  [m/s<sup>2</sup>]
  - średnia prędkość:  $V_{\text{sr}}$  [m/s]
  - rozkład punktów pracy silnika (charakterystyka gęstości czasowej) [2, 4]:  
 $n$  [obr/min],  $M_o$  [Nm].

Klasyfikacja warunków eksploatacji w metodzie eksperckiej jest konsekwencją przyjętych przez poszczególne państwa testów jezdnych używanych do badań homologacyjnych pojazdów na obecność składników toksycznych w spalinach. Test NEDC (New European Driving Cycle) [3, 5, 9, 10] wykonywany jest w Europie zgodnie z obowiązującą w Unii Europejskiej dyrektywą oraz w krajach wywodzących się z RWPG. Składa się on z dwóch części (rys. 1): segmentu miejskiego UDC (Urban Driving Cycle) oraz segmentu pozamiejskiego EUDC (Extra Urban Driving Cycle).



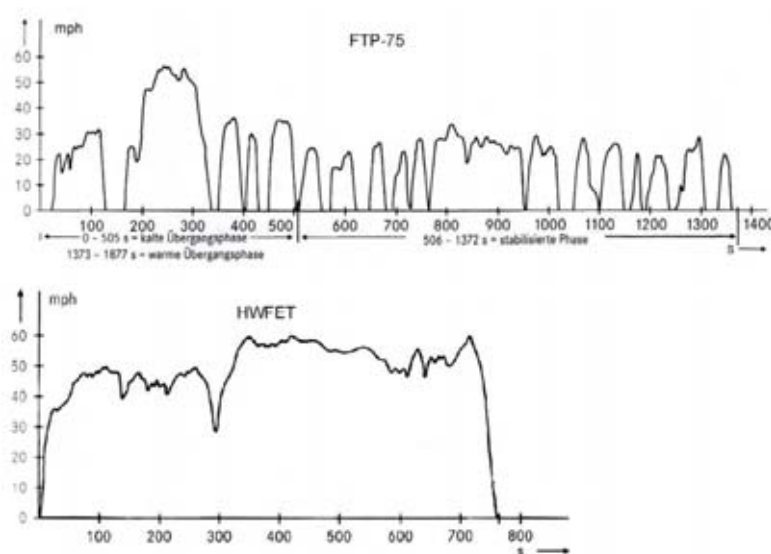
Rys. 1. Przebieg prędkości w teście NEDC [9]

Fig. 1. Vehicle's speed in NEDC test [9]

W USA opracowany został przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska EPA (Environmental Protection Agency) podobny test FTP-75 (Federal Test Procedure)

odzworowujący ruch w mieście oraz test HWFET (Highway Federal Emissions Test) odzworowujący ruch poza miastem (rys. 2) [3, 5, 9, 10].

Powyższe testy mają w założeniach odzworowywać typowe warunki ruchu pojazdów w mieście lub poza miastem, które zostały rozpoznane w drodze badań rzeczywistego ruchu drogowego. Test FTP-75 i test UDC różnią się jednak znacząco od siebie nie tylko ze względu na inne warunki ruchu pojazdów w USA i Europie ale również ze względu na metodykę konstrukcji samego testu. Test FTP-75 jest zapisem rzeczywistego przebiegu prędkości w czasie, a test UDC jest przebiegiem prędkości w postaci uproszczonych elementów określonych na podstawie badań statystycznych warunków ruchu. Realizowaniu powyższych profili prędkości pojazdów na hamowni podwoziowej przez kierowców testowych towarzyszy kontrola składu spalin. Na podstawie składu spalin określane jest następnie zużycie paliwa metodą bilansu węgla.



Rys. 2 Przebieg prędkości w teście FTP-75 i HWFET [9]

Fig. 2 Vehicle's speed in FTP-75 and HWFET tests [9]

Pomimo tego, że profil prędkości testu NEDC został opracowany w latach 60. nadal jest przez producentów samochodów bardzo chętnie wykorzystywany do określania zużycia paliwa pojazdów w warunkach klasyfikowanych według podobnych kryteriów jak czynią to kierowcy. Segment miejski profilu prędkości służy do wyznaczenia zużycia paliwa podczas jazdy w mieście, a segment pozamiejski podczas jazdy poza miastem [11]. Dla współczesnych warunków ruchu wyniki takich testów nie są jednak reprezentatywne, a obserwowane różnice w przebiegowym zużyciu paliwa osiągają bardzo duże wartości. Przykładowo średnie przebiegowe zużycie paliwa dla jazdy w Paryżu 12. samochodów osobowych z silnikami ZI jest według testu reprezentatywnego dla tego miasta o 89% wyższe niż jest to wykazywane przy realizacji testu NEDC [1]. Podobne prawidłowości co do różnic w rzeczywistym zużyciu paliwa i tym wykazywanym przez producentów samochodów na podstawie badań homologacyjnych (według testu NEDC) obserwują użytkownicy samochodów. Ponadto sterowniki współczesnych silników samochodowych są optymalizowane celem zmniejszenia emisji substancji szkodliwych i zużycia paliwa dla warunków szczególnego zakresu pracy tj. dla warunków testu NEDC.

## 2. Parametryczna identyfikacja warunków eksploatacji pojazdu samochodowego

Warunki eksploatacji pojazdu identyfikowane będą za pomocą liczbowego wskaźnika energetycznego zwanego energochłonnością jednostkową  $\Phi$ , który obejmuje zarówno wpływ warunków zewnętrznych jak również styl jazdy kierowcy [6, 7, 8]. Wymienione czynniki

wpływają na ilość energii mechanicznej przekazywanej kołom napędowym, która jest jednym z parametrów tworzących wspomniany wskaźnik energetyczny. Ilość energii mechanicznej przekazywanej kołom napędowym w czasie cyklu pomiarowego może wynikać w równym stopniu z zaistniałych warunków ruchu pojazdów, co ze stylu jazdy kierowcy. Z tego powodu, w zaproponowanej metodzie wspomniane czynniki są traktowane jako równoważne, a ich oddziaływanie na warunki eksploatacji pojazdu zostały ujęte w tym samym liczbowym wskaźniku energetycznym. Wartość parametru  $\Phi$  dla założonego czasu trwania cyklu  $t_c$ , można obliczyć korzystając z następującego równania [6]:

$$\Phi = \frac{E}{L \cdot m} \text{ [J/(mkg)],} \quad (1)$$

gdzie:

$$E = \int_0^{t_c} (M_o \cdot \omega \cdot \eta_{UPN}) dt - \text{energia mechaniczna dostarczona przez układ przeniesienia napędu do kół w czasie cyklu pomiarowego } t_c, \quad (2)$$

$\omega = 2\pi n$  – prędkość kątowna silnika.

$L$  – całkowita droga pokonana przez pojazd,

$m$  – masa całkowita pojazdu.

Miejsce eksploatacji (intensywność ruchu) oraz sposób prowadzenia pojazdu mogą być natomiast jednoznacznie opisane za pomocą funkcji gęstości rozkładu parametru  $\Phi$ :

$$f_\Phi = f(\Phi). \quad (3)$$

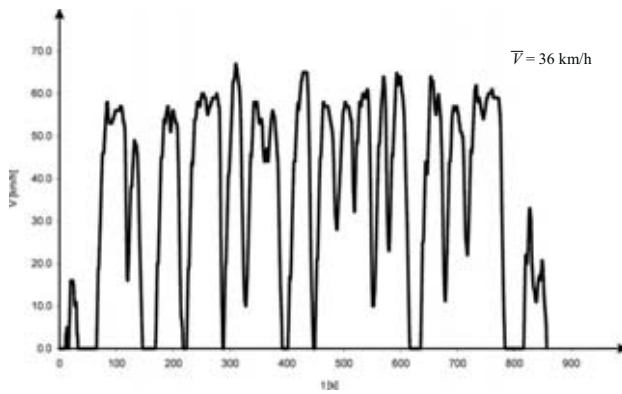
Funkcja ta może zostać wyznaczona na drodze okresowej rejestracji podstawowych parametrów opisujących warunki eksploatacji pojazdu, między innymi: prędkości obrotowej wału korbowego silnika i momentu obrotowego (z modelu układu napędowego pojazdu – w przypadku braku systemu pomiaru tego parametru), przejechanej drogi. Dla przyjętych granic zmian parametru  $\Phi$  spełniony musi być ponadto warunek:

$$\int_{\Phi_{min}}^{\Phi_{max}} f_\Phi d\Phi = 1. \quad (4)$$

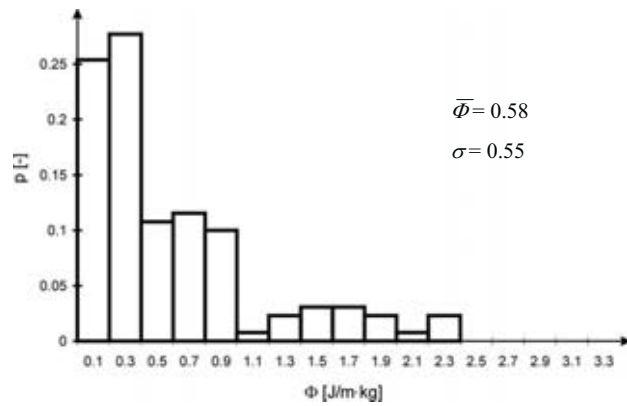
Funkcja (3) może być używana zarówno w postaci ciągłej jak również dyskretnej (histogramu). Parametryczna identyfikacja warunków eksploatacji możliwa jest w każdym z tych wypadków poprzez obliczenie wartości średniej rozkładu ( $\bar{\Phi}$ ) oraz jego odchylenia standardowego ( $\sigma$ ). Poniżej zamieszczono dwa przykłady takiej identyfikacji.

### 3. Przykłady parametrycznej identyfikacji warunków eksploatacji pojazdu samochodowego

Na terenie Gdańska, w regularnym ruchu miejskim, wykonane zostały pomiary wybranych parametrów pracy silnika i pojazdu Skoda Fabia 1.4 MPI (prędkość, przyspieszenie, zużycie paliwa, itd.) z użyciem odpowiednich czujników. Pierwsza próba reprezentuje łagodne warunki eksploatacji. Na rysunku 3 przedstawiony został przebieg prędkości pojazdu w czasie tej próby wraz z podaną prędkością średnią ( $\bar{V}$ ). Do parametrycznej identyfikacji warunków eksploatacji pojazdu wykorzystany został natomiast histogram rozkładu parametru  $\Phi$  w czasie tej próby. Rozkład ten został opisany parametrami  $\bar{\Phi}$  oraz  $\sigma$ , których wartości widoczne są na rysunku 4.

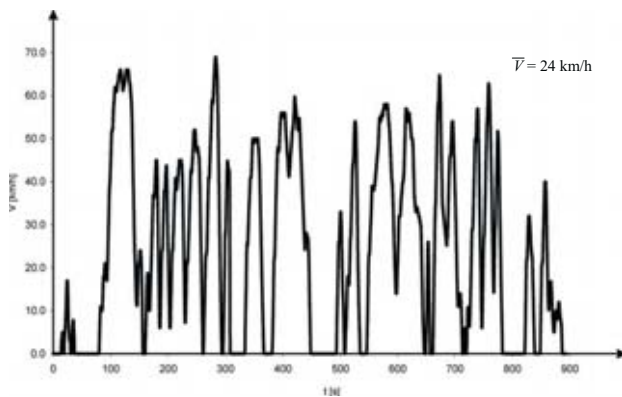


Rys. 3 Przebieg prędkości pojazdu (próba nr 1)  
Fig. 3 Vehicle speed (1<sup>st</sup> record)

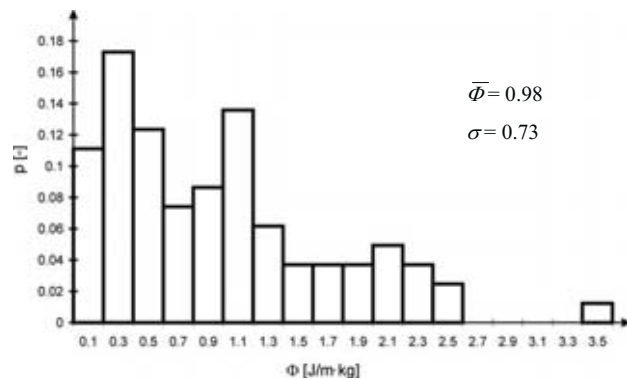


Rys. 4 Histogram rozkładu parametru  $\Phi$  (próba nr 1)  
Fig. 4 Histogram of parameter  $\Phi$  distribution (1<sup>st</sup> record)

Na rysunkach 5 i 6 przedstawione zostały natomiast wyniki drugiej próby, która jest reprezentatywna dla trudnych warunków jazdy (jazda miejska w godzinach szczytu).

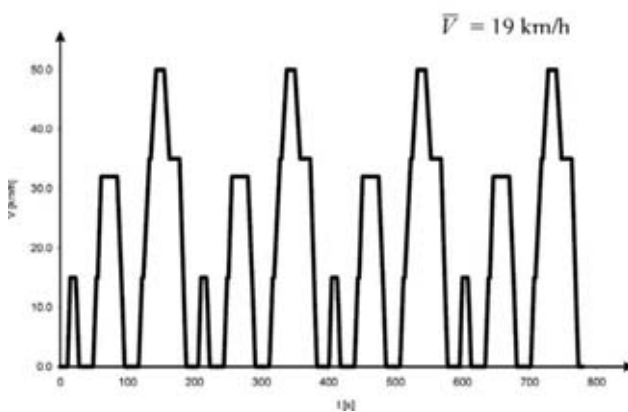


Rys. 5 Przebieg prędkości pojazdu (próba nr 2)  
Fig. 5 Vehicle speed (2<sup>nd</sup> record)

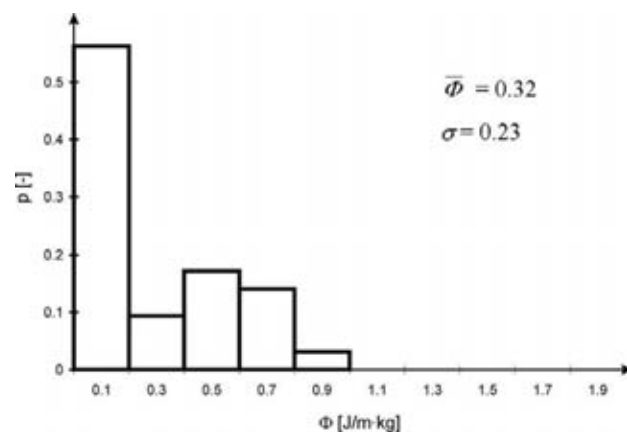


Rys. 6 Histogram rozkładu parametru  $\Phi$  (próba nr 2)  
Fig. 6 Histogram of parameter  $\Phi$  distribution (2<sup>nd</sup> record)

Używając tej samej procedury dla profilu prędkości w teście UDC uzyskano wyniki zamieszone na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7 Przebieg prędkości pojazdu (test UDC)  
Fig. 7 Vehicle speed (test UDC)



Rys. 8 Histogram rozkładu parametru  $\Phi$  (test UDC)  
Fig. 8 Histogram of parameter  $\Phi$  distribution (test UDC)



Na podstawie zamieszczonych wyników można stwierdzić, że dużym wartościom  $\bar{\Phi}$  odpowiadają trudne warunki eksploatacji. Jak potwierdzają wcześniejsze badania jest to również ściśle związane ze zwiększonym zużyciem paliwa [6] (relacja ma prawie liniowy charakter). Uzyskane wyniki wskazują także jednoznacznie na nieadekwatność testu UDC dla warunków ruchu spotykanych współcześnie na ulicach dużego miasta. Wartość parametru  $\bar{\Phi}$  jest około trzykrotnie mniejsza w teście UDC niż w drugiej zarejestrowanej próbie.

Parametr  $\sigma$  można natomiast uznać za miarę rozrzutu warunków eksploatacji w czasie wykonywanej próby (przejechanego odcinka). Małym wartościom parametru  $\sigma$  będą więc opowiadać warunki eksploatacji o dużym stopniu jednorodności (powtarzalności).

#### 4. Porównanie eksploatacyjnego zużycia paliwa z referencyjnym

W trakcie badań drogowych wykonano jeszcze jedną próbę umożliwiającą określenie zależności między przebiegowym zużyciem paliwa  $Q$  a parametrem  $\Phi$  [6]:

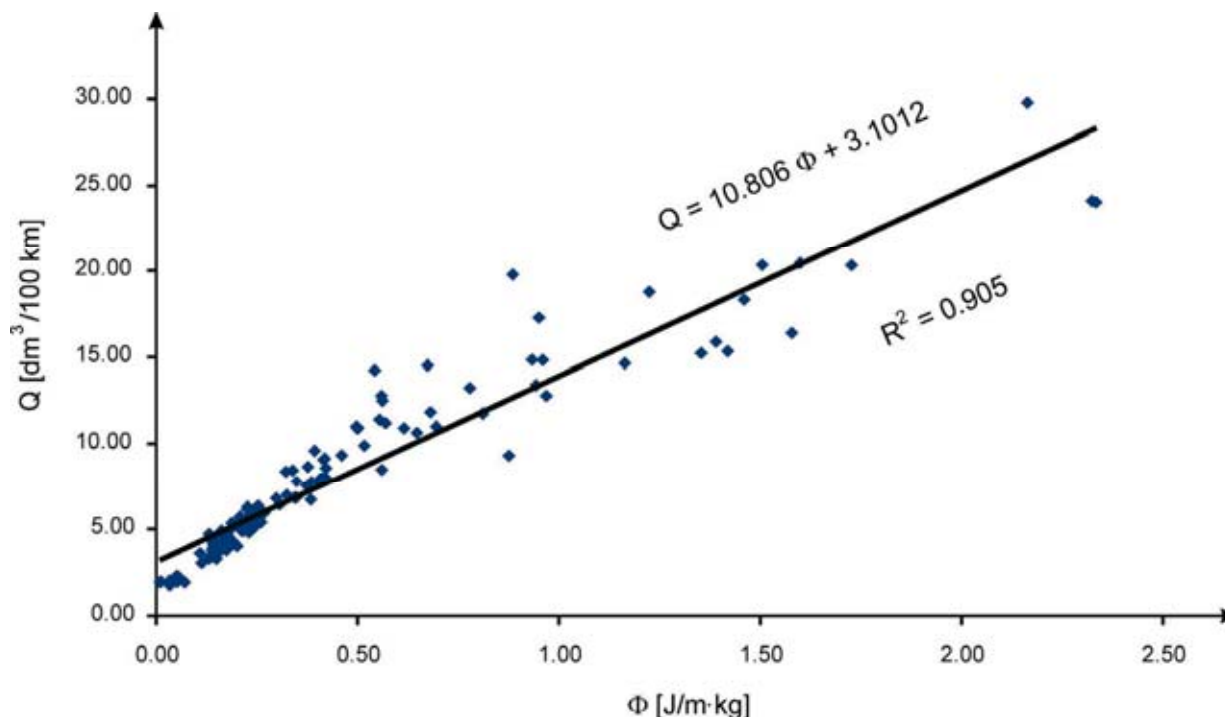
$$Q = k_1 \cdot \Phi + k_0, \quad (5)$$

gdzie:

$Q$  [dm<sup>3</sup>/100 km] – przebiegowe zużycie paliwa (z wyłączeniem paliwa zużywanego przez silnik na biegu jałowym),

$k_1, k_0$  - współczynniki funkcji aproksymującej.

Wyniki tej próby przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9 Wyniki badań drogowych  
Fig. 9 Results of road tests

Wykorzystując zidentyfikowaną na drodze eksperymentalnej powyższą zależność można obliczyć referencyjne zużycie paliwa dla tych samych warunków eksploatacji:

$$\bar{Q} = \frac{1}{L} \left\{ L_n \int_{\Phi_{min}}^{\Phi_{max}} [f_{\Phi} (k_1 \cdot \Phi + k_0)] d\Phi + \mathcal{G}_{b.j.} + \mathcal{G}_h \right\}, \quad (6)$$

gdzie:

$\Phi_{min}$ ,  $\Phi_{max}$  – granice zmian parametru  $\Phi$ ,

$\mathcal{G}_{b.j.}$  [dm<sup>3</sup>] – paliwo zużyte podczas pracy silnika na biegu jałowym,

$\mathcal{G}_h$  [dm<sup>3</sup>] – paliwo zużyte podczas hamowania (w czasie hamowania silnikiem:  $\mathcal{G}_h \rightarrow 0$ ),

$L$  [m] – całkowita droga przebyta przez pojazd,

$L_n$  [m] – droga przebyta przez pojazd gdy był on napędzany przez silnik.

W tabeli 1 przedstawiono porównanie eksploatacyjnego zużycia paliwa  $Q_{exp}$  – zarejestrowanego w czasie 1. i 2. próby drogowej oraz referencyjnego zużycia paliwa  $\bar{Q}$ , którego wartość została obliczona z wykorzystaniem zależności (6) oraz bezwzględną różnicę tych wartości.

Tab. 1 Porównanie eksploatacyjnego i referencyjnego zużycia paliwa  
Tab. 1 Comparison of reference and operation fuel consumption

| Nr próby | $Q_{exp}$<br>[dm <sup>3</sup> /100 km] | $\bar{Q}$<br>[dm <sup>3</sup> /100 km] | $Q_{exp} - \bar{Q}$<br>[dm <sup>3</sup> /100 km] |
|----------|--|--|--|
| 1        | 7.44                                   | 7.83                                   | - 0.39   |
| 2        | 10.12                                  | 10.43                                  | - 0.31   |

## 5. Wnioski

Przedstawiona metoda umożliwi parametryczną identyfikację warunków eksploatacji pojazdu samochodowego. Warunki eksploatacji mogą wynikać w równym stopniu z zaistniałych warunków ruchu pojazdów, co ze stylu jazdy kierowcy. Warunki eksploatacji mogą być zarejestrowane w czasie normalnego użytkowania pojazdu. Metoda ta umożliwi również wyznaczenie referencyjnego zużycia paliwa dla tych samych warunków eksploatacji, do którego można odnieść zarejestrowane, eksploatacyjne zużycie paliwa. Przykładowo dysponując wynikami takiej analizy można jednoznacznie stwierdzić czy wzrost eksploatacyjnego zużycia paliwa jest uzasadniony gorszymi warunkami ruchu.

## Literatura

- [1] Cayot, J. F., *Compared fuel consumption between gasoline and diesel cars during short urban drive*. Reducing automobile fuel consumption, a challenge for the turn of the century, Rueil-Malmaison, 4 X 1996.
- [2] Chłopek, Z., *Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych*. Oficyna Wydawnicza Politechnik Warszawskiej, Warszawa 1999.
- [3] Chłopek, Z., *Ochrona środowiska naturalnego*. WKiŁ, Warszawa 2002.
- [4] Cichy, M., *Nowe teoretyczne ujęcie charakterystyki gęstości czasowej*. Silniki spalinowe Nr 2-3, 1986.
- [5] Gronowicz, J., *Ochrona środowiska w transporcie lądowym*. Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu, 2003.

- [6] Kropiwnicki, J., *Koncepcja nowego testu energetycznego dla pojazdów samochodowych*. Archiwum Motoryzacji. 2007, nr 2, s. 169-183.
- [7] Kropiwnicki, J., *Modeling of Reciprocating Engine Transient Torque*. Materiały konf. Bałttechmasz, Kaliningrad 20-23.06.2006.
- [8] Kropiwnicki, J., Possibilities of operating fuel consumption estimation of vehicles. Developments in Mechanical Engineering, Gdańsk University of Technology Publishers, Gdańsk 2008, Volume 2.
- [9] *Grenzwerte, Vorschriften und Messung der Abgas-Emissionen sowie Berechnung des Kraftstoffverbrauchs aus dem Abgastest*, Mercedes-Benz.
- [10] Merkisz, J., *Ekologiczne problemy silników spalinowych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.
- [11] Siłka, W., *Teoria ruchu samochodu*. WNT, Warszawa 2002.