

Ocena różnic w określaniu zużycia paliwa samochodu na podstawie charakterystyki uniwersalnej i dynamicznej

W publikacji opisano metodykę tworzenia charakterystyk zużycia paliwa w warunkach dynamicznych w oparciu o pomiary modalne w testach jezdnych NEDC i FTP-75 i uzyskaną charakterystykę zużycia paliwa dla konkretnego samochodu. Przedstawiono wyniki obliczeń zużycia paliwa uzyskane w oparciu o charakterystykę dynamiczną dla ustalonych warunków jazdy i w oparciu o charakterystykę uniwersalną silnika zamontowanego w konkretnym samochodzie. Porównano uzyskane wyniki i oceniono występujące różnice.

Słowa kluczowe: samochód, zużycie paliwa

Evaluation of the differences in determining fuel consumption for a real car based on universal and dynamic characteristics

This paper briefly describes a methodology of developing characteristics of fuel consumption in dynamic conditions on the basis of modal measurements in road tests NEDC and FTP-75, and based on determined characteristic of fuel consumption measurement for a real car engine. The results of fuel consumption calculations determined on the basis of the dynamic characteristic for set driving conditions, and on the basis of the universal characteristic for a real car have been presented. The results calculated have been compared and existing differences evaluated.

Key words: vehicle, fuel consumption

1. Wprowadzenie

Spotykane w literaturze analizy przebiegowego zużycia paliwa, w znacznej części przypadków oparte są o charakterystyki uniwersalne silników zastosowanych w rozpatrywanych pojazdach. Można się spotkać z różnymi podejściami do analiz tego zagadnienia i oceną ich efektywności. Przydatne narzędzie do analiz zmiennych obciążeń silnika w funkcji czasu przedstawiono w [3]. Zdefiniowano tam pojęcie „gęstości czasowej” obciążenia silnika, wykazano możliwości korzystania z charakterystyk uniwersalnych silnika przy rozpatrywaniu procesów losowych i zdeterminowanych. Przydatność metody zweryfikowano przez realizację obciążeń silnika według testu ECE-15 (dla przyjętych parametrów samochodu) i pomiary zużycia paliwa w obliczonych punktach.

Publikację [9] można uznać za rozszerzenie [3] obejmujące zagadnienia zużycia paliwa i wydzielania składników spalin w warunkach dynamicznych obciążenia silnika. Przeprowadzone analizy oparto o przyjęte charakterystyki uniwersalne silnika. Autor publikacji wykazał, że dla niewielkich przyspieszeń błąd wynikający z korzystania z charakterystyki uniwersalnej do oceny zagadnień dynamicznych sięga kilku procent.

Oceniając takie wyniki należy jednak pamiętać, że są one aktualne dla ustalonych warunków ruchu pojazdu i w rozumieniu [4] są charakterystykami statycznymi.

Ocenę zużycia paliwa dla dynamicznych warunków ruchu pojazdu prowadzi się w oparciu o pomiary przy realizacji testów jezdnych na hamowni podwoziowej. Realizacja testu jezdnych pozwala na symulowanie oporów: tocznienia, powietrza i bezwładności. Udziały tych oporów w całości testu zależą od typu testu, co zostało ocenione w [5]. W latach

1. Introduction

Analyses of mileage fuel consumption found in literature, are mainly based on universal characteristics of engines used in examined vehicles. There are various approaches to the analyses of this matter as well as to the evaluation of their effectiveness. A useful tool for analysing variable engine loads in the function of time is shown in [3]. There, the term “time density” of engine load is defined and possibilities of using universal characteristics of an engine for random and determined processes are presented. The usefulness of the method was verified through the realisation of engine loads as per ECE-15 test (for given car parameters) and fuel consumption measurements at points calculated.

Publication [9] can be regarded as an extension to [3] comprising the issues of fuel consumption and emission of components of exhaust gases in the dynamic conditions of engine load. The analyses performed were based on the universal engine characteristics accepted. The author of the publication showed that for small values of acceleration the error resulting from using the universal characteristic for the evaluation of dynamic matters reaches a few per cent.

Looking into results like those, it needs to be kept in mind that they are valid for set conditions of vehicle motion and as described in [4] they are static characteristics.

The measurement of fuel consumption for dynamic conditions of vehicle motion is carried out on the basis of measurements while realising drive tests on test beds. Realisation of a drive test enables the simulation of the following resistances: rolling, air and inertia. The participation of these resistances in the whole test depends on test type, which is examined in [5]. In the 1980's an average mileage fuel con-

osiemdziesiątych średnie przebiegowe zużycie paliwa obliczano jako średnią ważoną uzyskaną w wyniku pomiarów zużycia paliwa dla dwu ustalonych prędkości jazdy samochodu (najczęściej 90 i 120 km/h) i zużycia paliwa w teście jezdnym, miejskim ECE-15 realizowanym na hamowni podwoziowej. Współcześnie podaje się średnie przebiegowe zużycia paliwa uzyskane w wyniku realizacji testu mieszanego NEDC zawierającego test w ruchu miejskim UDC i ruchu pozamiejskim EUDC [6]. Jak wspomniano zużycie paliwa w ustalonych warunkach ruchu można w miarę dokładnie obliczyć na podstawie charakterystyki uniwersalnej silnika zastosowanego w konkretnym pojeździe. Realizacja testów jezdnych na hamowni podwoziowej jest metodą kosztowną i kłopotliwą, więc korzystnym jest opracowanie analitycznej metodyki oceny zużycia paliwa dla warunków dynamicznych ruchu, a więc również dla warunków ujętych procedurami testów jezdnych. W publikacji [1] opisano opracowaną przez autorów, oryginalną metodykę tworzenia charakterystyk zużycia paliwa w warunkach dynamicznych na bazie pomiarów modalnych w trakcie realizacji testów jezdnych NEDC i FTP-75 (pod pojęciem pomiarów modalnych należy rozumieć pomiary wykonywane w określonym krokiem czasowym). Przedstawione w niniejszej publikacji oszacowanie błędów określania zużycia paliwa będzie oparte o tak uzyskane charakterystyki i wyniki uzyskane w oparciu o statyczną charakterystykę uniwersalną. Przedstawione wartości zużycia paliwa obliczano z bilansu węgla w emitowanych składnikach spalin zgodnie z [7].

2. Budowa charakterystyki zużycia paliwa dla dynamicznych warunków ruchu

Zgodnie z nazewnictwem przedstawionym w [4] zależności uzyskane w metodzie określającej natężenie emisji danego składnika spalin w zależności od chwilowej prędkości i przyspieszenia noszą nazwę charakterystyk dynamicznych. W takim ujęciu charakterystyka uniwersalna jest charakterystyką statyczną. Pewne metodyki tworzenia charakterystyk dynamicznych w oparciu o testy jezdne przedstawiono w [1 i 2]. W przywołanych publikacjach charakterystyki natężenia emisji poszczególnych związków szkodliwych spalin i zużycia paliwa uzyskano w oparciu o wyniki badań podczas homologacyjnych testów jezdnych FTP-75 i połączonych danych z testów NEDC i FTP-75. Wyniki badań uzyskane na hamowni podwoziowej wykorzystano w zagadnieniu aproksymacji wielomianowej natężenia emisji i zużycia paliwa we współrzędnych: prędkość i przyspieszenie pojazdu. Przedstawiono ponadto charakterystyki w układzie współrzędnych: prędkość oraz iloczyn prędkości i przyspieszenia. Iloczyn prędkości i przyspieszenia można bowiem interpretować jako stopień obciążenia silnika w warunkach dynamicznych.

Rozważania ograniczono do przypadku nagrzanego silnika i reaktora katalitycznego. Dane o emisji związków szkodliwych spalin i zużyciu paliwa w zależności od chwilowej prędkości pojazdu i chwilowego przyspieszenia uzyskano prowadząc analizę modalną spalin emitowanych z pojazdu umieszczonego na hamowni podwoziowej. Pozwoliło to na

sumption was calculated as a weighted average obtained as a result of measurements of fuel consumption for two set car velocities (most often 90 and 120 km/h); and the fuel consumption in a drive test, urban ECE-15 realised on a test bed. Nowadays, what is reported is the average mileage fuel consumptions obtained as a result of a mixed NEDC test, comprising urban traffic UDC and motorway EUDC tests [6]. As already mentioned, the fuel consumption in set driving conditions may be fairly accurately calculated on the basis of the universal characteristic of the engine used in a specific vehicle. Realisation of driving tests on test beds is a costly and troublesome method and, therefore, it is beneficial to develop an analytical methodology for measurement of fuel consumption for dynamic conditions of motion, and also for the conditions determined by the procedures of driving tests. In this paper, [1] describes an original, developed by the author, methodology of creating characteristics of fuel consumption in dynamic conditions on the basis of modal measurements during realisation of drive tests: NEDC and FTP-75. The presented estimation of errors of determining fuel consumption will be based on so obtained characteristics and results on the basis of a static universal characteristic. The presented values of fuel consumption were calculated from the balance of carbon in the components of exhaust gases emitted according to [7].

2. Creating a characteristic of fuel consumption for dynamic conditions of motion

As per the terminology presented in [4], the dependencies obtained in the method describing intensity of emission of a given component of exhaust gases depending on momentary velocity and acceleration are called dynamic characteristics. From this point of view, a universal characteristic is a static one. Certain methodologies of creating dynamic characteristics based on driving tests are presented in [1 and 2]. In the publications referred to, characteristics of emission intensity of individual toxic compounds of exhaust gases and fuel consumption were obtained on the basis of the results of measurements during certification driving tests FTP-75 and joint data from NEDC and FTP-75 tests. The results of the tests on test beds were used in the problem of multinomial approximation of emission intensity and fuel consumption in the coordinates of: velocity and vehicle acceleration. Moreover, characteristics were presented in a coordinate system of velocity and a product of velocity and acceleration because product of velocity and acceleration may be interpreted as the degree of engine load in dynamic conditions.

The examining was limited to the case of a warm engine and catalytic reactor. Data regarding emission of toxic compounds and fuel consumption depending on momentary velocity of a vehicle and momentary acceleration were obtained while running a modal analysis of exhaust gases emitted from a vehicle placed on a test bed. This allowed us to create a matrix of emission and fuel consumption in the assumed range of coordinates. The data obtained this way (registered at different moments of the test duration) was

określenie macierzy emisji i zużycia paliwa w przyjętym zakresie współrzędnych. Uzyskane w ten sposób dane (zarejestrowane w różnych chwilach czasu trwania testu) uśredniono dla poszczególnych komórek macierzy (obejmującej prędkości v i przyspieszenia a) o zadanej gęstości. Dokładniejsze odwzorowywanie rzeczywistych wartości otrzymano poprzez zmniejszanie wymiarów elementów i zapisywanie danych we współrzędnych; prędkość v i iloczyn prędkości i przyspieszenia ($v \cdot a$). Przykładową macierz możliwą do uzyskania w wyniku realizacji testu FTP-75 w siatce z krokiem równym 10 km/h dla współrzędnej v i współrzędnej będącej iloczynem $v \cdot a$ z krokiem 10 m²/s³ przedstawiono na rys. 1.

Ogólnie, problem budowy charakterystyki dynamicznej oparto wg [1] na wyznaczeniu funkcji dwóch zmiennych (prędkości i przyspieszenia bądź prędkości oraz iloczynu prędkości i przyspieszenia) aproksymującej natężenie emisji danego składnika spalin bądź zużycia paliwa.

Ze względu na często ograniczone możliwości badawcze jak i specyfikę testów jezdnych na hamowniach podwoziowych dostępna w wyniku badań informacja ma charakter dyskretny. Stąd w pierwszym kroku aproksymacji danych pomiarowych przyjmuje się założoną gęstość siatki współrzędnych, co pozwala na wyznaczenie wartości poszczególnych elementów (komórek) macierzy np. jak na rys. 1. Optymalna gęstość siatki powinna pozwalać na możliwie duże jej wypełnienie. Analizę doboru gęstości siatki przedstawiono w [2].

Osobnym problemem pozostaje określenie wystarczającej liczby pomiarów uśrednianych w danym elemencie. Pewne prace z tym związane były prowadzone między innymi w ramach projektów europejskich [8]. Dane przedstawione w niniejszej pracy oparto o trzykrotne powtórzenia realizowanych testów.

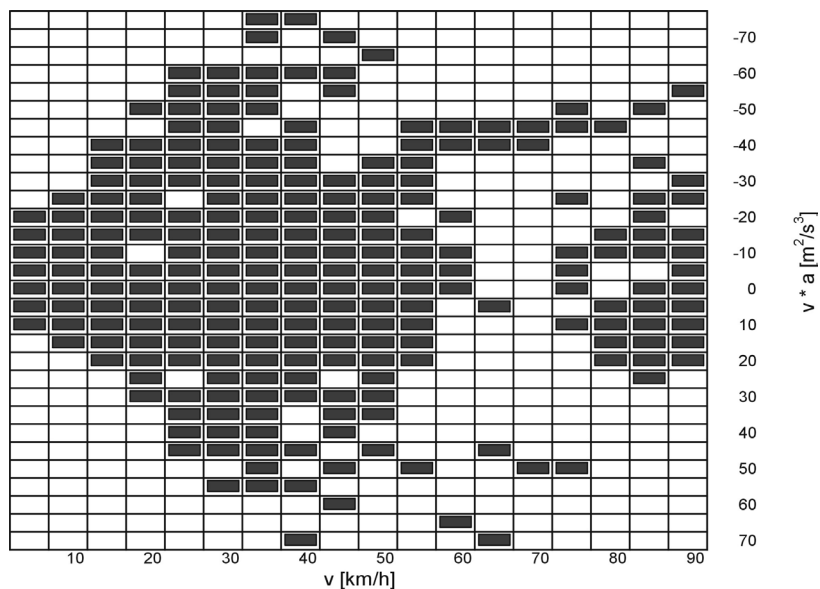
Po dokonaniu podziału macierzy na elementy, uśrednia się otrzymane wartości z pomiaru dla poszczególnych elementów. Średnia wartość w danym elemencie jest średnią ważoną w postaci:

$$f_e = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i f_{e,i}}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (1)$$

gdzie α_i – współczynnik wagi zależny od biegu na którym dokonano pomiaru, $f_{e,i}$ – zmierzona wartość. Wagi α_i odzwierciedlają rzeczywisty udział czasowy jazdy na danym biegu podczas realizacji testu jezdnych.

Uśrednione wartości wykorzystano w zagadnieniu aproksymacji funkcji dwóch zmiennych w sposób przedstawiony poniżej.

averaged for each matrix cell (comprising velocities v and accelerations a) with a given density. A more accurate representation of real values was obtained through reduction of dimensions of elements and recording data in the coordinates of velocity v and a product of velocity and acceleration



Rys. 1. Macierz natężenia emisji lub zużycia paliwa jako funkcja prędkości oraz iloczynu przyspieszenia i prędkości, możliwa do uzyskania w ramach testu jezdnych FTP-75, wg [2]

Fig. 1. Matrix of emission intensity or fuel consumption as a function of velocity and a product of velocity and acceleration, which can be obtained as a result of an FTP-75 drive test, according to [2]

tion ($v \cdot a$). An example of a matrix, which can be obtained as a result of an FTP-75 test in a grid of 10 km/h for the coordinate v and 10 m²/s³ for the coordinate which is the product of $v \cdot a$ is shown in Fig. 1.

In general the task of creating a dynamic characteristic, according to [1], is based on defining two variable function (velocity and acceleration or velocity and the product of velocity and acceleration) approximating the intensity of emission of a given exhaust component or fuel consumption.

Because of limitations of experimental measurements and test specifications made on engine test beds information thus gathered is discrete. Thus, in the first step of approximation of data, the density of net cells is assumed which enables components (cells) of the matrix to be determined, for example as in Fig. 1. The optimal net density should allow it to be filled considerably. Analysis of the selection of net density is shown in [2].

A separate task remains to determine a sufficient number of measurements averaged in a given element. Some research into this was done, also, as part of the European projects [8].

The data presented in this paper is on the basis of three-fold repetition of the tests carried out.

Having divided the matrices into elements, the measured values for each element are averaged. The average value in a given element is a weighted average in the form:

Przyjęto, że rozpatrywana funkcja aproksymująca ma ogólną postać:

$$W(x, y) = \sum_{i=0}^{n_x} a_i x^i \cdot \sum_{j=0}^{n_y} b_j y^j, \quad (2)$$

o współczynnikach $(n_x + 1) \cdot (n_y + 1)$. Wprowadzając oznaczenie $c_{ij} = a_i \cdot b_j$ do (2) otrzymuje się:

$$W(x, y) = \sum_{i=0}^{n_x} \sum_{j=0}^{n_y} c_{ij} x^i y^j. \quad (3)$$

Problem wyznaczenia funkcji aproksymującej w postaci (3) można zdefiniować jako poszukiwanie takiej wartości parametrów c_{ij} przy których funkcjonal Ω określony poniżej osiąga minimum w sensie sumy najmniejszych kwadratów:

$$\Omega(c_{00} \dots c_{n_x n_y}) = \sum_{e=0}^m \left[\sum_{i=0}^{n_x} \sum_{j=0}^{n_y} c_{ij} x_e^i y_e^j - f_e \right]^2, \quad (4)$$

gdzie $(m+1)$ jest liczbą elementów macierzy dla których znane są wartości f_e (natężenia emisji bądź zużycia paliwa).

Warunkiem koniecznym i wystarczającym osiągnięcia przez $\Omega(c_{ij})$ minimum jest, aby:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial c_{ij}} = 0. \quad (5)$$

Uwzględniając (4) z równań (5) otrzymuje się:

$$\sum_{s=0r=0}^{n_x} \sum_{e=0}^{n_y} c_{sr} \sum_{e=0}^m x_e^{s+i} y_e^{r+j} = \sum_{k=0}^m f_e x_e^i y_e^j, \quad (6)$$

dla $i=0, \dots, n_x; j=0, \dots, n_y$.

Rozwiązanie układu równań (6) umożliwia wyznaczenie współczynników c_{ij} i skonstruowanie powierzchni aproksymujących odpowiednio natężenie emisji związków szkodliwych spalin i zużycia paliwa. Osobnym problemem pozostaje wybór współczynników n_x, n_y , które zgodnie z przedstawionym ogólnym algorytmem nie muszą być identyczne. Dla potrzeb niniejszej publikacji przyjęto $n_x = n_y = 2$.

Bazę danych do opracowania przedstawionych w dalszej części artykułu charakterystyk dynamicznych uzyskano w wyniku trzykrotnej realizacji testów FTP-75 i NEDC w certyfikowanym Laboratorium Toksyczności Spalin OBR SM BOSMAL. Trzykrotne powtórzenie testu umożliwiło uśrednienie wyników badań i wyeliminowanie przypadkowych błędów. Obiektem badań był samochód klasy handlowej B o masie 1120 kg zasilany benzyną w systemie MPI. Dane o natężeniu emisji oraz zużyciu paliwa uzyskano stosując analizę modalną z krokiem czasowym równym jednej sekundzie.

Opisany algorytm aproksymacyjny wykorzystano do wyznaczenia charakterystyk dynamicznych natężenia emisji CO_2 , CO , HC i NO_x , a na tej podstawie (z bilansu węgla) charakterystyki dynamicznej zużycia paliwa dla opisanego pojazdu. Rozważania ograniczono do funkcji których postać gwarantuje najwyżej jedno ekstremum. Na kolejnych rysunkach przedstawiono niektóre uzyskane charakterystyki.

$$f_e = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i f_{e,i}}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (1)$$

where: α_i – weight coefficient dependent on the gear for which the measurement was taken, $f_{e,i}$ – value measured. Weights α_i reflect real time proportion of drive in a given gear during the drive test.

The averaged values were used for approximation of a function with two variables in the way described below.

It was assumed that the approximating function in question takes the general form:

$$W(x, y) = \sum_{i=0}^{n_x} a_i x^i \cdot \sum_{j=0}^{n_y} b_j y^j \quad (2)$$

with $(n_x + 1) \cdot (n_y + 1)$ coefficients. Introducing denotation

$c_{ij} = a_i \cdot b_j$ into (2) the following is obtained:

$$W(x, y) = \sum_{i=0}^{n_x} \sum_{j=0}^{n_y} c_{ij} x^i y^j \quad (3)$$

The task of formulation of the approximating function in form (3) can be defined as searching for such values of parameters c_{ij} for which functional Ω defined below is minimized by means of a sum of least squares:

$$\Omega(c_{00} \dots c_{n_x n_y}) = \sum_{e=0}^m \left[\sum_{i=0}^{n_x} \sum_{j=0}^{n_y} c_{ij} x_e^i y_e^j - f_e \right]^2 \quad (4)$$

where $(m+1)$ is the number of elements in a matrix for which values f_e (emission intensity or fuel consumption) are known.

The sufficient and necessary condition for $\Omega(c_{ij})$ to achieve the minimum is:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial c_{ij}} = 0 \quad (5)$$

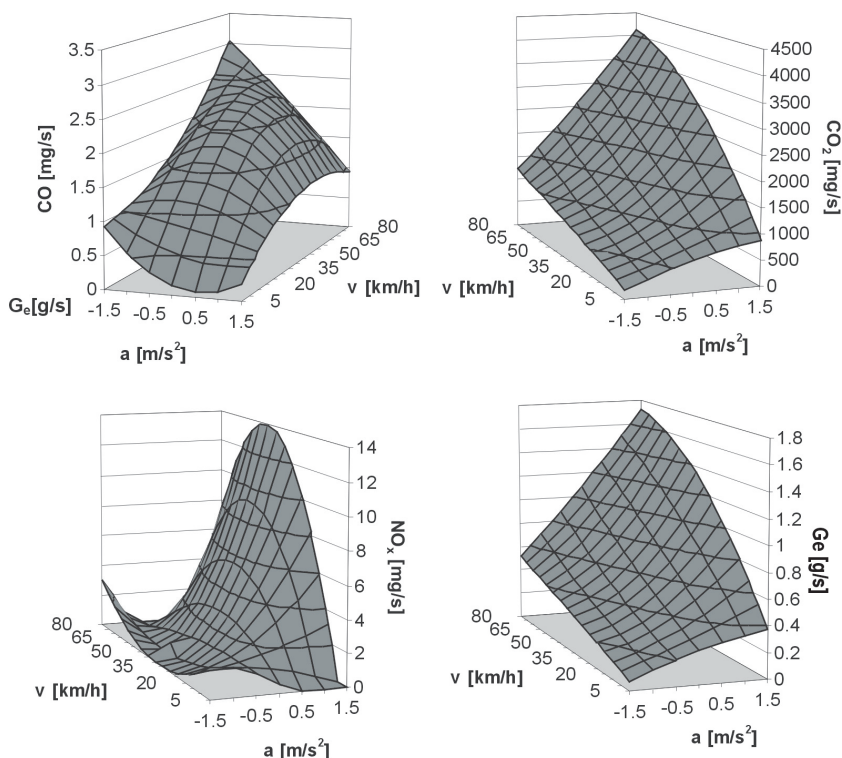
Taking into account (4) from equations (5) one can obtain:

$$\sum_{s=0r=0}^{n_x} \sum_{e=0}^{n_y} c_{sr} \sum_{e=0}^m x_e^{s+i} y_e^{r+j} = \sum_{k=0}^m f_e x_e^i y_e^j \quad (6)$$

for $i=0, \dots, n_x; j=0, \dots, n_y$.

Solution of the set of equations (6) enables coefficients c_{ij} to be calculated and approximating surfaces of emission intensity of harmful exhaust components and fuel consumption to be constructed. Choice of coefficients n_x, n_y , which do not need to be identical, is another problem. For the purpose of this work the following was assumed: $n_x = n_y = 2$.

Database for the dynamic characteristics, which will be presented below, was obtained from threefold realisation of FTP-75 and NEDC tests at a Certified Laboratory of Exhaust Gas Toxicity at the BOSMAL Research & Development Centre. The threefold repetition of both tests enabled the results of experimental measurements to be averaged and accidental errors to be eliminated. A class B passenger car with a mass of 1120 kg and gasoline MPI engine was used for ex-

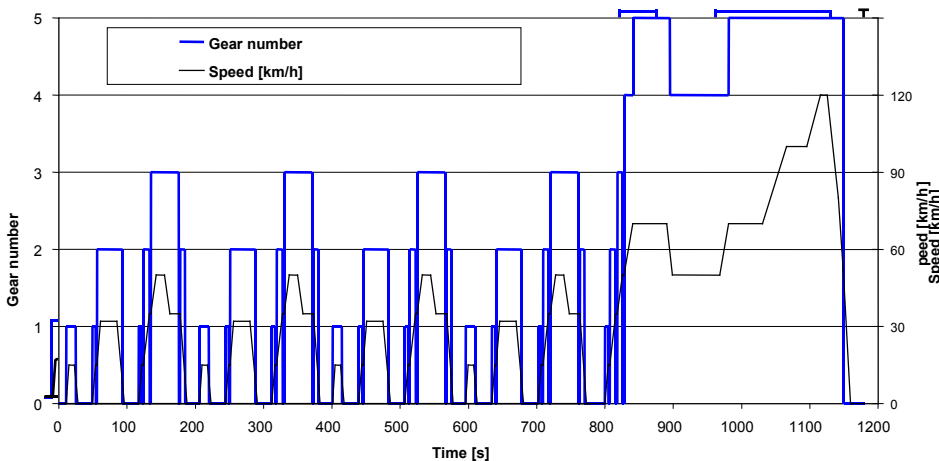


Rys. 2. Przykładowe charakterystyki dynamiczne: a) CO, b) CO₂, c) NO_x, d) zużycia paliwa G_e

Fig. 2. Examples of dynamic characteristics: a) CO, b) CO₂, c) NO_x, d) fuel consumption G_e

3. Zużycie paliwa obliczone z charakterystyki uniwersalnej

Realizacja testów jezdnych na hamowni podwoziowej przebiega według określonych procedur, które oprócz zmienności prędkości w czasie narzucają stosowanie określonych przełożeń w skrzyni biegów. Analiza zmian przełożeń pozwala na określenie czasu pracy samochodu na poszczególnych biegach. Świadomość tego faktu posłużyła do obliczenia „wag” udziału poszczególnych biegów w zależności (1) przy obliczaniu funkcji aproksymującej w postaci (6). Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono udziały poszczególnych biegów w realizacji testów NEDC i FTP-75.



Rys. 3. Udziały przełożeń w skrzyni biegów przy realizacji testu NEDC

Fig. 3. Participations of gears in the gear box in the realisation of NEDC test

perimental measurements. Data of emission intensity and fuel consumption were obtained by means of modal analysis with a time step of one second.

The approximation algorithm presented has been used for the formulation of the dynamic characteristic of intensity of emission of CO₂, CO, HC, NO_x, and on the basis of this (from carbon balance) for the formulation of the dynamic characteristic of fuel consumption for the car described. The examining has been limited to the functions whose forms guarantee a maximum of one extremum. The following figures show some of the characteristics obtained.

3. Fuel consumption calculated from the universal characteristic

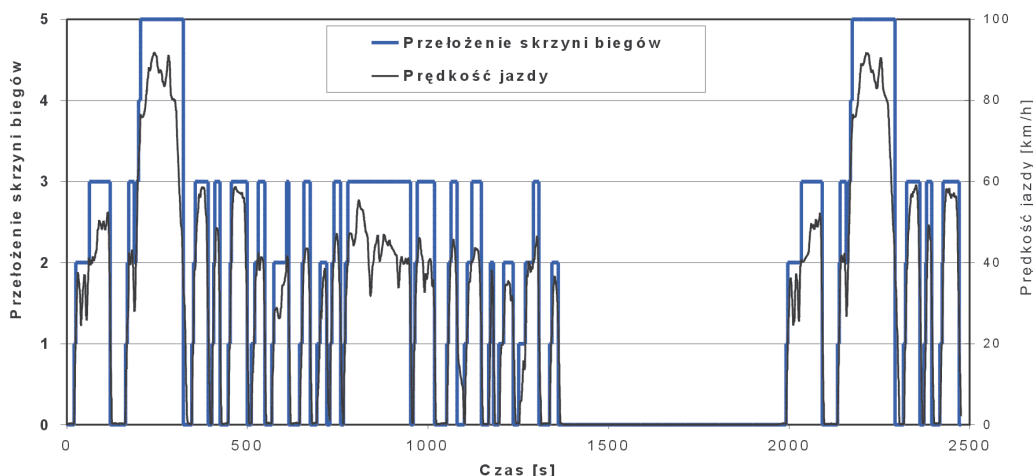
The realisation of drive tests on test beds is carried out according to certain procedures, which as well as change in velocity over time impose using certain gear ratios in the gearbox. Analysis of change in gear ratios enables the car's time in respective gears to be defined. Knowing this allowed us to calculate the “importance” of participation of each gear

in dependence (1) when calculating approximating function in form (6). Figs 3 and 4 illustrate the participation of respective gears in the realisation of NEDC and FTP-75 tests.

Analysing Figs 3 and 4 it can be observed that the third gear is the one of the longest time of use.

The calculations of fuel consumption for set driving velocities on the basis of the universal characteristic of the engine produce satisfactory results for higher gears, and for this reason for the given parameters of the car used for the testing described in the previous chapter, calculations of the moments of motion resistance for the three fastest gears i.e. third, fourth and fifth for the set driving conditions were

carried out. The curves obtained were plotted onto the universal characteristic of the engine of the tested car, which is shown in Fig. 5. These were used for the calculation of fuel consumption, in grams per second in the function of driving velocity. Table 1 presents the changeability of absolute values of the differences in fuel consumption calculated from universal and dynamic characteristics in the function of driving velocity. Errors, in per cent, of the



Rys. 4. Udziały przełożeń w skrzyni biegów przy realizacji testu FTP-75

Fig. 4. Participations of gears in the gear box in the realisation of FTP-75 test

Z analizy rysunków 3 i 4 wynika, że bieg trzeci jest biegiem o najdłuższym czasie użytkowania.

Obliczenia zużycia paliwa dla ustalonych prędkości jazdy w oparciu o charakterystykę uniwersalną silnika dają zadowalające wyniki dla biegów wyższych i z tego względu dla danych parametrów samochodu użytego do badań opisanych w poprzednim rozdziale, przeprowadzono obliczenia momentów oporu ruchu dla trzech najszybszych biegów tj. biegu trzeciego, czwartego i piątego dla ustalonych warunków ruchu. Uzyskane krzywe naniesiono na charakterystykę uniwersalną silnika badanego samochodu, co przedstawiono na rysunku 5. Posłużyły one do obliczenia zużycia paliwa wyrażonego w gramach na sekundę w funkcji prędkości jazdy. W tabeli 1 przedstawiono zmienność w funkcji prędkości jazdy, wartości bezwzględnych różnic zużycia paliwa obliczanego z charakterystyki uniwersalnej i charakterystyki dynamicznej. Określono również błędy procentowe tak obliczonego zużycia, przyjmując za 100% zużycie obliczone z charakterystyki dynamicznej. Natomiast na rysunku 6 zesta-

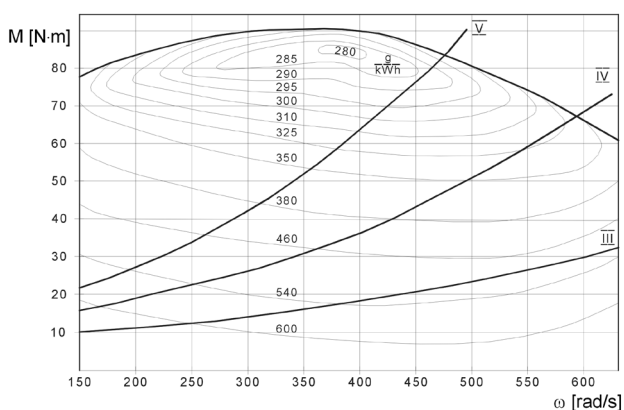
fuel consumption calculated in this way were determined, assuming the fuel consumption calculated from the dynamic characteristic as 100%. Results obtained are combined in Fig. 6. For the acceleration assumed, $a = 0$, the approximating function takes the form of:

$$G_e = 0.13 + 0.012 V - 0.000004 V^2$$

4. Summary

The following conclusions can be drawn on the basis of the calculations and their analysis:

1. For set conditions of car motion the fuel consumption examined in the function of driving velocity is primarily dependent on driving velocity (Fig. 6) and weakly-dependent on the gear used.
2. The curve of fuel consumption calculated from the dynamic characteristic for set motion velocities is of a character which is near to a linear course inscribed in the curves obtained from the universal characteristic.
3. The differences in the fuel consumptions calculated using the universal characteristic and dynamic ones increase with



Rys. 5. Charakterystyka uniwersalna silnika z naniesionymi przebiegami oporów ruchu samochodu przy jeździe na III, IV i V biegu

Fig. 5. Universal characteristic of the engine with the courses of the resistances of car motion while driving in third, fourth and fifth gear plotted

Tabela 1. Zestawienie modułu różnic między zużyciami paliwa obliczonymi z charakterystyki dynamicznej i uniwersalnej w funkcji prędkości jazdy na biegach III, IV i V

Table 1. Compilation of absolute values of the differences in fuel consumption calculated from the dynamic and universal characteristics in the function of driving velocity in III, IV and V gear

V [km/h]	25	50	60	70	80	90	100
$G_{e_{III}}$ [g/s]	0,160	0,130	0,10	0,082	0,11	0,22	0,59
Błąd % $_{III}$	34,00	17,30	14,0	8,4	10,0	18,5	41,0
$G_{e_{IV}}$ [g/s]	-	-	0,009	0,05	0,12	0,15	0,28
Błąd % $_{IV}$	-	-	1,0	5,1	11,1	12,6	21,5
$G_{e_{V}}$ [g/s]	-	-	-	0,08	0,007	0,009	0,12
Błąd % $_{V}$	-	-	-	8,2	0,6	0,7	9,2

wiono graficznie uzyskane wyniki. Dla przyjętego przyspieszenia $a = 0$, funkcja aproksymująca ma postać:

$$G_e = 0,13 + 0,012 V - 0,000004 V^2.$$

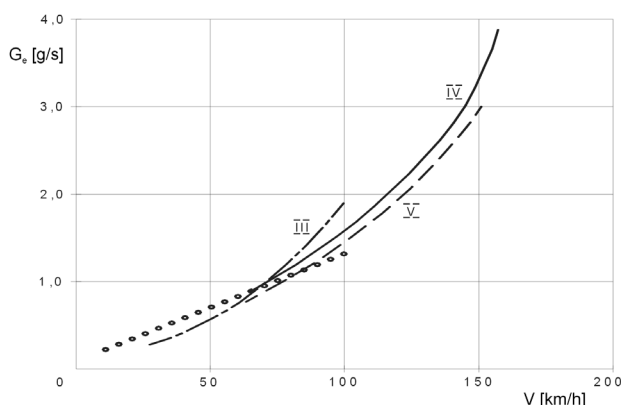
4. Podsumowanie

Z przeprowadzonych obliczeń i ich analizy można wysnuć następujące wnioski:

1. Dla ustalonych warunków ruchu rozpatrywanego samochodu obliczone zużycie paliwa jest w pierwszym rzędzie zależne od prędkości jazdy (rys. 6) i słabo zależne od zastosowanego przełożenia.
2. Przebieg zużycia paliwa w funkcji prędkości, obliczony z charakterystyki dynamicznej dla ustalonych prędkości ruchu ma charakter zbliżony do przebiegu liniowego wpisanego w krzywe uzyskane z charakterystyki uniwersalnej (rys. 6).
3. Różnice w obliczonych zużyciach paliwa przy wykorzystaniu charakterystyki uniwersalnej i charakterystyk dynamicznych rosną z prędkością ruchu na biegach IV i V. Można to wytłumaczyć mniejszą dokładnością funkcji aproksymujących dla wyższych prędkości jazdy co z kolei wynika z mniejszej liczby punktów pomiarowych przy większych prędkościach (rys. 1).
4. Przedstawiona metodyka tworzenia charakterystyk dynamicznych może być efektywnym narzędziem do analiz ruchu samochodu zarówno w dynamicznych jak i statycznych warunkach ruchu.
5. Przedstawione wyniki odnoszą się do jednego typu samochodu i zostały uzyskane w oparciu o bazę danych z pomiarów modalnych w testach NEDC i FTP-75. Dalszych prac wymaga określenie przydatności uzyskanych charakterystyk do analiz innych pojazdów podobnej klasy. Dalszych badań wymaga również określenie wpływu stanu technicznego samochodu na uzyskiwane charakterystyki.

motion velocity, which can be explained by a small number of measurement points for greater driving velocities for approximating dynamic characteristics.

4. The methodology of creating the dynamic characteristics presented can be an effective tool for the analysis of car motion in dynamic and static conditions of motion.
5. The results presented refer to one type of car and have been obtained on the basis of a database from modal measurements in NEDC and FTP-75 tests. It requires further research to establish how useful the characteristics obtained are for the analysis of other vehicles in similar classes. It also requires further work to determine the effect of a car's condition on the characteristics obtained.



Rys. 6. Zestawienie zużycia paliwa wyrażone w g/s w funkcji prędkości jazdy w km/h dla obliczeń z charakterystyki uniwersalnej dla II, IV i V biegu oraz z charakterystyki dynamicznej dla statycznych warunków ruchu – oznaczenie punktami

Fig. 6. Compilation of fuel consumption, in g/s, in the function of driving velocity, in km/h, for the calculations from the universal characteristic for second, fourth and fifth gear; and from the dynamic characteristic for the static conditions of motion – the dotted line

Artykuł recenzowany

Literatura/Bibliography

1. Brzozowski K., Romaniszyn K. M.: An effective method of creating dynamic characteristics using drive tests. The Archive of Mechanical Engineering 4, 2003, Vol. L, s. 391-408.
2. Brzozowski K., Romaniszyn K. M.: Charakterystyka dynamiczna zużycia paliwa i emisji związków szkodliwych spalin, Zeszyty Naukowe BOSMAL nr 21, 2003.
3. Cichy M.: Nowe teoretyczne ujęcie charakterystyki gęstości czasowej, Silniki Spalinowe, nr 2-3, 1986.
4. Chłopek Z.: Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych, Prace Naukowe, Seria „Mechanika” z. 173. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
5. Chłopek Z.: Modelowanie emisji globalnej spalin z silników pojazdów drogowych. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej 4(35), 1999.
6. Regulamin EKG ONZ 83.05/B.
7. Regulamin EKG ONZ nr 68.
8. Sturm P.J. et al: Instantaneous emission data and their use in estimating passenger car emissions. VKM-THD Report, Vol. 74, Verlag der Techn. Univ. Graz, Graz 1998.
9. Wisłocki K.: Rozkład warunków pracy w optymalizacji silnika spalinowego pojazdu. Silniki Spalinowe nr 4, 1989.

* Dr hab. inż. Kazimierz Maria Romaniszyn – profesor Akademii Techniczno-Humanistycznej i OBR BOSMAL w Bielsku Białej, w latach 1990–2000 dyrektor Ośrodka Badań i Rozwoju BOSMAL w Bielsku Białej.

Kazimierz Maria Romaniszyn, Ph.D. D.Sc. M.E. – Professor at the University of Bielsko-Biala and the Automotive R&D Center BOSMAL in Bielsko-Biala, in 1990–2000 director of BOSMAL.

