

Zdzisław CHLOPEK\*

## Badania niepowtarzalności emisji zanieczyszczeń z silników samochodów

*W pracy przedstawiono podstawy teoretyczne analizy użytkowych właściwości silników spalinowych w warunkach przypadkowych. Wyniki rozważań teoretycznych zilustrowano badaniami niepowtarzalności właściwości ekologicznych (ze względu na emisję zanieczyszczeń i zużycie paliwa) silnika samochodu osobowego w warunkach testu jazdnego zgodnego z regulaminem ECE R83.05.*

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, ekologia, emisja drogowa

### Testing of non-repeatability of pollution emission from motor-car engines

*This work presents the theoretical grounds for the analysis of I.C. engine operation properties under random conditions. The results of theoretical considerations are illustrated by the tests of non-repeatability of motor-car engine's ecological properties (due to pollution emission and fuel consumption) under conditions of the driving test according to the ECE R83.05 regulation.*

Key words: combustion engine, ecology, distance mass emission

## Wstęp

Wiedza na temat użytkowych właściwości silników spalinowych dotyczy zazwyczaj przyczynowych warunków pracy oraz nie jest uwzględniana statystyczna natura uzyskiwanych wyników badań. Usprawiedliwieniem tych faktów są wysokie koszty współczesnych badań, szczególnie badań emisji zanieczyszczeń w warunkach symulujących rzeczywiste użytkowanie silników. Wyniki badań, w których warunki pracy silników są potraktowane jako przypadkowe, np. [4] (na podstawie danych zawartych [1]) oraz w [4, 5] uzasadniają celowość podejmowania tej tematyki. Podobnie badania statystycznych właściwości silników pracujących w warunkach statycznych, dotyczące zarówno procesów szybkozmiennych [8], jak i procesów o właściwościach częstotliwościowych odpowiadających warunkom trakcyjnego użytkowania silników [9], umożliwiają uzyskanie cennych informacji na temat powtarzalności użytkowych właściwości silników. Szczególnie duże znaczenie praktyczne ma badanie użytkowych właściwości silników spalinowych w warunkach symulujących warunki rzeczywistego użytkowania silników [6].

Badania podjęte nad właściwościami użytkowymi silników spalinowych w warunkach przypadkowych symulujących warunki rzeczywistego użytkowania są prowadzone w kierunkach: oceny wrażliwości właściwości silników na wielkości charakteryzujące warunki ich pracy oraz oceny powtarzalności użytkowych właściwości silników zarówno w warunkach statycznych, jak i dynamicznych. W niniejszej pracy są prezentowane wybrane wyniki badań powtarzalności ekologicznych właściwości silników ze względu na emisję zanieczyszczeń i zużycie paliwa w warunkach testu jazdnego zgodnego z wymaganiami regulaminu ECE 83.05.

## Metodyka badań emisji zanieczyszczeń w warunkach przypadkowych użytkowania samochodów

Przedmiotem badań są właściwości ekologiczne ze względu na emisję substancji szkodliwych dla środowiska (zanieczyszczeń) z silników samochodów i zużycia paliwa przez nie. Jako jedną z wielkości, charakteryzujących zanieczyszczenie środowiska przez silniki spalinowe, użytkowane w pojazdach, przyjmuje się emisję drogową, będącą pochodną emisji zanieczyszczenia względem drogi przebywanej przez samochód [4, 5]

$$b_s(s) = \frac{dm_s(s)}{ds} \quad (1)$$

## Introduction

The knowledge about the operation properties of I.C. engines usually applies to causal operating conditions, and – additionally – the statistical nature of obtained test results is not taken into consideration.. These facts are justified to some extent by high costs of present-day tests, particularly tests of pollution emission under conditions simulating the real use of engines. The results of tests in which engine operating conditions are treated as random, e.g. [4] (based on the data contained in [1]) and in [4, 5]) justify the expediency of taking up this subject matter. Similarly, the testing of statistical properties of engines operating under static conditions, concerning both quick-change processes [8] and processes having frequency properties corresponding to engine traction use conditions [9], makes it possible to obtain valuable information about the repeatability of engine operation properties. It is of particularly high practical importance to test I.C. engine operation properties under conditions simulating the real conditions of engine use [6].

Tests on I.C. engine operation properties in random conditions simulating the real use conditions are aimed at judging the engine properties sensitivity to the values characterizing the engine operating conditions and estimating the repeatability of engine operation properties both in static and dynamic conditions. This elaboration presents chosen test results of the repeatability of ecological properties of engines due to pollution emission and fuel consumption under driving test conditions according to the requirements in the ECE 83.05 regulation.

## Test methodology of pollution emission under random conditions of car use

The object of tests is the ecological properties due to the car engine emission of substances harmful to the environment (pollutants) and due to fuel consumption by car engines. One of the values characterizing the environmental pollution by I.C. engines used in road vehicles is assumed to be the distance mass emission being derived from pollution emission in relation to distance covered by car [4, 5]:

$$b_s(s) = \frac{dm_s(s)}{ds} \quad (1)$$

gdzie:  $s$  – droga przebywana przez pojazd,  $m_s(s)$  – emisja zanieczyszczenia jako funkcja drogi przebywanej przez pojazd.

Jako funkcja czasu emisja drogowa wynosi:

$$b_t(t) = b_s(s(t)) \quad (2)$$

przy czym droga  $s$  jest równa:

$$s(t) = \int_0^t v(\tau) \cdot d\tau \quad (3)$$

gdzie:  $v$  – prędkość samochodu,  $t$  – czas.

Właściwości użyteczne silnika spalinowego zależą w warunkach dynamicznych w sposób operatorowy przede wszystkim od stanu pracy silnika, określonego obciążeniem silnika i jego prędkością obrotową, od stanu cieplnego, który może być opisany zbiorem temperatur części i układów silnika oraz od warunków zewnętrznych, wpływających na pracę silnika [4, 5]. Emisję drogową można modelować jako operatorową zależność [4, 5]:

$$b_t(t) = B_M[M_e(t), n(t), R(t), G(t)] \quad (4)$$

gdzie:  $M_e(t)$  – moment obrotowy,  $n(t)$  – prędkość obrotowa,  $R(t)$  – stan cieplny silnika,  $G(t)$  – zbiór zawierający informacje o warunkach zewnętrznych.

W warunkach trakcyjnego użytkowania silnika emisja drogowa jest zależna operatorowo przede wszystkim od przebiegu prędkości, jako podstawowej wielkości determinującej warunki pracy silnika w samochodzie w związku z podobieństwem właściwości współczesnych układów napędowych [4, 5]:

$$b_t(t) = B_v[v(t), A(t), R(t), G(t)] \quad (5)$$

gdzie:  $A(t)$  – zbiór, którego elementy zawierają informacje o oporach ruchu samochodu, związanych z ukształtowaniem nawierzchni.

W badaniach silników trakcyjnych w pojazdach w warunkach kontrolowanej powtarzalności na hamowni podwoziowej niektórych wielkości jako podstawowe wymuszenia można przyjąć: przebieg prędkości samochodu, zdeterminowany oporami ruchu i sterowaniem mocy silnika:

$$v(t) = f_v(t) \quad (6)$$

oraz przebieg warunków zewnętrznych, które mają charakter wolnozmienny w stosunku do procesów znamiennych dla trakcyjnego użytkowania silników:

$$G(t) = f_G(t) \quad (7)$$

Stan cieplny silnika może być modelowany jako zależność operatorowa prędkości oraz warunków zewnętrznych:

$$R(t) = f_R[v(t), G(t)] \quad (8)$$

zaś opory ruchu są zależne funkcjonalnie od prędkości samochodu:

$$A(t) = f_A(v(t)) \quad (9)$$

Średnia emisja drogowa zanieczyszczenia w teście jezdnym wynosi:

$$b_{sr} = \frac{1}{S} \cdot \int_0^S b_s(s) \cdot ds \quad (10)$$

gdzie droga  $S$  wynosi:

$$S = \int_0^T v(t) \cdot dt \quad (11)$$

dla  $v(t) \geq 0$  (co ma miejsce zawsze w wypadku testów jezdnych), przy czym  $t \in [0; T]$ , gdzie  $T$  – czas trwania testu.

where:  $s$  – distance covered by vehicle,  $m_s(s)$  – pollution emission as a function of distance covered by vehicle.

As a function of time, the distance mass emission is:

$$b_t(t) = b_s(s(t)) \quad (2)$$

where at distance  $s$  is equal to:

$$(3)$$

where:  $v$  – car velocity,  $t$  – time.

Under dynamic conditions, the I.C. engine operation properties depend operationally, in the first place, on engine running state determined by engine load and speed, thermal state that can be described by a set of temperatures of engine parts and systems, and external conditions influencing engine running [4, 5]. The distance mass emission can be modelled as the operational dependence [4, 5]:

$$b_t(t) = B_M[M_e(t), n(t), R(t), G(t)] \quad (4)$$

where:  $M_e(t)$  – torque,  $n(t)$  – speed,  $R(t)$  – thermal state of engine,  $G(t)$  – set containing information about external conditions.

Under engine traction use conditions, the distance mass emission depends operationally, in the first place, on course of velocity as the basic quantity determining engine running conditions in car in connection with the similarity of the properties of present-day power transmission systems [4, 5]:

$$b_t(t) = B_v[v(t), A(t), R(t), G(t)] \quad (5)$$

where:  $A(t)$  – set of elements containing information about car's resistance to motion connected with road surface shape.

In the testing of traction engines in vehicles under conditions of the controlled repeatability of some quantities on a chassis dynamometer, the following can be taken as the basic forced parameters: course of car velocity determined by resistance to motion and engine power control:

$$v(t) = f_v(t) \quad (6)$$

and course of external conditions that are of the slow-change nature in relation to processes significant for the traction use of engines:

$$G(t) = f_G(t) \quad (7)$$

The thermal state of engine can be modelled as the operational dependence of velocity and external conditions:

$$R(t) = f_R[v(t), G(t)] \quad (8)$$

while resistance to motion depends functionally on car velocity:

$$A(t) = f_A(v(t)) \quad (9)$$

The average distance mass emission of pollution in driving test is:

$$b_{sr} = \frac{1}{S} \cdot \int_0^S b_s(s) \cdot ds \quad (10)$$

where distance  $S$  is:

$$S = \int_0^T v(t) \cdot dt \quad (11)$$

for  $v(t) \geq 0$  (which is always the case in driving tests), whereat  $t \in [0; T]$ , where  $T$  – test duration.

Na wartość średniej emisji drogowej zanieczyszczenia wpływają:

- bezpośrednio – przebiegi prędkości samochodu oraz warunków zewnętrznych  $G(t) = f_G(t)$ ,
- pośrednio – przebiegi stanu cieplnego silnika  $R(t) = f_R[v(t), G(t)]$  oraz oporów ruchu samochodu  $A(t) = f_A(v(t))$ .

W warunkach badań na hamowni podwoziowej istnieje możliwość arbitralnego przyjęcia założenia o przyczynowości funkcji:  $f_G(t)$ ,  $f_R[v(t), G(t)]$  i  $f_A(v(t))$ .

Przebieg prędkości  $f_v(t)$  można potraktować jako przypadkową i przedstawić jako funkcję funkcji przyczynowej  $f_{vd}(t)$  i przypadkowej  $f_{vl}(t)$ :

$$f_v(t) = F(f_{vd}(t), f_{vl}(t)) \quad (12)$$

Przykładowo funkcję tę można modelować w sposób addytywny jako:

$$f_v(t) = f_{vd}(t) + f_{vl}(t) \quad (13)$$

lub mnożyciwy jako:

$$f_v(t) = f_{vd}(t) \cdot f_{vl}(t) \quad (14)$$

Jeżeli przebieg prędkości  $f_v(t)$  jest funkcją przyczynową, czyli nie jest ona zależna od funkcji  $f_{vl}(t)$ , tzn. dla  $t \in [0; T]$ :  $f_{vl}(t) = 0$  w wypadku (13) lub  $f_{vl}(t) = 1$  w wypadku (14), to średnia emisja drogowa zanieczyszczenia jest też wielkością przyczynową  $b_{sr} = b_D$ .

W ogólności, gdy przebieg prędkości  $f_v(t)$  jest funkcją przypadkową, wówczas średnia emisja drogowa zanieczyszczenia jest wielkością przypadkową  $b_{sr} \neq b_D$ , zatem miarą różnicy średniej emisji drogowej zanieczyszczeń w teście w warunkach prędkości o atrybutach: przyczynowym i przypadkowym jest:

$$\Delta b = |b_{sr} - b_D| \quad (15)$$

W badaniach emisji zanieczyszczeń najważniejsze zadanie dotyczy dokonywania ocen ilościowych (jak – w ogólności – we wszystkich badaniach naukowych). Jest to możliwe tylko w odniesieniu do wielkości skalarnych (zerowymiarowych, liczbowych). Szczególnie istotne jest badanie wrażliwości różnicy średniej emisji drogowej w teście w warunkach przypadkowych i przyczynowych  $\Delta b$  na charakterystyki zerowymiarowe (punktowe) procesu przypadkowego charakteryzującego prędkość pojazdu  $f_{vl}(t)$ .

Charakterystykami punktowymi procesu  $f_{vl}(t)$  są funkcjonalne określone na funkcji  $f_{vl}(t)$ :

$$V = \Re[f_{vl}(t)] \quad (16)$$

Wybór postaci funkcjonalów  $V$  jest zależny od programu badań i stosownie do ich postaci są im przypisywane różne interpretacje, np. wartość średnia czy wariancja itd.

Niech zbiorem charakterystyk punktowych procesu  $f_{vl}(t)$  będzie:

The average distance mass emission value of pollution is influenced by:

- directly – courses of car velocity  $v(t) = f_v(t)$  and external conditions  $G(t) = f_G(t)$ ,
- indirectly – courses of thermal state of engine  $R(t) = f_R[v(t), G(t)]$  and car's resistance to motion  $A(t) = f_A(v(t))$ .

In the testing conditions on a chassis dynamometer it is possible to adopt arbitrarily the assumption about the causality of the functions:  $f_G(t)$ ,  $f_R[v(t), G(t)]$  and  $f_A(v(t))$ .

The course of velocity  $f_v(t)$  can be treated as random and presented as a function of the causal function  $f_{vd}(t)$  and random function  $f_{vl}(t)$ :

$$f_v(t) = F(f_{vd}(t), f_{vl}(t)) \quad (12)$$

For example, this function can be modelled in the additive way as:

$$f_v(t) = f_{vd}(t) + f_{vl}(t) \quad (13)$$

or in the multiplicative way as:

$$f_v(t) = f_{vd}(t) \cdot f_{vl}(t) \quad (14)$$

If the velocity course  $f_v(t)$  is a causal function, meaning it is not dependent on the function  $f_{vl}(t)$ , i.e. for  $t \in [0; T]$ :  $f_{vl}(t) = 0$  in the case (13) or  $f_{vl}(t) = 1$  in the case (14), then the average distance mass emission of pollution is also the causal quantity  $b_{sr} = b_D$ .

In general, when the velocity course  $f_v(t)$  is a random function, then the average distance mass emission of pollution is the random quantity  $b_{sr} \neq b_D$ , so the measure of difference of the average distance mass emission of pollution in test under conditions of velocity with the causal and random attributes is:

$$\Delta b = |b_{sr} - b_D| \quad (15)$$

In the testing of pollution emission, the most important task is to make quantitative assessments (as – in general – in all scientific research). This is only possible in relation to scalar quantities (zero-dimensional, numerical). It is particularly essential to test the sensitivity of the average distance mass emission difference in test under random and causal conditions  $\Delta b$  to the zero-dimensional (point) characteristics of the random process characterizing the car velocity  $f_{vl}(t)$ .

The point characteristics of the process  $f_{vl}(t)$  are the functionals determined on the function  $f_{vl}(t)$ :

$$V = \Re[f_{vl}(t)] \quad (16)$$

The choice of the  $V$  functional form depends on test program, and, according to the form of the functionals, different interpretations are attributed to them, e.g. average value or variance, etc.

Let a set of the point characteristics of the process  $f_{vl}(t)$  be:

$$\mathbf{V} = \{V_1, V_2, \dots, V_{iV}\} \quad (17)$$

Wrażliwość różnicy średniej emisji drogowej zanieczyszczeń w teście w warunkach prędkości o atrybutach: przyczynowym i przypadkowym  $\Delta b$  na charakterystyki punktowe procesu  $f_{vl}(t)$  jest wielkość:

$$u_i = \left. \frac{\partial \Delta b}{\partial V_i} \right|_{V_j=\text{const}} \quad (18)$$

gdzie:  $i = 1, 2, \dots, iV$ ;  $j = 1, 2, \dots, iV$ ;  $i \neq j$ .

Jednym z możliwych sposobów oceny wrażliwości emisji zanieczyszczeń z pojazdu na przypadkowe warunki jego użytkowania jest przeprowadzanie badań z różną starannością testów tego samego egzemplarza samochodu w porównywanych warunkach.

Wyniki badań można interpretować m.in. w zależności od:

- odchylenia standardowego procesu  $f_{vl}(t) - D_{vl}$ ,
- maksymalnej częstotliwości widmowej reprezentacji procesu  $f_{vl}(t) - f_{max}$ , ocenianej na podstawie arbitralnie przyjętej amplitudy widmowej reprezentacji procesu.

Istnieje jeszcze wiele innych możliwości realizacji programu badań emisji zanieczyszczeń z silników w warunkach przypadkowych. Szczególnie duże możliwości daje badanie silników w jak najbardziej kontrolowanych warunkach, a więc nie w pojeździe na hamowni podwoziowej, ale na hamowni silnikowej. Konieczne jest jednak wykorzystanie do tego celu nie tylko wyspecjalizowanej aparatury sterującej, ale i stanowiska umożliwiającego nie tylko hamowanie silnika, lecz i jego napęd. W programie badań realizowanym w takich warunkach należy upatrywać możliwości uzyskania rzetelnych informacji o wpływie warunków przypadkowych pracy silnika na emisję zanieczyszczeń.

### **Wyniki badań emisji zanieczyszczeń z silnika samochodu**

Badania przeprowadzono na hamowni podwoziowej Przemysłowego Instytutu Motoryzacji w Warszawie. Hamownia podwoziowa typu EMDY 48 firmy Schenck-Komeg ma rolkę jezdnią o średnicy 483 mm. Stanowisko jest wyposażone w układ poboru spalin CVS-7300 firmy Horiba (*constant volume sampling* – o stałym natężeniu przepływu). Do pomiaru stężeń składników spalin wykorzystano zestaw analizatorów MEXA 7200 firmy Horiba. Program badań oraz akwizycja wyników badań i ich przetwarzanie były realizowane pod nadzorem układu VETS-7000 firmy Horiba.

Obiektem badań był samochód osobowy Citroën Berlingo z silnikiem o zapłonie iskrowym o objętości skokowej 1398 cm<sup>3</sup> i znamionowej mocy użytecznej 55 kW (rys. 1).

Program badań obejmował realizację testów jazdnych:

- UDC (*Urban Driving Cycle* – test jazdy w miastach) z rozruchem nie nagrzanego silnika,
- UDC z rozruchem nagrzanego silnika,
- EUDC (*Extra Urban Driving Cycle* – test jazdy poza miastami),
- FTP-75 (*Federal Transient Procedure* – test federalny w Stanach Zjednoczonych),
- Japan Mode 10–15 – test obowiązujący w Japonii.

Dokonywano pomiarów następujących wielkości:

- prędkość samochodu,

$$\mathbf{V} = \{V_1, V_2, \dots, V_{iV}\} \quad (17)$$

The sensitivity of the difference of the average distance mass emission of pollution in test under causal and random conditions of velocity  $\Delta b$  to the point characteristics of the process  $f_{vl}(t)$  is the quantity:

$$u_i = \left. \frac{\partial \Delta b}{\partial V_i} \right|_{V_j=\text{const}} \quad (18)$$

where:  $i = 1, 2, \dots, iV$ ;  $j = 1, 2, \dots, iV$ ;  $i \neq j$ .

One of the possible ways to evaluate the sensitivity of pollution emission from a vehicle to random conditions of its use is to carry out tests with different testing accuracy of the same car specimen under comparable conditions.

Test results can be interpreted, among other things, depending on:

- standard deviation of process  $f_{vl}(t) - D_{vl}$
- maximum spectral frequency of process representation  $f_{vl}(t) - f_{max}$ , estimated on the basis of arbitrarily adopted spectral amplitude of process representation.

There are many other possible ways to carry out the test program of pollution emission from engines under random conditions. Particularly high possibilities are offered by testing engines under conditions controlled as much as possible, i.e. not in vehicle on a chassis dynamometer but engine test bed. However, it is necessary to use for this purpose not only specialized control equipment, but also a test bed enabling an engine to be not only braked but also driven. It is in a test program carried out under such conditions that one should see the possibility of obtaining reliable information about the influence of random engine operation conditions on the emission of pollution.

### **Test results of pollution emission from car engine**

The tests were carried out on a chassis dynamometer in the Automotive Industry Institute in Warsaw. The Schenck-Komeg chassis dynamometer of the EMDY 48 type has a road wheel of 483 mm in diameter. The test stand is equipped with the Horiba exhaust gas sampling system CVS-7300 (constant volume sampling). The concentration of exhaust gas components was measured by a set of the Horiba analyzers MEXA 7200. The test program and the acquisition of test results and their processing were carried out under the supervision of the Horiba system VETS-7000.

The test object was a motor-car Citroën Berlingo with a spark-ignition engine having swept volume 1398 cm<sup>3</sup>, with rated output 55 kW (Fig. 1).

The test program included the following drive cycles:

- UDC (*Urban Driving Cycle*) with starting of unheated engine,
- UDC with starting of heated engine,
- EUDC (*Extra Urban Driving Cycle*),
- FTP-75 (*Federal Transient Procedure* – federal test in the United States),
- Japan Mode 10–15 – test valid in Japan.

The following parameters were measured:

- car velocity,

- stężenie tlenku węgla CO, węglowodorów HC sprowadzonych do propanu  $C_3H_6$ , tlenków azotu  $NO_x$  sprowadzonych do tlenku azotu NO, dwutlenku węgla  $CO_2$ ,
- kąt obrotu przepustnicy,
- prędkość obrotowa silnika,
- moc zredukowana na oś wału korbowego,
- siła napędowa na styku rolki z oponą,
- napięcie czujnika stężenia tlenu (sondy lambda).

Wyniki pomiarów były próbkowane z częstotliwością 10 Hz i uśredniane w czasie 1 s.

Rejestrowano również parametry charakteryzujące warunki otoczenia: ciśnienie, temperaturę i wilgotność powietrza.

Obciążenie układu napędowego symulowano funkcją kwadratową. Współczynniki funkcji zostały zidentyfikowane metodą swobodnego wybiegu w przedziale prędkości (0 ÷ 120) km/h.

Na podstawie wyników pomiarów wyznaczono m.in. przebiegi:

- natężenia emisji składników spalin – E,
- eksploatacyjnego zużycia paliwa – Q,
- emisji drogowej – b.

W pracy przedstawiono przykładowo analizę wyników uśrednionych w testach ECE R83.05 (UDC i EUDC), wykonywanych z rozruchem nagrzanego silnika. Analizowano zbiory wyników uzyskanych w 22 testach.

Na rysunku 2 przedstawiono zbiór przykładowych przebiegów prędkości samochodu, a na rysunkach 3 – 6 natężenia emisji składników spalin w teście ECE R83.05.

Na rysunkach 7 – 12 są przedstawione zerowymiarowe charakterystyki zbiorów wartości uśrednionych w teście: prędkości –  $v_{AV}$ , emisji drogowych zanieczyszczeń – b oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa – Q. Charakterystykami tymi są:

- wartość minimalna – Min,
- wartość maksymalna – Max,
- wartość średnia – AV,
- odchylenie standardowe – D.

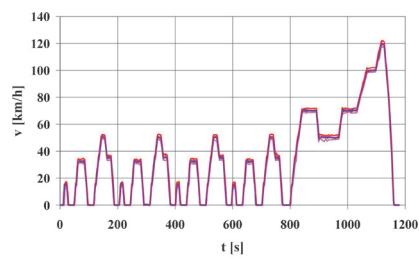
Na rysunku 13 przedstawiono stosunek odchylenia standardowego i wartości średniej analizowanych zbiorów, będący miarą względnego rozrzutu wartości elementów zbioru.

Już z pobjieżnej analizy jest wyraźnie widoczne, jak znaczną jest wrażliwość emisji zanieczyszczeń na przypadkowe warunki pracy silnika spalinowego. Dla uśrednionych w teście prędkości, eksploatacyjnego zużycia paliwa oraz emisji drogowej dwutlenku węgla stosunek ten wynosi około 2%, natomiast dla emisji drogowej tlenku węgla, węglowodorów i tlenków azotu jest o ponad rzad wielkości większy. Jest również charakterystyczne, że rozrzut średnich zużycia paliwa i emisji



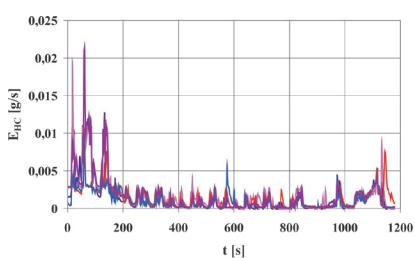
Rys. 1. Stanowisko badawcze z obiektem badań

Fig. 1. Test bed with test object



Rys. 2. Zbiór przykładowych przebiegów prędkości samochodu w teście ECE R83.05

Fig. 2. Set of exemplary car velocity courses in ECE R83.05 test



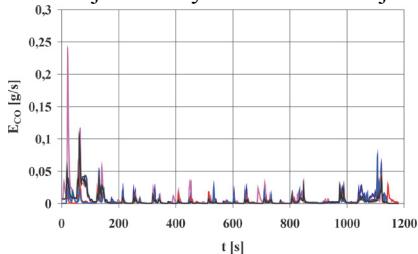
Rys. 3. Zbiór przykładowych przebiegów natężenia emisji węglowodorów w teście ECE R83.05

Fig. 3. Set of exemplary hydrocarbon mass emission intensity courses in the test

drogowej dwutlenku węgla jest porównywalny do rozrzutu prędkości średniej.

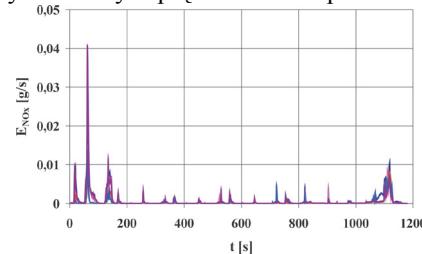
Tylko częściowo potwierdzają te wnioski wyniki badań koreacyjnych [2, 10, 13] analizowanych zbiorów. Przykładowo, na rysunku 14 przedstawiono współczynniki korelacji liniowej Pearsona [2, 10, 13] zbiorów uśrednionych w teście ECE R83.05 wartości prędkości samochodu z wartościami: emisji drogowej węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku węgla oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa i prędkości samochodu.

Choć wartości bezwzględne współczynników korelacji są porównywalne, to jest jednak charakterystyczne, że dla eksploatacyjnego zużycia paliwa i emisji drogowej dwutlenku węgla są dodatnie a dla emisji drogowych pozostałych zanieczyszczeń – ujemne. Jest to zgodne z analizami wyników badań emisji zanieczyszczeń w testach jazdnych o różnych przed-



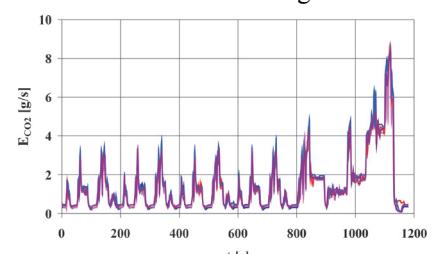
Rys. 4. Zbiór przykładowych przebiegów natężenia emisji tlenku węgla w teście

Fig. 4. Set of exemplary carbon monoxide mass emission intensity courses in ECE R83.05 test



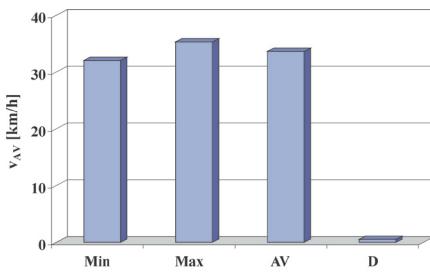
Rys. 5. Zbiór przykładowych przebiegów natężenia emisji tlenków azotu w teście

Fig. 5. Set of exemplary nitric oxide mass emission intensity courses in ECE R83.05 test



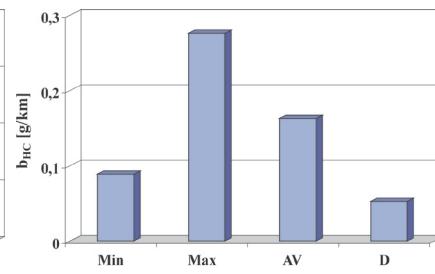
Rys. 6. Zbiór przykładowych przebiegów natężenia emisji dwutlenku węgla w teście

Fig. 6. Set of exemplary carbon dioxide mass emission intensity courses in ECE R83.05 test



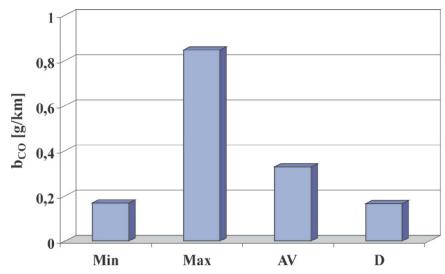
Rys. 7. Wartości: minimalna, maksymalna, średnia arytmetyczna oraz odchylenie standardowe prędkości samochodu uśrednionej w teście

Fig. 7. Values: minimum, maximum, arithmetic average and standard deviation of car velocity averaged in the test



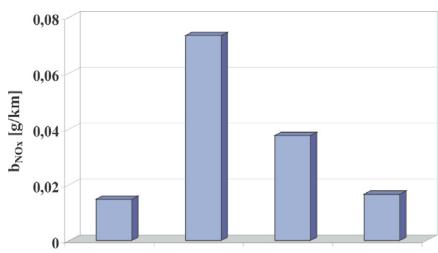
Rys. 8. Wartości: minimalna, maksymalna, średnia arytmetyczna oraz odchylenie standardowe emisji drogowej węglowodorów uśrednionej w teście

Fig. 8. Values: minimum, maximum, arithmetic average and standard deviation of hydrocarbon distance mass emission averaged in the test



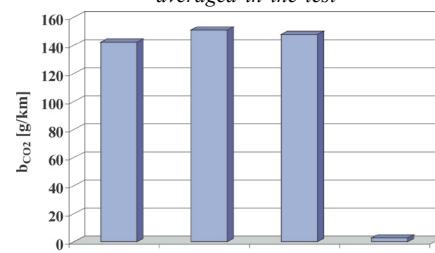
Rys. 9. Wartości: minimalna, maksymalna, średnia arytmetyczna oraz odchylenie standardowe emisji drogowej tlenku węgla uśrednionej w teście

Fig. 9. Values: minimum, maximum, arithmetic average and standard deviation of carbon monoxide distance mass emission averaged in the test



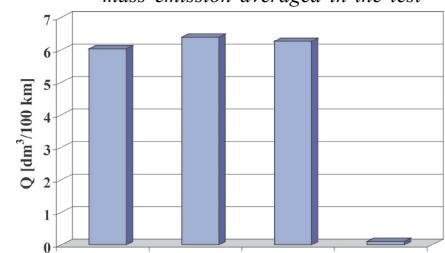
Rys. 10. Wartości: minimalna, maksymalna, średnia arytmetyczna oraz odchylenie standardowe emisji drogowej tlenków azotu uśrednionej w teście

Fig. 10. Values: minimum, maximum, arithmetic average and standard deviation of nitric oxide distance mass emission averaged in the test



Rys. 11. Wartości: minimalna, maksymalna, średnia arytmetyczna oraz odchylenie standardowe emisji drogowej dwutlenku węgla uśrednionej w teście

Fig. 11. Values: minimum, maximum, arithmetic average and standard deviation of carbon dioxide distance mass emission averaged in the test

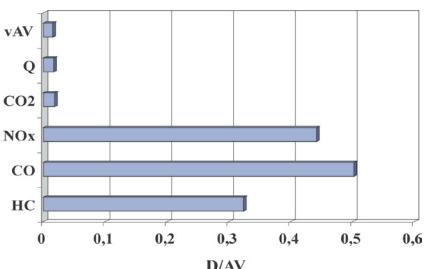


Rys. 12. Wartości: minimalna, maksymalna, średnia arytmetyczna oraz odchylenie standardowe eksploatacyjnego zużycia paliwa uśrednionego w teście

Fig. 12. Values: minimum, maximum, arithmetic average and standard deviation of operation fuel consumption averaged in the test

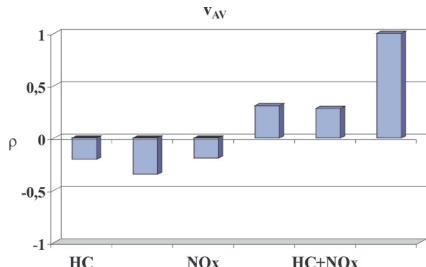
kościach średnich [2, 5]. Wyniki analizy zbiorów wartości uśrednionych w teście nie dają jednak możliwości formułowania jednoznacznych wniosków, celowe jest przeprowadzenie analizy przebiegów wielkości nie uśrednionych w testach.

Na rysunku 15 przedstawiono prawdopodobieństwo nieodrzucenia hipotezy o braku korelacji liniowej badanych zbiorów.



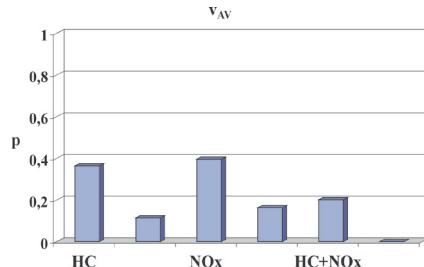
Rys. 13. Stosunek odchylenia standardowego i wartości średniej prędkości samochodu, eksploatacyjnego zużycia paliwa oraz emisji drogowych węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku węgla uśrednionych w teście

Fig. 13. Ratio of standard deviation and average value of car velocity, operation fuel consumption and distance mass emissions of hydrocarbons, carbon monoxide, nitric oxides and carbon dioxide, averaged in the test



Rys. 14. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona zbiorów uśrednionych w teście wartości prędkości samochodu z wartościami: emisji drogowych węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku węgla oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa i prędkości samochodu

Fig. 14. Pearson linear correlation coefficients of sets of car velocity values averaged in the test with values of distance mass emissions of hydrocarbons, carbon monoxide, nitric oxides and carbon dioxide, and operation fuel consumption and car velocity



Rys. 15. Prawdopodobieństwo nieodrzucenia hipotezy o braku korelacji liniowej zbiorów uśrednionych w teście wartości prędkości samochodu z wartościami: emisji drogowych węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku węgla oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa i prędkości samochodu

Fig. 15. Probability of non-rejection of hypothesis about lack of linear correlation of sets of car velocity values averaged in the test with values of distance mass emissions of hydrocarbons, carbon monoxide, nitric oxides and carbon dioxide, and operation fuel consumption and car velocity

Na podstawie wyników tej analizy można sformułować wniosek, że nie ma podstaw do wyrażania sądu o korelacji liniowej na poziomie istotności 0,05 zbiorów uśrednionych w teście ECE R83.05 wartości prędkości samochodu z wartościami: emisji drogowych węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku węgla oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa i prędkości samochodu.

W celu oceny właściwości analizowanych zbiorów wyznaczono ich gęstości prawdopodobieństwa oraz przeprowadzono analizę ich zgodności z rozkładem normalnym.

Na rysunkach 16 – 21 przedstawiono gęstość prawdopodobieństwa uśrednionych w teście ECE R83.05 wartości emisji drogowych węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku węgla oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa i prędkości samochodu. Linią ciągłą przedstawiono gęstość prawdopodobieństwa o rozkładzie normalnym, aproksymującą zgodnie z kryterium równości wartości średniej i odchylenia standardowego estymowaną gęstość prawdopodobieństwa.

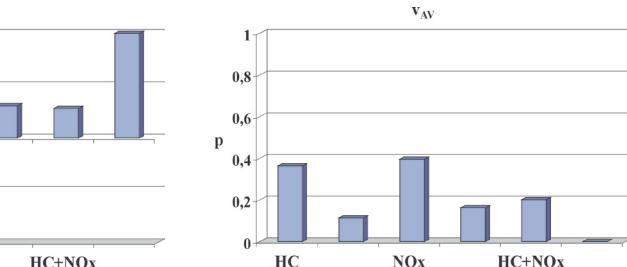
Zgodność próbek z rozkładem normalnym oceniano z wykorzystaniem hipotez: Kołmogorowa–Smirnowa [11, 15], Lillieforsa [12] oraz Shapira–Wilka [14]. Do analiz wykorzystano oprogramowanie Statistica 6.1. Jako kryterialny poziom istotności hipotez przyjęto 0,05.

Na rysunku 22 przedstawiono statystykę testu Kołmogorowa–Smirnowa o zgodności próbek z rozkładem normalnym. Najmniejsze wartości statystyki są dla eksploatacyjnego zużycia paliwa oraz emisji drogowych dwutlenku węgla i węglowodorów. Są to zatem zbiory o rozkładzie najbardziej zbliżonym do normalnego.

Testy Kołmogorowa–Smirnowa oraz Lillieforsa mają tę samą statystykę, różnią się jedynie traktowaniem wartości śred-

different mean velocities [2, 5]. However, the analysis results of the sets of the values averaged in the test do not make it possible to form unmistakable conclusions; it is expedient to make an analysis of courses of quantities unaveraged in tests.

Figure 15 shows the probability of non-rejection of the hypothesis about the lack of linear correlation of the tested sets.



Rys. 15. Prawdopodobieństwo nieodrzucenia hipotezy o braku korelacji liniowej zbiorów uśrednionych w teście wartości prędkości samochodu z wartościami: emisji drogowych węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu i dwutlenku węgla oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa i prędkości samochodu

Fig. 15. Probability of non-rejection of hypothesis about lack of linear correlation of sets of car velocity values averaged in the test with values of distance mass emissions of hydrocarbons, carbon monoxide, nitric oxides and carbon dioxide, and operation fuel consumption and car velocity

On the basis of the results of this analysis one can form the conclusion that there are no grounds to express an opinion of the linear correlation at the 0,05 significance level of the sets of the car velocity values – averaged in the ECE R83.05 test – with the values of distance mass emissions of hydrocarbons, carbon monoxide, nitric oxides and carbon dioxide, and operation fuel consumption and car velocity.

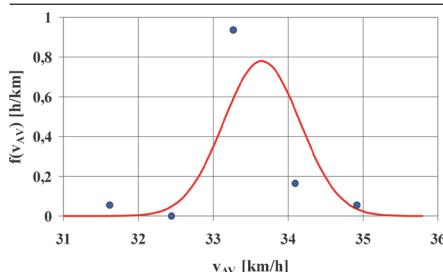
To judge the properties of the analysed sets, their density of probability was determined, and an analysis of their conformity with the normal distribution was made.

Figures 16 – 21 show the probability density of the values – averaged in the ECE R83.05 test – of the distance mass emissions of hydrocarbons, carbon monoxide, nitric oxide and carbon dioxide, and operation fuel consumption and car velocity. The solid line shows the probability density with the normal distribution, approximating – according to the criterion of the equality of average value and standard deviation – the estimated density of probability.

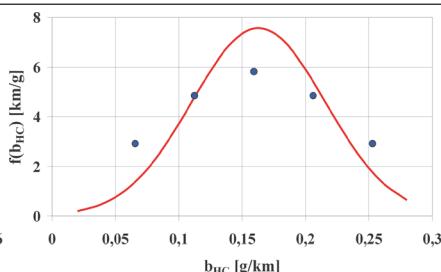
The conformity of samples with the normal distribution was judged with the use of the hypotheses by Kolmogorov–Smirnov [11, 15], Lilliefors [12] and Shapiro–Wilk [14]. For the analyses, the Statistica 6.1 software was applied. As the criterional significance level of the hypotheses, 0,05 was assumed.

Figure 22 shows the Kolmogorov–Smirnov test statistics about the conformity of samples with the normal distribution. The smallest statistics values are for the operation fuel consumption and the distance mass emissions of carbon dioxide and hydrocarbons. So they are sets with the distribution closest to normal.

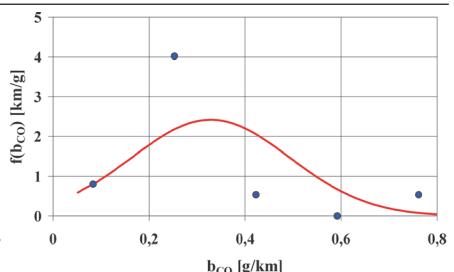
The Kolmogorov–Smirnov test statistics and the Lilliefors test statistics are the same, they only differ in the way the



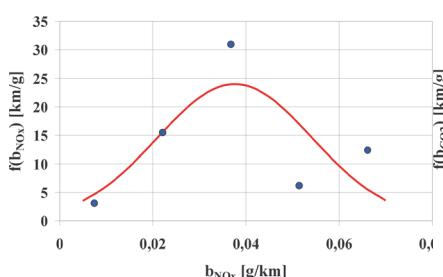
Rys. 16. Gęstość prawdopodobieństwa prędkości samochodu uśrednionej w teście  
Fig. 16. Probability density of car velocity averaged in the test



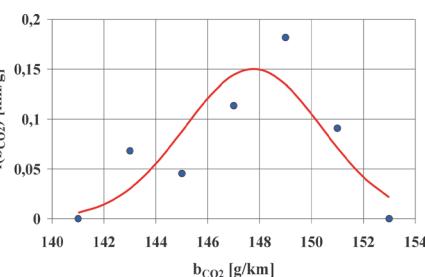
Rys. 17. Gęstość prawdopodobieństwa emisji drogowej węglowodorów uśrednionej w teście  
Fig. 17. Probability density of hydrocarbon distance mass emission averaged in the test



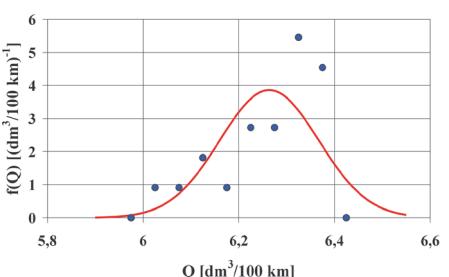
Rys. 18. Gęstość prawdopodobieństwa emisji drogowej tlenku węgla uśrednionej w teście  
Fig. 18. Probability density of carbon monoxide distance mass emission averaged in the test



Rys. 19. Gęstość prawdopodobieństwa emisji drogowej tlenków azotu uśrednionej w teście  
Fig. 19. Probability density of nitric oxide distance mass emission averaged in the test



Rys. 20. Gęstość prawdopodobieństwa emisji drogowej dwutlenku węgla uśrednionej w teście  
Fig. 20. Probability density of carbon dioxide distance mass emission averaged in the test



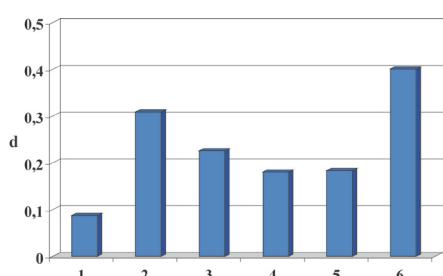
Rys. 21. Gęstość prawdopodobieństwa eksplotacyjnego zużycia paliwa uśrednionego w teście  
Fig. 21. Probability density of operation fuel consumption averaged in the test

niej oraz wariancji: w wypadku testu Lillieforsa jako estymat tych wielkości, a nie danych *a priori*, jak ma to miejsce w wypadku testu Kołmogorowa–Smirnowa [1]. Na podstawie statystyki Kołmogorowa–Smirnowa można wyznaczyć prawdopodobieństwo nieodrzucenia hipotezy Kołmogorowa–Smirnowa (rys. 23) i Lillieforsa (rys. 24) o zgodności próbek z rozkładem normalnym.

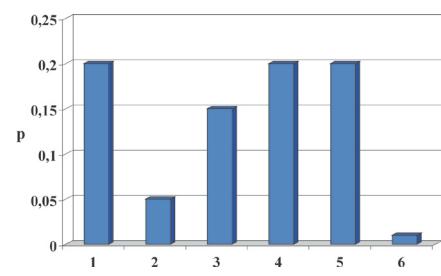
W wypadku hipotez Kołmogorowa–Smirnowa oraz Lillieforsa są wyznaczane jedynie wartości progowe, kwalifikujące je do kategorii nieistotnych ze względu na obliczoną wartość

average value and variance are treated: in the Lilliefors test they are treated as the estimate of these quantities, and not of *a priori* data, just as it is the case in the Kolmogorov–Smirnov test [1]. Based on the Kolmogorov–Smirnov statistics one can determine the probability of non-rejection of the Kolmogorov–Smirnov hypothesis (Fig. 23) and the Lilliefors hypothesis (Fig. 24) about the conformity of samples with the normal distribution.

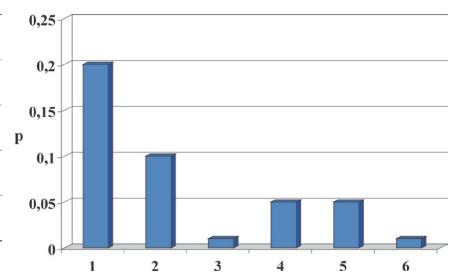
In the case of the Kolmogorov–Smirnov and Lilliefors hypotheses one only determines threshold values qualifying



Rys. 22. Statystyka testu Kołmogorowa–Smirnowa o zgodności próbki z rozkładem normalnym dla zbiorów uśrednionych w teście wartości: emisji drogowych węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu, dwutlenku węgla, eksplotacyjnego zużycia paliwa i prędkości samochodu  
Fig. 22. Kolmogorov–Smirnov test statistics about conformity of sample with normal distribution for sets of values averaged in the test: distance mass emissions of hydrocarbons, carbon monoxide, nitric oxides, carbon dioxide, operation fuel consumption and car velocity



Rys. 23. Prawdopodobieństwo nieodrzucenia hipotezy Kołmogorowa–Smirnowa o zgodności próbki z rozkładem normalnym dla zbiorów uśrednionych w teście wartości: emisji drogowych węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu, dwutlenku węgla, eksplotacyjnego zużycia paliwa i prędkości samochodu  
Fig. 23. Probability of non-rejection of Kolmogorov–Smirnov hypothesis about conformity of sample with normal distribution for sets of values averaged in the test: distance mass emissions of hydrocarbons, carbon monoxide, nitric oxides, carbon dioxide, operation fuel consumption and car velocity



Rys. 24. Prawdopodobieństwo nieodrzucenia hipotezy Lillieforsa o zgodności próbki z rozkładem normalnym dla zbiorów uśrednionych w teście wartości: emisji drogowych węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu, dwutlenku węgla, eksplotacyjnego zużycia paliwa i prędkości samochodu  
Fig. 24. Probability of non-rejection of Lilliefors hypothesis about conformity of sample with normal distribution for sets of values averaged in the test: distance mass emissions of hydrocarbons, carbon monoxide, nitric oxides, carbon dioxide, operation fuel consumption and car velocity

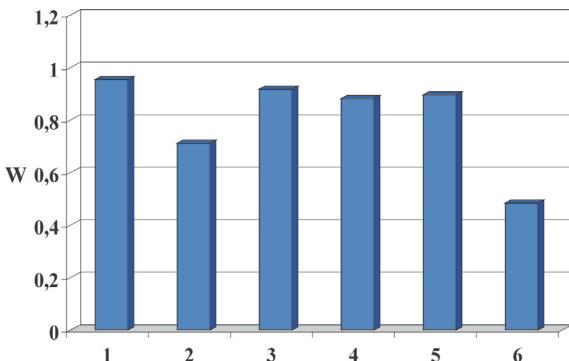
statystyki. Jako kryterium nieistotności statystyki przyjęto w oprogramowaniu Statistica 6.1 prawdopodobieństwo nieodrzucenia hipotezy równe 0,2. Na wykresach nieistotność statystyki jest oznaczona literą „N”. Zgodnie z hipotezą Kołmogorowa–Smirnowa można przyjąć hipotezę o zgodności z rozkładem normalnym rozkładów uśrednionych w teście ECE R83.05 wartości: emisji drogowej węglowodorów, dwutlenku węgla oraz eksplotacyjnego zużycia paliwa. W wypadku testu Lillieforsa prawdziwa jest jedynie hipoteza o zgodności z rozkładem normalnym rozkładu uśrednionych w teście ECE R83.05 wartości emisji drogowej węglowodorów.

Na rysunku 25 przedstawiono statystykę testu Shapira–Wilka o zgodności próbek z rozkładem normalnym. Test Shapira–Wilka jest testem o największej mocy spośród testów normalności [2, 10].

W wypadku testu Shapira–Wilka stwierdza się przede wszystkim prawdziwość hipotezy o zgodności z rozkładem normalnym rozkładu uśrednionych w teście ECE R83.05 wartości: emisji drogowej węglowodorów oraz – na zdecydowanie niższym poziomie istotności – również tlenków azotu (rys. 26).

Na podstawie analizy rozkładów badanych zbiorów można sformułować następujące wnioski:

- na podstawie wszystkich rozkładów stwierdzono prawdziwość hipotez o zgodności z rozkładem normalnym próbek uśrednionych w teście ECE R83.05 wartości emisji drogowej węglowodorów,
- zgodnie z testem Lillieforsa stwierdza się również prawdziwość hipotezy o zgodności z rozkładem normalnym próbek uśrednionych w teście ECE R83.05 wartości: emisji drogowej dwutlenku węgla oraz eksplotacyjnego zużycia paliwa,
- zgodnie z testem Shapira–Wilka stwierdza się również prawdziwość – na stosunkowo niskim poziomie istotności – hipotezy o zgodności z rozkładem normalnym próbek uśrednionych w teście ECE R83.05 wartości emisji drogowej tlenków azotu,
- nie potwierdzono na podstawie żadnego ze stosowanych testów statystycznych hipotezy o zgodności z rozkładem normalnym próbek uśrednionych w teście ECE R83.05 wartości: emisji drogowej tlenku węgla i prędkości samochodu.



Rys. 25. Statystyka testu Shapira–Wilka o zgodności próbki z rozkładem normalnym dla zbiorów uśrednionych w teście wartości: emisji drogowych węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu, dwutlenku węgla, eksplotacyjnego zużycia paliwa i prędkości samochodu

Fig. 25. Shapiro–Wilk test statistics about conformity of sample with normal distribution for sets of values averaged in the test: distance mass emissions of hydrocarbons, carbon monoxide, nitric oxides, carbon dioxide, operation fuel consumption and car velocity

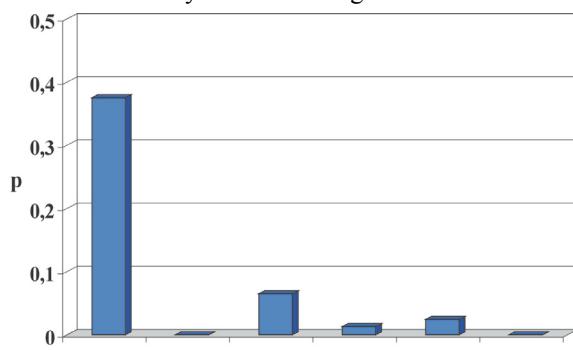
them to categories insignificant due to the calculated value of statistics. As the statistics insignificance criterion, the hypothesis non-rejection probability equal to 0,2 was adopted in the Statistica 6.1 software. In the diagrams, the insignificance of statistics is marked with the letter “N”. Following the Kolmogorov–Smirnov hypothesis, one can accept the hypothesis about the conformity – with the normal distribution – of the distributions of the following values averaged in the ECE R83.05 test: distance mass emissions of hydrocarbons, carbon dioxide and operation fuel consumption. In the case of the Lilliefors test, what is true is only the hypothesis about the conformity – with the normal distribution – of the distribution of the hydrocarbon distance mass emission values averaged in the ECE R83.05 test.

Figure 25 shows the Shapiro–Wilk test statistics about the conformity of samples with the normal distribution. The Shapiro–Wilk test has the greatest power among the tests of normality [2, 10].

In the case of the Shapiro–Wilk test, one finds, above all, the truth of the hypothesis about the conformity – with the normal distribution – of the distribution of the following values averaged in the ECE R83.05 test: hydrocarbon distance mass emission and also – at a decidedly lower level of significance – nitric oxides (Fig. 26).

Based on the analysis of the distribution of the tested sets, the following conclusions can be formed:

- on the basis of all hypotheses the conformity – with the normal distribution – of the samples of the hydrocarbon distance mass emission values averaged in the ECE R83.05 test was found to be true,
- according to the Lilliefors test, the truth of the hypothesis about the conformity – with the normal distribution – of the samples of the carbon dioxide and operation fuel consumption distance mass emission values averaged in the ECE R83.05 test is also found to be true,
- according to the Shapiro–Wilk test, the truth of the hypothesis about the conformity – with the normal distribution – of the samples of the nitric oxide distance mass emission values averaged in the ECE R83.05 test is also found to be true at a relatively low level of significance.



Rys. 26. Prawdopodobieństwo nieodrzucenia hipotezy Shapira–Wilka o zgodności próbki z rozkładem normalnym dla zbiorów uśrednionych w teście wartości: emisji drogowych węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu, dwutlenku węgla, eksplotacyjnego zużycia paliwa i prędkości samochodu

Fig. 26. Probability of non-rejection of Shapiro–Wilk hypothesis about conformity of sample with normal distribution for sets of values averaged in the test: distance mass emissions of hydrocarbons, carbon monoxide, nitric oxides, carbon dioxide, operation fuel consumption and car velocity

Na wyniki analizy mogą mieć wpływ stosunkowo niewielkie liczności próbek, co ma jednak uzasadnienie ekonomiczne: nawet w międzynarodowych programach, realizowanych przez konsorcja ośrodków naukowo–badawczych liczności wyników badań na hamowniach podwoziowych są niewielkie [3].

W ramach zrealizowanych badań dokonano jeszcze innych analiz, m.in. analiz zbiorów wielkości uśrednionych w testach: UDC i EUDC oraz wielkości nie uśrednionych. Ze względu na ograniczenia objętościowe publikacji wyniki te nie są w niniejszej pracy omawiane. Przedstawione w artykule wyniki badań stanowią jedynie ilustrację możliwości oceny właściwości ekologicznych silnika spalinowego, traktowanych jako wielkości przypadkowe.

## Podsumowanie

Na podstawie wyników dotyczcychowych badań można stwierdzić znaczną wrażliwość ekologicznych właściwości silników na zakłócenia przypadkowe, przede wszystkim emisji tlenku węgla i tlenków azotu. Znamienne jest, że rozrzut uśrednionych w teście wartości prędkości, eksplotacyjnego zużycia paliwa oraz emisji drogowej dwutlenku węgla wynosi tylko około 2%, natomiast dla emisji drogowej tlenku węgla, węglowodorów i tlenków azotu jest o ponad rzad wielkości większy. Tylko częściowo potwierdzają te wnioski wyniki badań koreacyjnych analizowanych zbiorów. Wynika to prawdopodobnie ze zbyt małej liczności zbiorów, na co analiza koreacyjna jest stosunkowo wrażliwa [2, 10].

Badania w dziedzinie wartości procesów uzasadniają – mimo niedostatecznie silnie popartych formalnie podstawa (również przede wszystkim z powodu zbyt małej liczności zbiorów) – uprawnienie do traktowania zbiorów wielkości uśrednionych w teście jako normalnych.

Wyniki analiz przedstawionych w niniejszej pracy uzasadniają celowość kontynuowania badań, przede wszystkim w zakresie:

- badań odchyłek od wartości uśrednianych względem poszczególnych realizacji analizowanych procesów,
- analiz własnych i wzajemnych procesów emisji i innych procesów, związanych z procesami emisji związkiem przyczynowo-skutkowym, w dziedzinach: wartości, czasu i częstotliwości,
- badań wpływu warunków dynamicznych na ekologiczne właściwości silników,
- badań emisji zanieczyszczeń z silników samochodów dla innych przebiegów prędkości jazdy niż obowiązujący zgodnie z regulaminem ECE R 83.05.

Dotyczczące wyniki badań emisji zanieczyszczeń z silników samochodów znacznie rozszerzają wiedzę na temat ekologicznych właściwości silników w przypadkowych warunkach ich użytkowania trakcyjnego. Systematyczne kontynuowanie takich badań może być podstawą do racjonalizacji zadań optymalizacji warunków pracy oraz autonomicznych algorytmów sterowania silników spalinowych w rzeczywistych, traktowanych jako przypadkowe, warunkach pracy urządzeń napędzanych przez silniki ze względu na ich właściwości użytkowe.

## Artykuł recenzowany

– the hypothesis about the conformity – with the normal distribution – of the samples of the carbon oxide and car velocity distance mass emission values averaged in the ECE R83.05 test was not confirmed on the basis of any of the applied statistical tests.

The analysis results can be influenced by sample sizes that are relatively small, which is, however, justified in the economical terms: even in international programs realized by research centre consortia the test result sizes on chassis dynamometers are small [3].

Within the scope of the conducted tests, other analyses were also made. Among other things, sets of quantities averaged in UDC and EUDC, and sets of unaveraged quantities were analysed. Due to the publication length limits those results are not discussed in this elaboration. The test results presented here are only an illustration of the possibilities of evaluating the I.C. engine ecological properties treated as random quantities.

## Recapitulation

Based on the results of the tests conducted until now it can be said that the ecological properties of engines are considerably sensitive to random disturbance, in the first place the emissions of carbon monoxide and nitric oxides. It is characteristic that the spread of the following values averaged in the test: velocity, operation fuel consumption and distance mass emission of carbon dioxide, is only about 2% whereas for the distance mass emissions of carbon oxide, hydrocarbons and nitric oxides it is larger by more than one order of magnitude. These conclusions are only partly confirmed by the correlation test results of the analysed sets. This results probably from too small sizes of sets, and the correlation analysis is relatively sensitive [2, 10] to this factor.

Tests in the field of process values justify – although the grounds are without sufficiently strong formal support (also, above all, due to too small sizes of sets) – the right to treat the sets of the values averaged in the test as normal.

The results of the analyses presented in this elaboration justify the expediency of continuing tests, above all within the following range:

- tests of deviations from values averaged in relation to particular realizations of analysed processes,
- analyses of individual and mutual processes of emission and other processes connected with emission processes by cause-and-effect connection, in fields of value, time and frequency,
- investigation of influence of dynamic conditions on ecological properties of engines,
- tests of pollution emission from car engines for other travelling speed courses than the one valid according to ECE R 83.05 rules.

The previous test results of pollution emission from car engines widen considerably the knowledge about the ecological properties of engines under random conditions of the engine traction use. The systematic continuation of such tests can be the ground for rationalizing the tasks of optimizing the operating conditions and autonomous control algorithms of I.C. engines under the real – treated as random – conditions of operation of devices driven by engines due to their operation properties.

## Skróty i oznaczenia/Nomenclature

A	zbiór, którego elementy zawierają informacje o oporach ruchu samochodu, związanych z ukształtowaniem nawierzchni; <i>set of elements containing information about car's resistance to motion connected with road surface shape</i>	s droga; <i>distance</i>
AV	wartość średnia; <i>average value</i>	S droga przejechana w teście; <i>distance covered in test</i>
b	emisja drogowa; <i>distance mass emission</i>	t czas; <i>time</i>
b <sub>s</sub>	emisja drogowa jako funkcja drogi; <i>distance mass emission as a function of distance</i>	T czas trwania testu; <i>test duration</i>
b <sub>t</sub>	emisja drogowa jako funkcja czasu; <i>distance mass emission as a function of time</i>	u wrażliwość różnicy średniej emisji drogowej w teście dla prędkości o atrybutach funkcji: przyczynowym i przypadkowym na charakterystyki punktowe procesu prędkości; <i>sensitivity of difference of average distance mass emission in test for velocity with causal and random function attributes to velocity process point characteristics</i>
D	odchylenie standardowe; <i>standard deviation</i>	v prędkość; <i>velocity</i>
E	natężenie emisji; <i>mass emission intensity</i>	V charakterystyki punktowe procesu prędkości; <i>velocity process point characteristics</i>
f	gęstość prawdopodobieństwa; <i>density of probability</i>	Δb różnica średniej emisji drogowej dla prędkości o atrybutach funkcji: przyczynowym i przypadkowym; <i>difference of average distance mass emission for velocity with causal and random function attributes</i>
G	zbiór zawierający informacje o warunkach zewnętrznych; <i>set containing information about external conditions</i>	Δv odchyłka prędkości; <i>velocity deviation</i>
M <sub>e</sub>	moment obrotowy; <i>torque</i>	
m <sub>s</sub>	emisja jako funkcja drogi; <i>emission as a function of distance</i>	
n	prędkość obrotowa; <i>speed</i>	
R	stan cieplny silnika; <i>thermal state of engine</i>	

## Literatura/Bibliography

- [1] Brzezinski D.: Comparison of Start Emissions in LA92 and ST01 Test Cycles. US EPA 1997.
- [2] Box G.E.P., Hunter W.G., Hunter J.S.: Statistics for experimenters: An introduction to design, data analysis, and model building. John Wiley & Sons. New York 1978.
- [3] BUWAL, INFRAS AG: Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950 – 2010. BUWAL–Bericht Nr. 255, 1995.
- [4] Chłopek Z.: Metody badań właściwości silników spalinowych w warunkach przypadkowych modelujących użytkowanie. Archiwum Motoryzacji 1/2002.
- [5] Chłopek Z.: Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych. Prace Naukowe. Seria „Mechanika” z. 173. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1999.
- [6] Chłopek Z.: O kryteriach równoważności warunków eksploatacji i warunków badań silników spalinowych. Fourth International Symposium on Combustion Engines in Military Applications. Jurata 1999.
- [7] Chłopek Z., Maj M.: Problemy badań właściwości silników spalinowych w warunkach modelujących użytkowanie. Materiały konferencyjne AUTOPROGRES–KONMOT 2002.
- [8] Chłopek Z., Piaseczny L.: Badania procesów szybkozmiennych zachodzących w silniku spalinowym. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej (praca w druku).
- [9] Chłopek Z., Piaseczny L.: Badania statystycznych właściwości silnika spalinowego w statycznych warunkach pracy. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej (praca w druku).
- [10] Fisz M.: Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. PWN. Warszawa 1967.
- [11] Kolmogorov A.: Confidence limits for an unknown distribution function. Annals of Mathematical Statistics, 12 (1941).
- [12] Lilliefors H. W.: On the Kolmogorov–Smirnov test for normality with mean and variance unknown. Journal of the American Statistical Association, 64 (1967).
- [13] Pearson K.: On the theory of contingency and its relation to association and normal correlation. Drapers' Company Research Memoirs. Biometric Ser. I. 1904.
- [14] Shapiro S. S., Wilk M. B., Chen H. J.: A comparative study of various tests of normality. Journal of the American Statistical Association, 63 (1968).
- [15] Smirnov N. V.: Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. Annals of Mathematical Statistics, 19 (1948).

## Podziękowania

Autor wyraża podziękowanie Dyrektorowi Przemysłowskiemu Instytutu Motoryzacji drowi inż. Lechowi Sokalskiemu za umożliwienie przeprowadzenia badań w Laboratorium Badań Silników oraz drowi inż. Andrzejowi Żółtowskiemu i mgrowi inż. Wojciechowi Bardzińskiemu za profesjonalne wykonanie badań.

## Acknowledgments

The author expresses his thanks to Manager of the Automotive Industry Institute, Dr Lech Sokalski, for making it possible to carry out tests in the Engine Testing Laboratory, and Dr Andrzej Żółtowski and Wojciech Bardziński M.Sc. for conducting the tests in a professional way.

\* Dr hab. inż. Zdzisław Chłopek – jest profesorem na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.

Mr Zdzisław Chłopek D.Sc., Ph.D., M.E. – Professor in the Faculty of Vehicles and Working Machines at Warsaw University of Technology.

