

Analiza statystyczna natężeń emisji zanieczyszczeń z silnika spalinowego w warunkach symulujących użytkowanie dynamiczne

**ZDZISŁAW CHŁOPEK
MARCIN PAWLICKI
RAFAŁ SYPOWICZ**

Politechnika Warszawska

W artykule przedstawiono wyniki badań samochodu Citroën Berlingo z silnikiem o zapłonie iskrowym, wykonane na hamowni podwoziowej w Laboratorium Badań Silników w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie. Do analiz wykorzystano wyniki badań samochodu w teście jazdy w miastach UDC zgodnie z Dyrektywą 1999/96–I/CE. Analizie poddano przebiegi prędkości samochodu oraz natężenia emisji składników spalin. Wyznaczono odchyłki realizacji badanych procesów od ich wartości oczekiwanej. Standaryzowane odchyłki od wartości oczekiwanej badanych procesów poddano badaniu ze względu na ich gęstość prawdopodobieństwa. Przeprowadzono badanie zgodności realizacji standaryzowanych odchyłek od wartości oczekiwanej badanych procesów z rozkładem normalnym. Stwierdzono, że w zdecydowanej większości rozpatrywanych realizacji nie można przyjąć hipotezy o zgodności badanej próbki z rozkładem normalnym na poziom istotności równym 0,05.

Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów

- AV – wartość oczekiwana
- CO – tlenek węgla
- CO₂ – dwutlenek węgla
- D – odchylenie standardowe
- d – statystyka testu Kołmogorowa–Smirnowa
- E – natężenie emisji składników spalin
- NO_x – tlenki azotu (tlenek i dwutlenek azotu) sprowadzone do tlenku azotu
- p – gęstość prawdopodobieństwa
- p – prawdopodobieństwo nieodrzućcia hipotez Kołmogorowa–Smirnowa, Lillieforsa i Shapira–Wilka o zgodności próbki z rozkładem normalnym dla badanych zbiorów
- t – czas
- THC – węglowodory
- UDC (urban drive cycle) – test jazdy w miastach
- v – prędkość
- W – statystyka testu Shapira–Wilka

ΔE – odchyłka natężenia emisji składników spalin od wartości oczekiwanej

Δv – odchyłka prędkości od wartości oczekiwanej

Indeksy:

K–S – test Kołmogorowa–Smirnowa

L – test Lillieforsa

STD – wartość standaryzowana

S–W – test Shapira–Wilka

1. Wprowadzenie

Typowe użytkowanie samochodów są scharakteryzowane stanem dynamicznym poszczególnych układów pojazdu. Spośród właściwości użytkowych samochodów szczególnie wrażliwe na występowanie warunków dynamicznych są właściwości ekologiczne silnika spalinowego ze względu na emisję spalin [1 – 4]. Z tego powodu do oceny emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych w warunkach odpowiadających typowemu użytkowaniu trakcyjnemu w samochodzie, badania przeprowadza się w warunkach dynamicznych, najczęściej w testach jezdnych, symulujących na hamowni podwoziowej rzeczywiste warunki jazdy samochodu [1 – 4].

Znaczna większość badań emisji zanieczyszczeń w warunkach dynamicznych ogranicza się jedynie do oceny charakterystyk zerowymiarowych – przykładem są badania emisji zanieczyszczeń w testach jezdnych, prowadzące do wyznaczenia średnich emisji drogowych poszczególnych zanieczyszczeń w teście. Badania takie umożliwiają ocenę skutku ostatecznego, ale nie przyczyniają się do powiększenia wiedzy o procesach, opisujących badane zjawiska. Z tego powodu istnieje celowość badania emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych w warunkach dynamicznych w sposób ciągły [1 – 4].

Zródłem wiedzy o procesach determinujących emisję zanieczyszczeń w warunkach symulujących rzeczywiste użytkowanie silników jest traktowanie tych procesów jako przypadkowych [1 – 6]. Ten sposób traktowania badanych procesów jest uzasadniony znacznym stopniem niepewności wiedzy na ich temat oraz ich dużej niepowtarzalności, stwierdzanej w wyniku badań empirycznych [1 – 6]. W wypadku traktowania procesów emisji zanieczyszczeń jako przypadkowych celowe jest badanie – oprócz wielu innych charakterystyk – również odchyłek procesów od ich wartości oczekiwanej [5, 6]. Doświadczenia z badania odchyłek procesów od ich wartości oczekiwanej w warunkach statycznych pracy silnika spalinowego, ocenianych ze względu na warunki typowego trakcyjnego użytkowania silnika, wskazują na możliwość formułowania wniosków o charakterze zarówno poznawczym, jak i praktycznym, np. na temat możliwości uśredniania wyników pomiarów w warunkach statycznych oraz uśredniania synchronicznego w warunkach ustalonych [5, 6].

2. Badania emisji zanieczyszczeń z silnika spalinowego w warunkach symulujących użytkowanie dynamiczne

Badania emisji zanieczyszczeń z silnika spalinowego w warunkach symulujących użytkowanie dynamiczne wykonano w Laboratorium Badań Silników w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie [1, 2]. Obiektem badań był samochód osobowy Citroën Berlingo z silnikiem o zapłonie iskrowym o objętości skokowej 1398 cm³. Badania przeprowadzono na hamowni podwoziowej typu EMDY 48, firmy Schenck-Komeg, z jedną rolką o średnicy 48". Obciążenie układu napędowego symulowano funkcją kwadratową. Współczynniki funkcji zostały zidentyfikowane metodą swobodnego wybiegu w przedziale prędkości (0 ÷ 120) km/h.

Do pomiaru stężeń składników spalin wykorzystano zestaw analizatorów MEXA 7200, firmy Horiba.

Do analiz w niniejszym artykule wykorzystano wyniki badań samochodu w teście jazdy w miastach UDC (urban drive cycle) zgodnie z Dyrektywą 1999/96-1/CE.

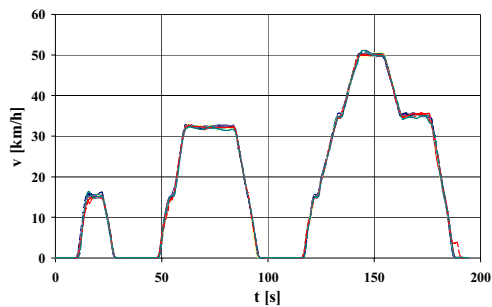
Wyniki pomiarów były próbkowane z częstotliwością 10 Hz i uśredniane w czasie 1 s. Zarejestrowane przebiegi poddano wstępnemu przetwarzaniu cyfrowemu: usunięto grube błędy, w tym również wyniki sprzeczne z fizyczną naturą sygnałów, np. ujemne wartości natężeń emisji, oraz zastosowano filtrację dolnoprzepustową z wykorzystaniem szybkiego przekształcenia Fouriera z częstotliwością graniczną równą 0,1 Hz lub 0,2 Hz, w zależności od charakteru filtrowanego przebiegu [7]. Dzięki wstępnemu przetwarzaniu cyfrowemu zmniejszono w sygnałach użytecznych udział szumów o wysokich częstotliwościach.

Na podstawie wyników pomiarów wyznaczono m.in. przebiegi prędkości samochodu – v , natężenia emisji składników spalin – E następujących zanieczyszczeń: tlenku węgla – CO, węglowodorów – THC, tlenków azotu – NO_x i dwutlenku węgla CO₂.

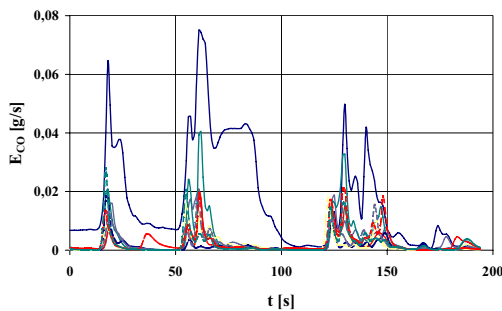
Materiał badawczy obejmował 103 zarejestrowane realizacje każdego z procesów prędkości samochodu i natężeń emisji zanieczyszczeń dla jednego cyklu testu UDC w warunkach rozruchu silnika nagrzanego.

Na rysunkach 1 – 5 przedstawiono po 10 przykładowych realizacji badanych procesów.

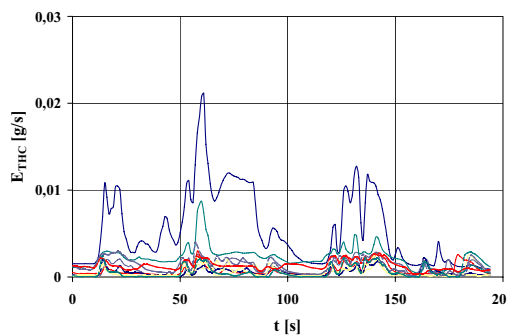
Przykładowe realizacje badanych procesów wskazują na ich znaczną nierównomierność. Największe odchyłki występują w chwilach czasu odpowiadających szybkim zmianom sterowania silnika przez kierowcę, czyli – w związku z tym – dużym wartościom bezwzględny przyspieszeń samochodu.



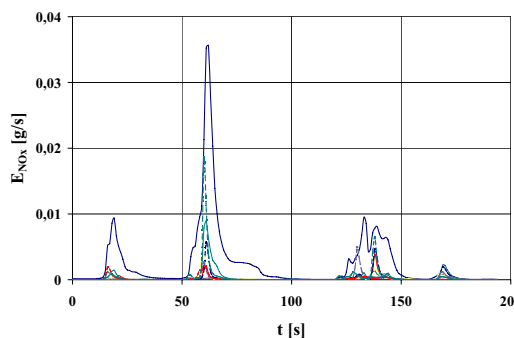
Rys. 1. Przebieg 10 realizacji prędkości v
Fig. 1. Course of 10 speed v realizations



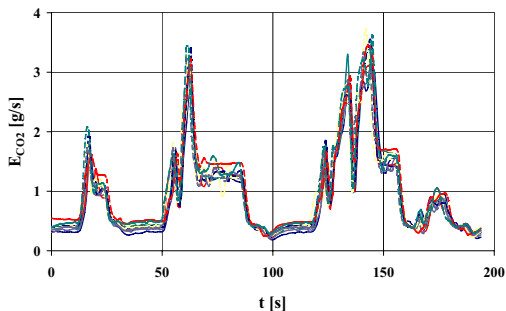
Rys. 2. Przebieg 10 realizacji natężenia emisji
tlenku węgla E_{CO}
Fig. 2. Course of 10 carbon monoxide E_{CO} mass
emission intensity realizations



Rys. 3. Przebieg 10 realizacji natężenia emisji
węglowodorów E_{THC}
Fig. 3. Course of 10 hydrocarbon E_{THC} mass emission
intensity realizations



Rys. 4. Przebieg 10 realizacji natężenia emisji
tlenków azotu E_{NOx}
Fig. 4. Course of 10 nitric oxide E_{NOx} mass emission
intensity realizations



Rys. 5. Przebieg 10 realizacji natężenia emisji dwutlenku węgla E_{CO2}
Fig. 5. Course of 10 carbon dioxide E_{CO2} mass emission intensity realizations

3. Analiza wyników badań

Analizie poddano odchyłki realizacji badanych procesów od ich wartości oczekiwanej:

$$\Delta v(t) = v(t) - AV(v(t)), \quad (1)$$

$$\Delta E_i(t) = E_i(t) - AV(E_i(t)), \quad (2)$$

gdzie: $i = \text{CO}$ dla tlenku węgla,

$i = \text{THC}$ dla węglowodorów,

$i = \text{NO}_x$ dla tlenków azotu,

$i = \text{CO}_2$ dla dwutlenku węgla,

AV – operator wartości oczekiwanej, której estymatorem jest:

$$AV(\mathbf{x}(t)) = \frac{1}{m} \sum_j^m x_j(t), \quad (3)$$

przy czym $m = 103$.

Następnie usunięto trend liniowy i dokonano standaryzacji wyznaczonych przebiegów odchyłek prędkości i natężeń emisji:

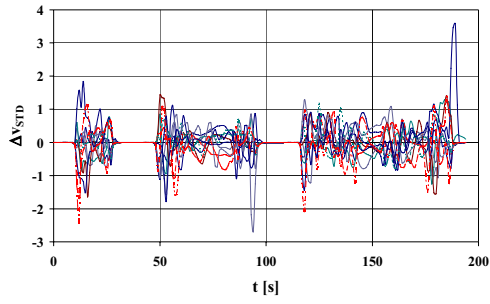
$$\Delta v_{\text{STD}}(t) = \frac{\Delta v(t)}{D(\Delta v(t))}, \quad (4)$$

$$\Delta E_{i \text{ STD}}(t) = \frac{\Delta E_i(t)}{D(\Delta E_i(t))}, \quad (5)$$

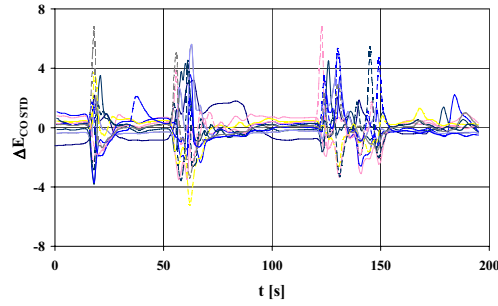
gdzie: D – operator odchylenia standardowego, którego estymatorem jest:

$$AV(t) = \sqrt{\frac{[x_j(t) - AV(x_j(t))]^2}{m-1}}. \quad (6)$$

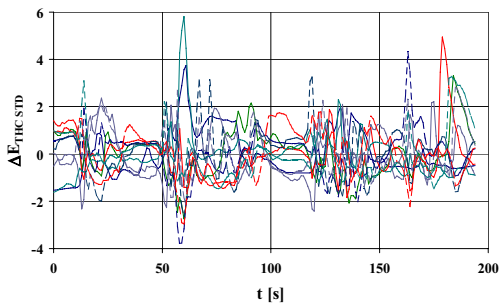
Na rysunkach 6 – 10 przedstawiono po 10 przykładowych przebiegów standaryzowanych odchyłek od wartości oczekiwanej badanych procesów.



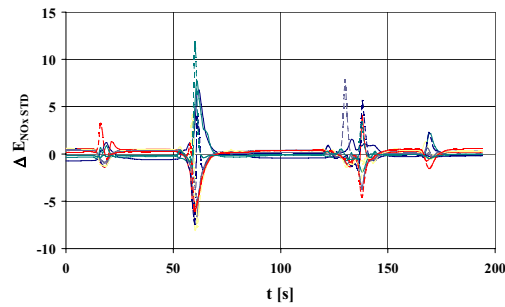
Rys. 6. Przebieg 10 realizacji standaryzowanej odchyłki prędkości ΔV_{STD}
 Fig. 6. Course of 10 standardized speed deviation ΔV_{STD} realizations



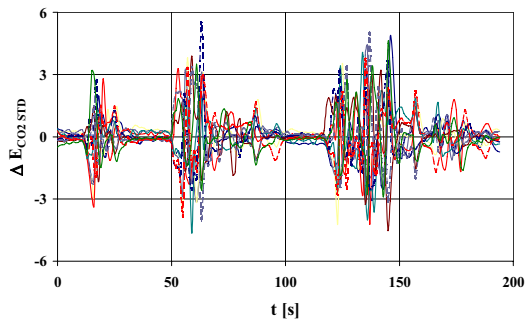
Rys. 7. Przebieg 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji tlenku węgla $\Delta E_{CO\ STD}$
 Fig. 7. Course of 10 standardized carbon monoxide mass emission intensity deviation $\Delta E_{CO\ STD}$ realizations



Rys. 8. Przebieg 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji węglowodorów $\Delta E_{THC\ STD}$
 Fig. 8. Course of 10 standardized hydrocarbon mass emission intensity deviation $\Delta E_{THC\ STD}$ realizations

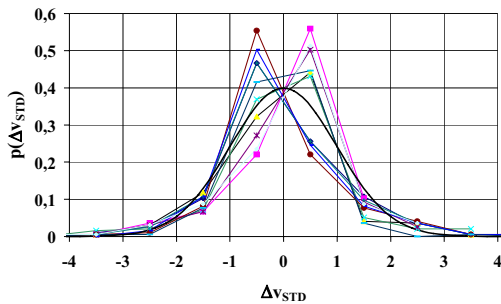


Rys. 9. Przebieg 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji tlenków azotu $\Delta E_{NOx\ STD}$
 Fig. 9. Course of 10 standardized nitric oxide mass emission intensity deviation $\Delta E_{NOx\ STD}$ realizations



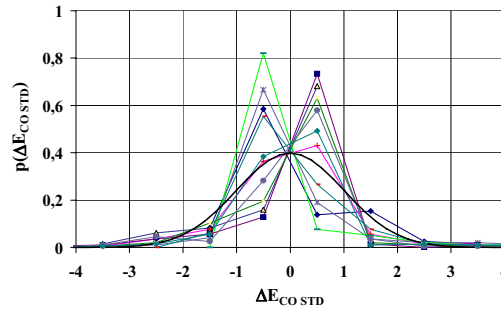
Rys. 10. Przebieg 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji dwutlenku węgla $\Delta E_{CO2\ STD}$
 Fig. 10. Course of 10 standardized carbon dioxide mass emission intensity deviation $\Delta E_{CO2\ STD}$ realizations

Standaryzowane odchyłki od wartości oczekiwanej badanych procesów poddano badaniu ze względu na ich gęstość prawdopodobieństwa. Do badań gęstości prawdopodobieństwa standaryzowanych odchyłek od wartości oczekiwanej badanych procesów przyjęto założenie o ich ergodyczności [7]. Na rysunkach 11 ÷ 15 są przedstawione estymatory gęstości prawdopodobieństwa przykładowych standaryzowanych odchyłek od wartości oczekiwanej badanych procesów. W celu poprawy czytelności rysunków dyskretne wartości gęstości prawdopodobieństwa połączono liniami prostymi. Na wykresach zamieszczono dodatkowo standardowe rozkłady normalne.



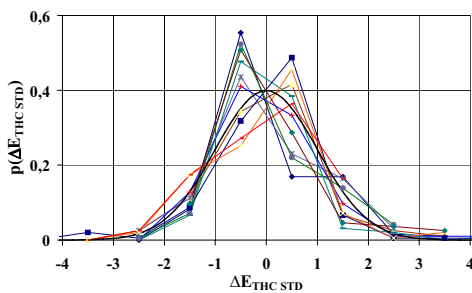
Rys. 11. Gęstość prawdopodobieństwa 10 realizacji standaryzowanej odchyłki prędkości Δv_{STD} na tle rozkładu normalnego

Fig. 11. Probability density of 10 standardized speed deviation Δv_{STD} realizations against a background of normal distribution



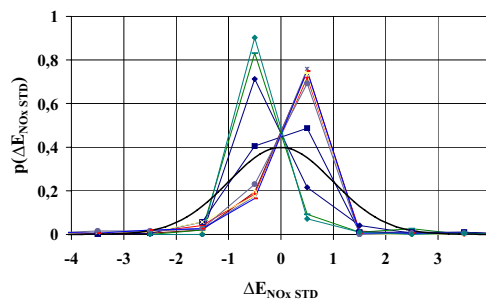
Rys. 12. Gęstość prawdopodobieństwa 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji tlenku węgla $\Delta E_{CO\ STD}$ na tle rozkładu normalnego

Fig. 12. Probability density of 10 standardized carbon monoxide mass emission intensity deviation $\Delta E_{CO\ STD}$ realizations against a background of normal distribution



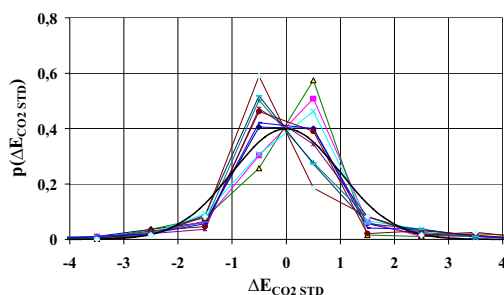
Rys. 13. Gęstość prawdopodobieństwa 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji węglowodorów $\Delta E_{THC\ STD}$ na tle rozkładu normalnego

Fig. 13. Probability density of 10 standardized hydrocarbon mass emission intensity deviation $\Delta E_{THC\ STD}$ realizations against a background of normal distribution



Rys. 14. Gęstość prawdopodobieństwa 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji tlenków azotu $\Delta E_{NOx\ STD}$ na tle rozkładu normalnego

Fig. 14. Probability density of 10 standardized nitric oxide mass emission intensity deviation $\Delta E_{NOx\ STD}$ realizations against a background of normal distribution



Rys. 15. Gęstość prawdopodobieństwa 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji dwutlenku węgla $\Delta E_{CO_2 STD}$ na tle rozkładu normalnego

Fig. 15. Probability density of 10 standardized carbon dioxide mass emission intensity deviation $\Delta E_{CO_2 STD}$ realizations against a background of normal distribution

Przeprowadzono badanie zgodności realizacji standaryzowanych odchyłek od wartości oczekiwanej badanych procesów z rozkładem normalnym z wykorzystaniem hipotez: Kołmogorowa–Smirnowa [8, 9], Lillieforsa [10] oraz Shapira–Wilka [11]. Jako kryterialny poziom istotności hipotez przyjęto 0,05.

W tabelach 1 – 5 przedstawiono wyniki badań zgodności 10 realizacji standaryzowanych odchyłek od wartości oczekiwanej badanych procesów z rozkładem normalnym. W tabelach są następujące oznaczenia:

- d – statystyka testu Kołmogorowa–Smirnowa,
- W – statystyka testu Shapira–Wilka,
- p_{K-S} , p_L , p_{S-W} – prawdopodobieństwo nieodrzućenia hipotez Kołmogorowa–Smirnowa, Lillieforsa i Shapira–Wilka o zgodności próbki z rozkładem normalnym dla badanych zbiorów.

Tabela 1. Wyniki badań zgodności 10 realizacji standaryzowanej odchyłki prędkości Δv_{STD} z rozkładem normalnym z wykorzystaniem hipotez: Kołmogorowa–Smirnowa, Lillieforsa oraz Shapira–Wilka

Table 1. Conformity analysis results of 10 standardized speed deviation Δv_{STD} realizations with a normal distribution used hypothesis of: Kolomogorov-Smirnov, Lilliefors and Shapiro-Wilk

Realizacja	d	p_{K-S}	p_L	W	P_{S-W}
1	0,11855	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,96863	0,00024
2	0,17644	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,81748	0
3	0,12932	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,93956	$2,8E-07$
4	0,14617	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,88671	$5,7E-11$
5	0,14242	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,92715	$2,8E-08$
6	0,17104	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,90842	$1,3E-09$
7	0,11582	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,96425	$7,3E-05$
8	0,13847	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,93579	$1,4E-07$
9	0,21151	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,74003	0

Tabela 2. Wyniki badań zgodności 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji tlenku węgla $\Delta E_{CO\ STD}$ z rozkładem normalnym z wykorzystaniem hipotez: Kolmogorowa–Smirnowa, Lillieforsa oraz Shapira–Wilka

Table 2. Conformity analysis results of 10 standardized carbon monoxide mass emission intensity deviation $\Delta E_{CO\ STD}$ realizations with a normal distribution used hypothesis of: Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Shapiro-Wilk

Realizacja	d	p_{K-S}	p_L	W	P_{S-W}
1	0,19988	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,87191	$9E-12$
2	0,21704	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,76826	0
3	0,23376	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,74751	0
4	0,12273	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,93766	$1,9E-07$
5	0,35595	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,5331	0
6	0,26121	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,72617	0
7	0,2612	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,73861	0
8	0,21493	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,75062	0
9	0,1946	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,80116	0

Tabela 3. Wyniki badań zgodności 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji węglowodorów $\Delta E_{THC\ STD}$ z rozkładem normalnym z wykorzystaniem hipotez: Kolmogorowa–Smirnowa, Lillieforsa oraz Shapira–Wilka

Table 3. Conformity analysis results of 10 standardized hydrocarbon mass emission intensity deviation $\Delta E_{THC\ STD}$ realizations with a normal distribution used hypothesis of: Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Shapiro-Wilk

Realizacja	d	p_{K-S}	p_L	W	P_{S-W}
1	0,17124	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,90175	$4,7E-10$
2	0,06279	$p < 0,20$	$p < 0,10$	0,98439	0,02922
3	0,08458	$p < 0,15$	$p < 0,01$	0,97292	0,00079
4	0,12709	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,88795	$6,8E-11$
5	0,16435	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,77787	0
6	0,12445	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,91599	$4,2E-09$
7	0,07704	$p < 0,20$	$p < 0,01$	0,96581	0,00011
8	0,13499	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,93384	$9,4E-08$
9	0,07131	$p < 0,20$	$p < 0,05$	0,97313	0,00084

Tabela 4. Wyniki badań zgodności 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji tlenków azotu $\Delta E_{NO_x STD}$ z rozkładem normalnym z wykorzystaniem hipotez: Kołmogorowa–Smirnowa, Lillieforsa oraz Shapira–Wilka

Table 4. Conformity analysis results of 10 standardized nitric oxide mass emission intensity deviation $\Delta E_{NO_x STD}$ realizations with a normal distribution used hypothesis of: Kolomogorov-Smirnov, Lilliefors and Shapiro-Wilk

Realizacja	d	p_{K-S}	p_L	W	P_{S-W}
1	0,24184	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,55897	0
2	0,27204	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,47427	0
3	0,3008	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,47015	0
4	0,25548	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,60879	0
5	0,36395	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,45972	0
6	0,24404	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,62337	0
7	0,28571	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,54457	0
8	0,29168	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,55522	0
9	0,27323	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,58523	0

Tabela 5. Wyniki badań zgodności 10 realizacji standaryzowanej odchyłki natężenia emisji dwutlenku węgla $\Delta E_{CO_2 STD}$ z rozkładem normalnym z wykorzystaniem hipotez: Kołmogorowa–Smirnowa, Lillieforsa oraz Shapira–Wilka

Table 5. Conformity analysis results of 10 standardized carbon dioxide mass emission intensity deviation $\Delta E_{CO_2 STD}$ realizations with a normal distribution used hypothesis of: Kolomogorov-Smirnov, Lilliefors and Shapiro-Wilk

Realizacja	d	p_{K-S}	p_L	W	P_{S-W}
1	0,14536	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,89557	1,9E -10
2	0,15503	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,89413	1,6E -10
3	0,20044	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,83436	0
4	0,16571	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,90655	9,6E -10
5	0,14952	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,88069	2,6E -11
6	0,18124	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,85409	1E -12
7	0,18759	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,88388	3,9E -11
8	0,19304	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,85473	1E -12
9	0,13122	$p < 0,01$	$p < 0,01$	0,94304	5,7E -07

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że w wypadku rozpatrywanych realizacji nie można przyjąć hipotezy o zgodności badanej próbki z rozkładem normalnym na poziom istotności równym 0,05. Badania zgodności standaryzowanych odchyłek od wartości oczekiwanej badanych procesów z rozkładem normalnym dotyczyły wybranych 10 realizacji, nie ma więc podstaw do formułowaniu wniosków o całej populacji realizacji.

3. Podsumowanie

Podjęte badania właściwości odchyłek od wartości oczekiwanej procesów prędkości oraz natężenia emisji składników spalin były prowadzone przede wszystkim ze względu na badanie ich zgodności z rozkładem normalnym. Brak zgodności tych procesów z rozkładem normalnym może wynikać z ich znacznej niepowtarzalności. Na tę niepowtarzalność duży wpływ mają: niepowtarzalność sterowania samochodu przez kierowcę oraz niepowtarzalność stanu cieplnego silnika.

Oprócz wyników badań, przedstawionych w niniejszym artykule, autorzy podjęli temat badań korelacyjnych procesów odchyłek od wartości oczekiwanej procesów prędkości oraz natężenia emisji składników spalin. Ograniczona objętość artykułu uniemożliwia przedstawienia wyników tej pracy, można stwierdzić jednak, że korelacja odchyłek od wartości oczekiwanej procesów prędkości i natężenia emisji składników spalin jest zróżnicowana i niejednoznaczna.

Literatura

- [1] CHŁOPEK Z.: *Badania ekologicznych właściwości silnika spalinowego w warunkach badań na hamowni podwoziowej*. Transport Samochodowy 3–2004.
- [2] CHŁOPEK Z.: *Badania niepowtarzalności emisji zanieczyszczeń z silników samochodów*. Silniki Spalinowe Nr 1/2004 (118).
- [3] CHŁOPEK Z.: *Metody badań właściwości silników spalinowych w warunkach przypadkowych modelujących użytkowanie*. Archiwum Motoryzacji 1/2002.
- [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., PIASECZNY L.: *Badania procesów szybkozmiennych zachodzących w silniku spalinowym*. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej. Rok XLV, Nr 2(157). Gdynia 2004.
- [6] CHŁOPEK Z., PIASECZNY L.: *Badania statystycznych właściwości silnika spalinowego w statycznych warunkach pracy*. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej. Rok XLV, Nr 1(156). Gdynia 2004.
- [7] OPPENHEIM A.V., SCHAFER R.W.: *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów*. WKŁ. Warszawa 1979.
- [8] KOLMOGOROV A.: *Confidence limits for an unknown distribution function*. Annals of Mathematical Statistics, 12 (1941).
- [9] SMIRNOV N. V.: *Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions*. Annals of Mathematical Statistics, 19 (1948).
- [10] LILLIEFORS H. W.: *On the Kolmogorov–Smirnov test for normality with mean and variance unknown*. Journal of the American Statistical Association, 64 (1967).
- [11] 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).

Statistical analysis of pollution emission intensity from spark-ignition engine under conditions of dynamic use simulation

Summary

This work presents the test results that were carried out on a chassis dynamometer with a use of Citroen Berlingo car equipped with a spark-ignition engine in the Engine Tests Laboratory in the Automotive Industry Institute in Warsaw. The statistical analysis were carried out on the results of Urban Driving Cycle (UDC) according to Instruction 1999/96-1/CE. The courses of speed and fumes components emission intensity were analysed. The deviation of fulfilment of analysed processes from the expected values were determined. Standardised deviations from expected values of analysed processes were examined on density of probability basis. The study was done on conformity of conducted standardised deviations from expected values in analysed processes with the normal distribution. There can not be evaluated the conclusion that there is a conformity of analysed sample with the normal distribution on significance level equals 0,05.