

Jerzy MERKISZ<sup>1</sup>, Arkadiusz BARCZAK<sup>2</sup>, Jacek PIELECHA<sup>3</sup>

Politechnika Poznańska  
Instytut Silników Spalinowych i Transportu  
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań  
<sup>1</sup>jerzy.merkisz@put.poznan.pl  
<sup>2</sup>arkadiusz.barczak@put.poznan.pl  
<sup>3</sup>jacek.pielecha@put.poznan.pl

## POMIARY EMISJI SPALIN SYSTEMEM PEMS I BADANIE WYNIKÓW EKSPERYMENTU Z WYKORZYSTANIEM METOD ANALIZY WARIANCJI

### Streszczenie:

Ekologiczność pojazdu zdeterminowana jest wielkością emisji związków szkodliwych. Pomiar emisyjności pojazdu w rzeczywistych warunkach ruchu z wykorzystaniem systemu analizatorów mobilnych PEMS wskazują na losowy charakter emisji przebiegów stężenia związków szkodliwych. W artykule przyjęto hipotezę badawczą, że pomimo ogromnej złożoności i różnorodności warunków, w jakich prowadzony był eksperyment, możliwe jest znalezienie statystycznego podobieństwa między losowymi przebiegami emisji zmienności zanieczyszczeń CO, CO<sub>2</sub>, HC oraz NO<sub>x</sub>. Do weryfikacji przyjętej hipotezy badawczej zastosowano metodę analizy wariancji ANOVA.

Słowa kluczowe: ANOVA, emisje zanieczyszczeń, PEMS

### WPROWADZENIE

Ekologiczność pojazdu jest zdeterminowana wielkością emisji związków szkodliwych, które podlegają ocenie według norm toksyczności spalin. Dla pojazdów samochodowych pomiarów emisji dokonuje się w homologacyjnych testach toksyczności spalin wykonywanych na hamowni podwoziowej (samochody osobowe) lub hamowni silnikowej (silniki samochodów ciężarowych). Emisję drogową składników spalin wyznacza się jako uśrednioną wartość z całego testu jezdny. W Unii Europejskiej obecne limity emisji spalin oznacza się jako Euro V [1], które dotyczą tlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu, cząstek stałych oraz pośrednio zużycia paliwa mierzonego emisją dwutlenku węgla.

Do oceny emisyjności w rzeczywistych warunkach ruchu eksploatowanego (po określonym przebiegu) pojazdu wykorzystuje się mobilne urządzenia pomiaru emisji PEMS (*Portable Emissions Measurement System*) [2], które są systemem nowoczesnych analizatorów równocześnie rejestrujących, poprzez system diagnostyki pokładowej, parametry silnika i pojazdu.

Badania drogowe należą do badań, których niepowtarzalność jest źródłem informacji w procesie modelowania badanych zjawisk. Niepowtarzalność wyników testów podczas badań drogowych jest efektem tego, że [2, 4]:

- emisja rzeczywista w poszczególnych testach jest różna – wartości emisji zanieczyszczeń tego samego samochodu lub silnika mierzone w podobnych warunkach (warunki atmosferyczne otoczenia, paliwo) zmierzone bez błędów pomiarowych różnią się między sobą,

- pomiary emisji pojazdu lub silnika przeprowadzane są w niepowtarzalnych warunkach atmosferycznych, na różnego rodzaju drogach, w niepowtarzalnych sytuacjach drogowych, przy nieprzewidywalnej dyspozycji kierowcy, itp.,
- emisja podczas tych samych warunków pracy silnika (współrzędne prędkość-obrotowa-obciążenie silnika) lub pojazdu (współrzędne prędkość-przyspieszenie pojazdu) jest różna,
- właściwości silnika (pojazdu) uwzględniane są w sposób pośredni – dokonywany jest podział zakresu rzeczywistej eksploatacji (prędkości obrotowej-obciążenia silnika, prędkości pojazdu-przyspieszenia pojazdu) na przedziały, dla których zmierzone wartości emisji uśrednia się otrzymując charakterystykę udziału pracy silnika (lub pojazdu) oraz charakterystyki emisji poszczególnych związków szkodliwych w poszczególnych przedziałach; rozmiar przedziałów jest proporcjonalny do zmienności emisji zanieczyszczeń; niepowtarzalność wyników w przedziałach wynika z ogromnej liczby możliwości „przejścia stanu silnika” przez dany punkt pracy (przy stałej prędkości obrotowej i zmianie obciążenia lub przy stałym obciążeniu i zmianie prędkości obrotowej, lub mogą wystąpić warunki pośrednie),
- emisyjność pojazdu jest zależna od stanu cieplnego silnika,
- występują błędy przypadkowe pomiaru wielkości stosowanych do określenia emisji.

W artykule przyjęto hipotezę badawczą, że pomimo ogromnej złożoności i różnorodności warunków, w jakich prowadzony był eksperyment, możliwe jest znalezienie statystycznego podobieństwa między losowymi przebiegami emisji zanieczyszczeń CO, CO<sub>2</sub>, HC oraz NO<sub>x</sub>. Do weryfikacji przyjętej hipotezy badawczej zastosowano metodę analizę wariancji ANOVA.

## 1. BADANIE STATYSTYCZNEGO PODOBIENSTWA PRZEBIEGÓW LOSOWYCH ZA POMOCĄ METODY ANOVA

### 1.1 Metodyka badań eksperymentalnych

Pomiarów emisyjności pojazdu dokonano w warunkach ruchu miejskiego w Poznaniu. Do pomiarów stężenia związków toksycznych wykorzystano mobilny analizator do badań toksyczności SEMTECH DS firmy Sensors Inc. Umożliwiał on pomiar stężenia związków szkodliwych (CO<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub>), mierząc jednocześnie masowe natężenie spalin. Dane z systemu diagnostycznego pojazdu OBD oraz dane sygnał lokalizacji GPS przesyłane są bezpośrednio do jednostki centralnej analizatora.

Pomiarów emisyjności pojazdu (autobusu) dokonano w warunkach ruchu miejskiego w Poznaniu. Warunki dobrano tak, aby istniała możliwość jak najlepszego odwzorowania rzeczywistych warunków ruchu: obciążenie linii autobusowej było zgodne ze średnim obciążeniem linii eksploatowanych przez MPK w Poznaniu. Obiektem badań był 18-metrowy autobus wyposażony w równoległy napęd hybrydowy spełniający normę EEV (*Enhanced Environmental friendly Vehicles* – pojazdy przyjazne środowisku), układ selektywnej redukcji katalizacyjnej oraz filtr cząstek stałych.

### 1.2 Teoretyczne podstawy metody ANOVA

Analiza wariancji ANOVA (ANalysis Of VAriance) umożliwia statystyczną analizę porównawczą badanych grup (zmienne zależne) utworzonych przez kategorie jednej zmiennej (analiza jednoczynnikowa) lub wielu zmiennych (analiza wieloczynnikowa). Ideą analizy

wariancji jest porównywanie rozproszenia zmiennej zależnej w badanych grupach utworzonych ze względu na wartości lub kategorie zmiennych niezależnych [3, 5, 6].

W przypadku ogólnym, wyniki eksperymentu przedstawiane są w postaci:

		Grupy (realizacje)				
		1	2	...	$g$	
Observacje	1	$Y_{11}$	$Y_{11}$	...	$Y_{g1}$	(1)
	2	$Y_{12}$	$Y_{12}$	...	$Y_{g2}$	
	...	...	...	...	...	
	$n_i$	$Y_{1n_i}$	$Y_{1n_i}$	...	$Y_{gn_g}$	

gdzie:

- $Y_{ij}$  – wartość dla grupy  $i$  podczas obserwacji  $j$ ,
- $n_i$  – liczba obserwacji w poszczególnych grupach (realizacjach),
- $g$  – liczba grup (realizacji).

Liczbę wszystkich obserwacji ze wszystkich grup (realizacji) oznaczono symbolem  $N$ :

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_g \quad (2)$$

Istotę badania stanowi rozkład wariancji całkowitej  $SS_T$  na sumę wariancji międzygrupowej  $SS_M$  i wariancji wewnątrzgrupowej  $SS_W$  (kolumna „SS” w Tablicach 1, 3, 4 oraz 5):

$$SS_T = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} |Y_{ij} - \bar{y}_{..}|^2 = \sum_{i=1}^g n_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 = SS_M + SS_W \quad (3)$$

gdzie:

$$\bar{y}_{i.} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}, \quad \bar{y}_{..} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$$

Hipotezami analizy wariancji ANOVA są hipotezy: hipoteza zerowa  $H_0$  (4) oraz hipoteza alternatywna  $H_1$  (5).

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_g \quad (4)$$

gdzie:

$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_g$  – wartości średnie kolejnych realizacji.

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ dla co najmniej jednej pary } i \text{ oraz } j, \text{ gdzie } i \neq j \quad (5)$$

gdzie:

$\mu_i$  – wartość średnia  $i$ -tej realizacji.

Statystyka testowa  $F$  (kolumna „F” w Tablicach 1, 3, 4 oraz 5) ma rozkład F-Snedecora [5] o liczbie stopni swobody:  $DF_M = (g - 1)$  oraz  $DF_W = (N - g)$  (kolumna „DF” w Tablicach 1, 3, 4 oraz 5). Wartości wariancji międzygrupowej  $SS_M$  i wariancji wewnątrzgrupowej  $SS_W$  odniesione do odpowiadającej liczby stopni swobody  $DF_M$  oraz  $DF_W$  zapisane zostały w kolumnie „MS” w Tablicach 1, 3, 4 oraz 5.

Hipoteza zerowa jest odrzucana na poziomie istotności  $\alpha$ , jeżeli wartość statystyki  $F$  jest większa niż wartość krytyczna znajdowana w tablicach rozkładu F-Snedecora.

Poprawność wyników uzyskanych za pomocą metody ANOVA warunkowana jest spełnieniem założeń:

- rozkłady zmiennych zależnych są rozkładami normalnymi,
- poddane analizie grupy (realizacje) są losowo niezależne,

- spełniony jest warunek jednorodności wariancji pomiędzy porównywanymi grupami. Wielkości stosowane w badaniach metodą ANOVA zebrano w Tabelicy 1.

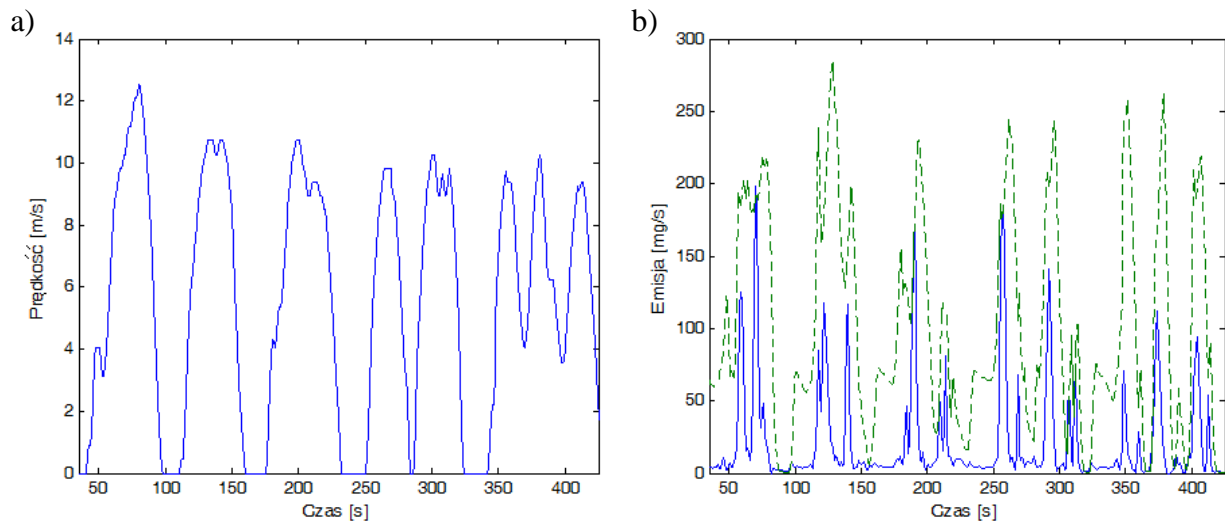
Tabelica 1. Wielkości wykorzystywane przy badaniach metodą ANOVA.

Źródło rozproszenia	SS	DF	MS	F	P
Między grupami	$SS_M$	$g - 1$	$\frac{SS_M}{g - 1}$	$\frac{SS_M}{SS_W} \frac{N - g}{g - 1}$	<i>p-value</i>
Dla grupy	$SS_W$	$N - g$	$\frac{SS_W}{N - g}$		
Łącznie	$SS_T$	$N - 1$			

Źródło: [6]

### 1.3 Analiza wyników eksperymentu

Cechą charakterystyczną eksperymentu drogowego prowadzonego z wykorzystaniem systemu PEMS była powtarzalność sekwencji zdarzeń dla pojazdu: start, jazda, stop. Sekwencje te oraz zmiany prędkości, wynikające z ruchu ulicznego, sposobu prowadzenia pojazdu przez kierowcę, warunków atmosferycznych itp., stanowiły podstawę do przyjęcia poziomów (kategorii) zmiennej niezależnej. Kategoriom tym przyporządkowano przebiegi zmiennych zależnych w kolejnych sekwencjach zdarzeń, określając je jako realizacje (grupy). Przebiegi prędkości dla pierwszych 6 grup (realizacji) przedstawiono na Rys. 1a, natomiast odpowiadające im przebiegi emisji zanieczyszczeń CO oraz NO<sub>x</sub> na Rys. 1b. Do analizy, dla każdej ze zmierzonych emisji zanieczyszczeń CO, CO<sub>2</sub>, HC oraz NO<sub>x</sub>, przyjęto 32 grupy (realizacje) ponumerowane zgodnie z przebiegiem eksperymentu.



Rys. 1. Przebiegi a) prędkości b) emisji CO (linia ciągła) i NO<sub>x</sub> (linia przerywana) dla pierwszych 6 przyjętych realizacji.

Źródło: opracowanie własne.

Do weryfikacji przyjętej hipotezy badawczej, że pomimo ogromnej złożoności i różnorodności warunków, w jakich prowadzony był eksperyment, możliwe jest znalezienie statystycznego podobieństwa między losowymi przebiegami emisji zmienności zanieczyszczeń CO, CO<sub>2</sub>, HC oraz NO<sub>x</sub> w kolejnych sekwencjach zdarzeń (start, jazda, stop), zastosowano metodę analizy wariancji ANOVA.

Dla sprawdzenia, czy spełnione są założenia wymagane przy zastosowaniu metody ANOVA, dla każdej z 32 grup zmiennych zależnych emisji zanieczyszczeń CO, CO<sub>2</sub>, HC oraz NO<sub>x</sub> wyznaczono wartości: średniej, mediany, odchylenia standardowego, współczynnika skośności (wartości od -0,8 do 0,8 świadczą o tym, że rozkład zmiennej losowej jest w przybliżeniu symetryczny) oraz kurtozy (wartość 3,00 świadczy o rozkładzie normalnym badanej zmiennej losowej). Wyniki dla przykładowego zbioru grup zestawiono w Tabelicy 2.

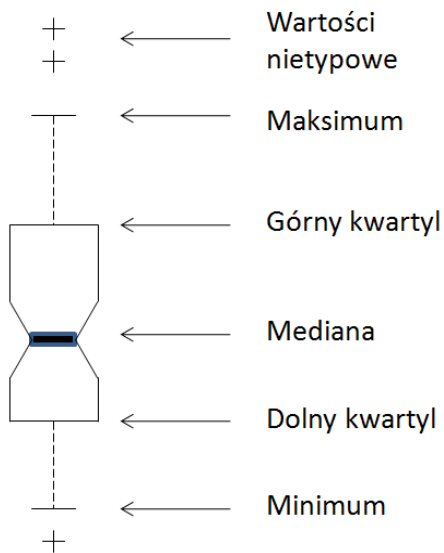
Tablica 2. Zestawienie wartości wielkości wykorzystywanych przy sprawdzeniu spełnienia założeń metody ANOVA dla wybranych realizacji (grup).

Emisje	Miara	Grupa 4	Grupa 5	Grupa 6	Grupa 7	Grupa 8
CO	Średnia [mg/s]	12,27	11,55	10,69	13,39	13,49
	Mediana [mg/s]	4,76	4,49	5,12	5,55	5,75
	Odchylenie standardowe [mg/s]	15,63	17,44	14,93	20,02	17,46
	Współczynnik skośności	1,63	1,74	2,23	1,86	1,87
	Współczynnik kurtozy	5,12	4,76	7,30	5,76	5,69
CO <sub>2</sub>	Średnia [mg/s]	7265,0	4236,8	4976,9	4487,9	6023,4
	Mediana [mg/s]	7948,5	1660,5	2183,0	1746,0	1829,0
	Odchylenie standardowe [mg/s]	6516,7	5123,9	6183,5	5217,5	6786,2
	Współczynnik skośności	0,16	1,03	1,56	0,86	0,71
	Współczynnik kurtozy	1,50	2,75	4,36	2,22	1,97
HC	Średnia [mg/s]	0,0831	0,0544	0,0828	0,0643	0,0770
	Mediana [mg/s]	0,0850	0,0450	0,0700	0,0600	0,0600
	Odchylenie standardowe [mg/s]	0,0638	0,0498	0,0566	0,0496	0,0549
	Współczynnik skośności	0,08	0,93	1,27	0,51	0,57
	Współczynnik kurtozy	1,61	2,90	4,04	2,23	2,14
NO <sub>x</sub>	Średnia [mg/s]	119,35	70,03	82,07	83,45	94,32
	Mediana [mg/s]	152,11	58,35	52,02	60,02	77,72
	Odchylenie standardowe [mg/s]	91,21	68,98	76,92	80,53	90,05
	Współczynnik skośności	-0,25	0,57	0,95	0,49	0,30
	Współczynnik kurtozy	1,41	2,06	2,91	1,76	1,43

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie analizy wyników stwierdzono, że rozkłady realizacji zmiennej reprezentującej emisję CO nie mają charakteru normalnego.

Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie hipotezy  $H_0$  o statystycznej równości wartości średnich zdefiniowanych grup (realizacji) dla pomierzonych emisji zanieczyszczeń. Ponieważ przebiegi emisji zanieczyszczenia CO nie spełniają założeń metody ANOVA, badania przeprowadzono dla emisji zanieczyszczeń CO<sub>2</sub>, HC oraz NO<sub>x</sub>. Dla każdej z wymienionych emisji zanieczyszczeń utworzono zbiór potęgowej 32-elementowego zbioru grup (realizacji). Elementy zbioru potęgowej poddano analizie metodą ANOVA [8]. W badaniach przyjęto poziom istotności w postaci współczynnika  $\alpha = 0,05$ . Graficzna interpretacja wyników zastosowanej metody ANOVA jest przedstawiona w postaci wykresów pudełkowych (Rys. 2).



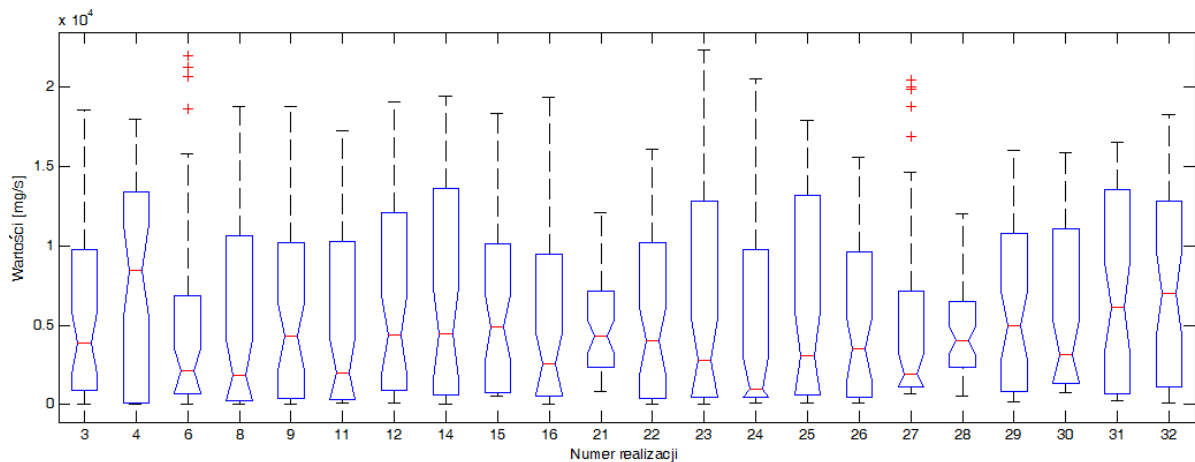
Rys. 2. Wielkości reprezentowane za pomocą wykresu pudełkowego.

Źródło: [7].

W przypadku testowania hipotez dla realizacji emisji CO<sub>2</sub>, hipoteza  $H_0$  została przyjęta dla 381 podzbiorów zbioru potęgowego (podzbiory o licznosci od 2 do 22 elementów). Wyniki analizy ANOVA dla jednego z trzech podzbiorów o największej liczbie realizacji spełniających hipotezę  $H_0$  przedstawiono w postaci wykresu pudełkowego na Rys. 3, a wartości liczbowe dla tego podzbioru zaprezentowano w Tabelicy 3.

W przypadku testowania hipotez dla realizacji emisji HC, hipoteza  $H_0$  została przyjęta dla 147 podzbiorów zbioru potęgowego (podzbiory o licznosci od 2 do 10 elementów). Wyniki analizy ANOVA dla jednego z czterech podzbiorów o największej liczbie realizacji spełniających hipotezę  $H_0$  przedstawiono w postaci wykresu pudełkowego na Rys. 4, a wartości liczbowe dla tego podzbioru zaprezentowano w Tabelicy 4.

W przypadku testowania hipotez dla realizacji emisji NO<sub>x</sub>, hipoteza  $H_0$  została przyjęta dla 422 podzbiorów zbioru potęgowego (podzbiory o licznosci od 2 do 26 elementów). Wyniki analizy ANOVA dla jednego z trzech podzbiorów o największej liczbie realizacji spełniających hipotezę  $H_0$  przedstawiono w postaci wykresu pudełkowego na Rys. 5, a wartości liczbowe dla tego podzbioru zaprezentowano w Tabelicy 5.



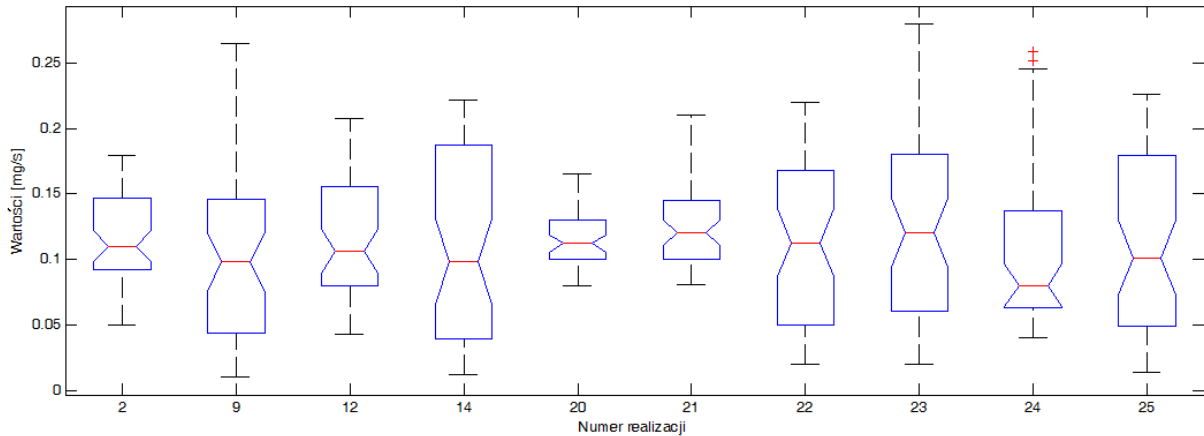
Rys. 3. Wykres pudełkowy dla 22-elementowego podzbioru realizacji emisji CO<sub>2</sub> spełniających hipotezę zerową  $H_0$ .

Źródło: opracowanie własne.

Tabelica 3. Wartości liczbowe wyników analizy metodą ANOVA dla 22-elementowego podzbioru realizacji emisji CO<sub>2</sub> [mg/s] spełniających hipotezę zerową  $H_0$ .

Źródło rozproszenia	SS	DF	MS	F	P
Między grupami	7,17 e8	21	3,41 e7	0,97	0,49
Dla grupy	3,86 e10	1100	3,51 e7		
Łącznie	3,95 e10	1121			

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Wykres pudełkowy dla 10-elementowego podzbioru realizacji emisji HC spełniających hipotezę zerową  $H_0$ .

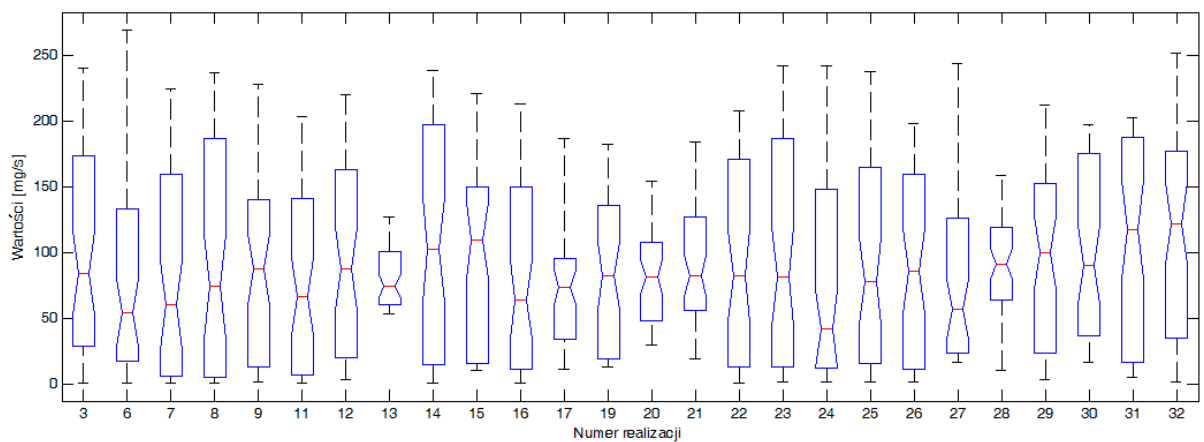
Źródło: opracowanie własne.

Tablica 4. Wartości liczbowe wyników analizy metodą ANOVA dla 10-elementowego podzbioru realizacji emisji HC [mg/s] spełniających hipotezę zerową  $H_0$ .

Źródło rozproszenia	SS	DF	MS	F	P
Między grupami	0,02	9	0,003	0,91	0,51
Dla grupy	1,74	500	0,003		
Łącznie	1,77	509			

Źródło: opracowanie własne.

W celu przedstawienia skuteczności stosowania metody ANOVA w poszukiwaniu statystycznego podobieństwa losowych przebiegów emisji zanieczyszczeń przedstawiono wykresy słupkowe wartości średnich dla 22-elementowego zbioru realizacji emisji  $CO_2$  spełniających hipotezę  $H_0$  (Rys. 6a) oraz przykładowego 22-elementowego zbioru realizacji  $CO_2$ , nie spełniających hipotezy  $H_0$  (Rys. 6b). Wykresy słupkowe wartości średnich dla 10-elementowego zbioru realizacji emisji HC, spełniających hipotezę  $H_0$ , przedstawiono na Rys. 7a, a przykładowego 10-elementowego zbioru realizacji HC, nie spełniających hipotezy  $H_0$ , na Rys. 7b. Wykresy słupkowe wartości średnich dla 26-elementowego zbioru realizacji emisji  $NO_x$ , spełniających hipotezę  $H_0$ , przedstawiono na Rys. 8a, a przykładowego 26-elementowego zbioru realizacji  $NO_x$ , nie spełniających hipotezy  $H_0$ , na Rys. 8b.



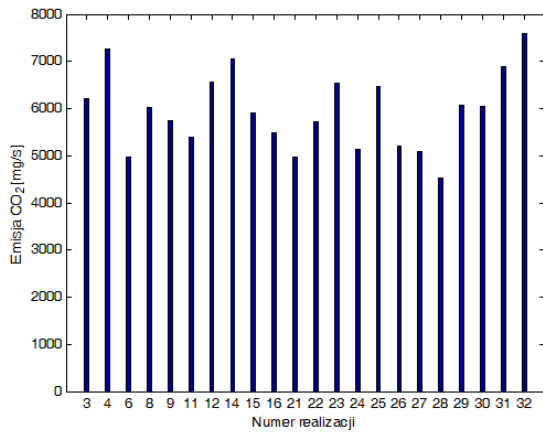
Rys. 5. Wykres pudełkowy dla 26-elementowego podzbioru realizacji emisji  $NO_x$  spełniających hipotezę zerową  $H_0$ .

Źródło: opracowanie własne.

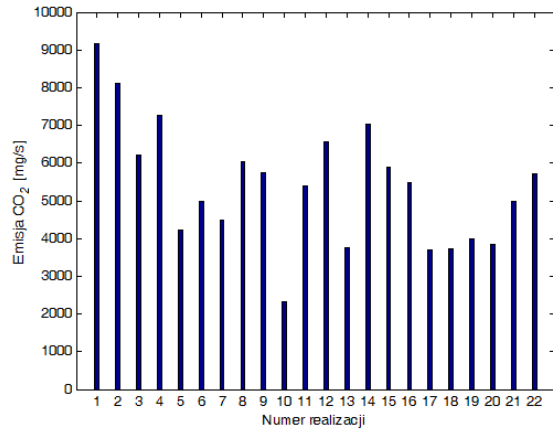
Tablica 5. Wartości liczbowe wyników analizy metodą ANOVA dla 26-elementowego podzbioru realizacji emisji NO<sub>x</sub> [mg/s] spełniających hipotezę zerową H<sub>0</sub>.

Źródło rozproszenia	SS	DF	MS	F	P
Między grupami	116846,6	25	4673,87	0,95	0,54
Dla grupy	6429425,3	1300	4945,71		
Łącznie	6546271,9	1325			

Źródło: opracowanie własne.



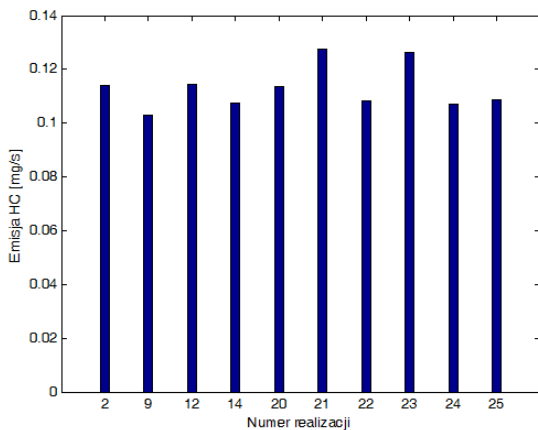
a)



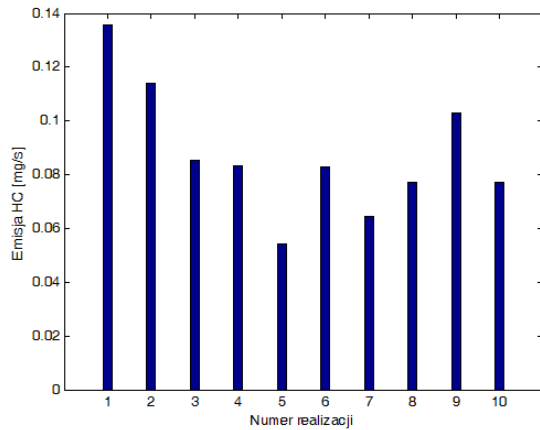
b)

Rys. 6. Wartości średnie dla przykładowych 22-elementowych podzbiorów realizacji emisji CO<sub>2</sub>: a) spełniających hipotezę H<sub>0</sub>, b) nie spełniających hipotezy H<sub>0</sub>.

Źródło: opracowanie własne.



a)

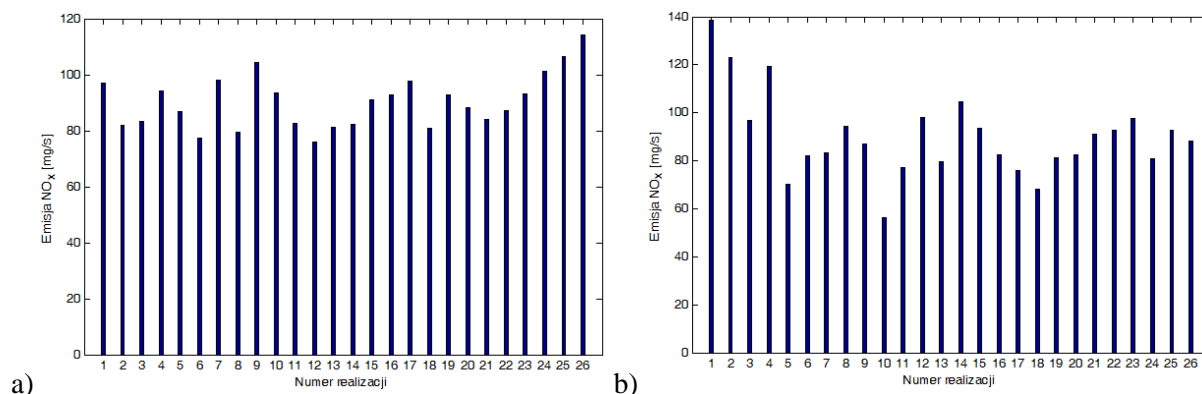


b)

Rys. 7. Wartości średnie dla przykładowych 10-elementowych podzbiorów realizacji emisji HC: a) spełniających hipotezę H<sub>0</sub>, b) nie spełniających hipotezy H<sub>0</sub>.

Źródło: opracowanie własne.





Rys. 8. Wartości średnie dla przykładowych 26-elementowych podzbiorów realizacji emisji  $\text{NO}_x$ :  
a) spełniających hipotezę  $H_0$ , b) nie spełniających hipotezy  $H_0$ .

Źródło: opracowanie własne.

## WNIOSKI

Cechą charakterystyczną eksperymentu przeprowadzonego dla badanego pojazdu za pomocą urządzeń PEMS była powtarzalność sekwencji zdarzeń dla pojazdu: start, jazda, stop. Sekwencje te oraz zmiany prędkości, wynikające z ruchu ulicznego, sposobu prowadzenia pojazdu przez kierowcę, warunków atmosferycznych itp., stanowiły podstawę do przyjęcia modelu do badań za pomocą metody ANOVA.

W przypadku testowania hipotez dla realizacji odnośnie emisji  $\text{CO}_2$ , hipoteza zerowa  $H_0$  została przyjęta dla podzbiorów o maksymalnej liczności zawierającego 22 realizacje. W przypadku testowania hipotez dla realizacji odnośnie emisji HC, hipoteza zerowa  $H_0$  została przyjęta dla podzbiorów o maksymalnej liczności zawierającego 10 realizacji. W przypadku testowania hipotez dla realizacji odnośnie emisji  $\text{NO}_x$ , hipoteza zerowa  $H_0$  została przyjęta dla podzbiorów o maksymalnej liczności zawierającego 26 realizacji. Rozkłady realizacji reprezentujące emisję CO nie spełniają założeń odnośnie rozkładu normalnego.

Zastosowanie metody ANOVA wprowadziło nową jakość w zakresie analizy wyników eksperymentu zrealizowanego z wykorzystaniem urządzeń PEMS, odnośnie poszukiwania statystycznego podobieństwa rozkładów wartości emisji zanieczyszczeń w badanych sekwencjach.

Stanowi to przyczynek do prowadzenia dalszych badań eksperymentalnych, analitycznych i numerycznych w celu znalezienia wzorców zmienności lub/i statystycznego podobieństwa przebiegów emisji zanieczyszczeń CO,  $\text{CO}_2$ , HC oraz  $\text{NO}_x$  mierzonych w rzeczywistych warunkach ruchu pojazdu.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Dohle U., Schneemann A., Teetz C., Wintruff I., Compliance with Future Emissions Regulations – Solutions Developed by MTU Friedrichshafen. 31st International Vienna Motor Symposium, Vienna 2010.
- [2] Khalek I., Status Update on the PM-PEMS Measurement Allowance Project, Sensors 5th Annual SUN (SEMTECH User Network) Conference, Ann Arbor 2008.
- [3] Manly B. F. J., Multivariate Statistical Methods – A primer, Chapman & Hall/CRC, 2005.
- [4] Mori K., Contribution of The Diesel Engine to Sustainable Mobility. World Automotive Congress Fisita 2010, F2010-A-019, Budapest 2010.

- [5] Smirnow N. W., Dunin-Barkowski I. W., Krótki kurs statystyki matematycznej dla zastosowań technicznych, PWN, Warszawa 1966.
- [6] Tinsley H. E. A., Brown S. D., Handbook of Applied Multivariate Statistics and Mathematical Modeling, ACADEMIC PRESS, 2000.
- [7] Tukey J. W., Exploratory Data Analysis, Addison-Wesley, 1977.
- [8] MATLAB 7.04.

**PEMS ON-ROAD EMISSIONS MEASUREMENT AND EXPERIMENTAL DATA EXAMINATION  
USING METHODS OF VARIANCE ANALYSIS**

**Abstract:**

Ecological quality of the vehicle is determined by the amount of pollutants it emits. The analyses of data gathered during PEMS on-road emission testing indicate that pollutant emissions have stochastic nature. In this article, the hypothesis was assumed that despite of the complexity and the variability of the experiment conditions, the statistic similarities within pollutant emissions of CO, CO<sub>2</sub>, HC and NO<sub>x</sub> can be found. The method ANOVA was used to verify this hypothesis.

Key words: ANOVA, pollutant emissions, PEMS.