

Andrzej Szczotka, Bartosz Puchałka, Piotr Bielaczyc

Wpływ stylu jazdy kierowców na niepewność pomiarów emisji spalin na hamowni podwoziowej

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.476
Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

Pomiary emisji związków szkodliwych spalin podczas testów na hamowni podwoziowej są jednymi z najistotniejszych i najbardziej skomplikowanych badań, jakim są poddawane pojazdy napędzane silnikami spalinowymi. W artykule został omówiony jeden z istotniejszych czynników mających wpływ na końcowe wyniki emisji badanego pojazdu, a mianowicie wpływ stylu jazdy kierowcy.

Słowa kluczowe: emisja spalin, kierowca, styl jazdy.

Wstęp

Badania emisji spalin pojazdów o masie całkowitej poniżej 3500 kg przeprowadza się w laboratorium badania emisji spalin (zdjęcie 1) na hamowni podwoziowej (rolkowym stanowisku dynamometrycznym), odwzorowującej rzeczywiste opory jazdy (toczenia, aerodynamiczne i bezwładność pojazdu) [1,2]. Hamownia podwoziowa jest urządzeniem, które odtwarza warunki ruchu na drodze rzeczywistej dla układu napędowego badanego pojazdu w warunkach laboratoryjnych.

Badanie polegające na analizie spalin (rozcieńczonych powietrzem) z worków pomiarowych jest podstawowym przy wykonywaniu badań emisji związków szkodliwych w spalinach, zgodnie z wymaganiami przepisów homologacyjnych. Badania te, nazywane często badaniami kontrolnymi, wykonuje się w ramach badań homologacyjnych (dopuszczających dany pojazd do ruchu) i badań zgodności produkcji (CoP - conformity of production - badania pojazdów wziętych losowo z produkcji seryjnej na zgodność z homologowanym typem).

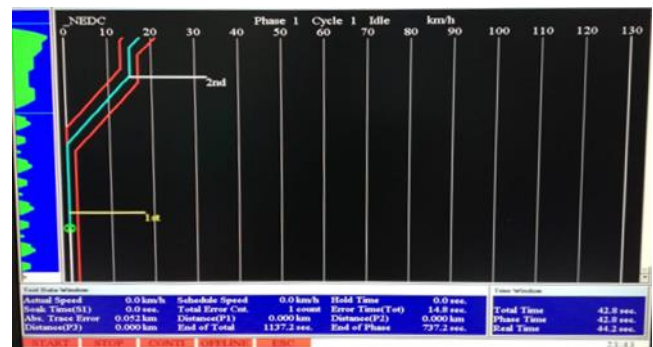


Zdjęcie 1. Pojazd na stanowisku badawczym w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL [3]

Próbka mieszaniny spalin z powietrzem, w ilości proporcjonalnej do strumienia tej mieszaniny, jest w sposób ciągły pobierana i zbierana w worku pomiarowym, w czasie realizacji na hamowni podwoziowej ustalonego cyklu jezdnego. Skład mieszaniny spalin z powie-

trzem w worku pomiarowym odpowiada średniemu stężeniu składników spalin wydzielanych z pojazdu podczas określonego cyklu jezdnego. Następnie odczytane z próbki zebranej do worków pomiarowych (z użyciem analizatorów spalin) stężenia poszczególnych związków szkodliwych przelicza się na podstawie odpowiednich wzorów na emisję całkowitą w g/km i otrzymane wyniki porównuje się z odpowiednimi limitami [4].

Samochód podczas wykonywania zadanego testu jezdnego prowadzony jest przez doświadczonego kierowcę, który w każdej sekundzie jazdy kontrolować musi prędkość samochodu oraz zmieniać przełożenia skrzyni biegów, zgodnie z wyświetlanymi na ekranie informacjami. Przykładowy widok obserwowany na ekranie przez kierowcę podczas testu NEDC, zawierający chwilowy przebieg prędkości, znajduje się na zdjęciu 2. Na osi poziomej wyświetlanego wykresu przedstawiona jest prędkość pojazdu, natomiast na osi pionowej czas testu. Punkty zmiany biegów widoczne są na wykresie prędkości badanego samochodu w odniesieniu do czasu testu.



Zdjęcie 2. Widok na ekran zawierający instrukcje dla kierowcy [3]

1. Analiza wpływu stylu jazdy kierowców na niepewność pomiarów emisji spalin

Styl jazdy kierowców stanowi bardzo ważny czynnik wpływający na niepewność pochodzącą od zmienności przygotowanej do analizy próbki gazu. Według niektórych źródeł [5, 6] wpływ kierowcy na całkowitą niepewność pomiarów emisji może wynosić nawet 10%. W związku z powyższym celowe wydaje się przeprowadzenie dokładniejszej analizy wpływu kierowcy na wyniki emisji związków szkodliwych w spalinach podczas testów wykonywanych na hamowni podwoziowej.

Kierowca może w szerokim zakresie wpływać na wyniki emisji przez styl jazdy (gwałtowne przyspieszanie i zwalnianie, duże wahania przepustnicy), dokładność przejazdu (tolerancja ± 2 km/h pozwala na duże zmiany prędkości jazdy), a także sposób uruchomienia silnika podczas testów z „zimnego” rozruchu (czas uruchomienia rozrusznika, uchylenie przepustnicy).

W celu określenia wpływu wspomnianych czynników na wyniki badań przeprowadzono 4 serie pomiarów emisji w testach NEDC dla różnych kierowców (po 6 testów dla każdego kierowcy) na samochodzie typu A. Krótką charakterystykę poszczególnych kierowców zamieszczono w tabeli 1.

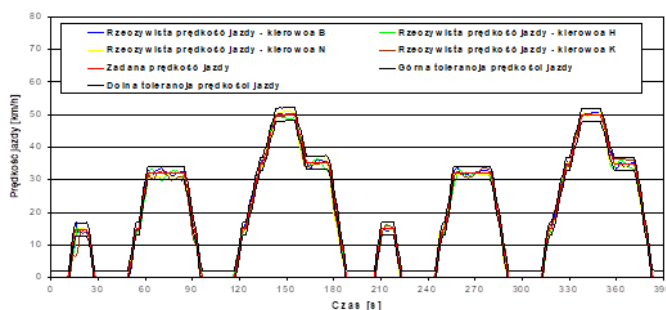
Na rysunkach 1 do 3 przedstawiono przykładowe przebiegi prędkości jazdy podczas testów NEDC, wykonanych przez różnych kierowców, a na rysunkach 4 do 6 przebieg różnicy między rzeczywistą aadaną prędkością jazdy, świadczący o dokładności przejazdu testu przez poszczególnych kierowców. Duże różnice podczas faz hamowania nie wynikają z błędów kierowców, lecz z wymagań przepisów dotyczących wykonywania pomiarów emisji na hamowni podwoziowej, zabraniających otwierania przepustnicy podczas hamowania. Na rysunku 7 przedstawiono rzeczywistą prędkość jazdy różnych kierowców podczas testu NEDC w funkcji zadanej prędkości jazdy, a w tabeli 2 zestawienie średnich prędkości i błędów prędkości podczas testów NEDC dla poszczególnych kierowców.

Tab. 1. Charakterystyka kierowców

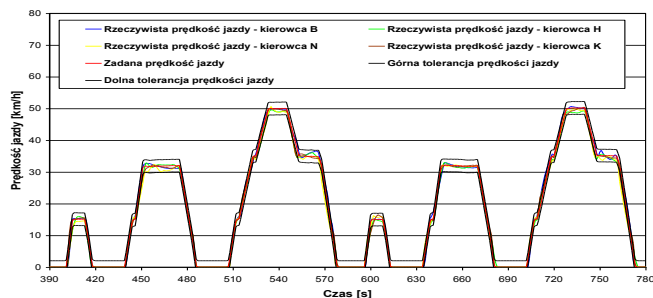
Kierowca	H	B	N	K	
Wiek	54	60	35	34	
Funkcja w laboratorium emisji	kierowca	kierowca	operator	operator	
Staż pracy w laboratorium	9 lat	28 lat	3 miesiące	8 lat	
Ilość przejechanych cykli jezdnych na hamowni podwoziowej	9000-10000	22000-25000	10	100-150	
Styl jazdy	spokojny	dynamiczny	dynamiczny	dynamiczny	
Średnia ilość błędów przejazdu ^{1,2)}	6	2	10	7	
Średni sumaryczny czas przejazdu z prędkością poza tolerancją ¹⁾ [s]	6,8	3,5	24,7	12,7	
Średnie zużycie paliwa [dm ³ /100 km] ¹⁾	UDC	8,88	9,11	8,94	8,82
	EUDC	5,71	5,73	5,97	5,81
	NEDC	6,87	6,98	7,06	6,92

¹⁾ podane wartości dotyczą, rozważanych w niniejszym rozdziale, 6 testów wykonanych na samochodzie typu A,

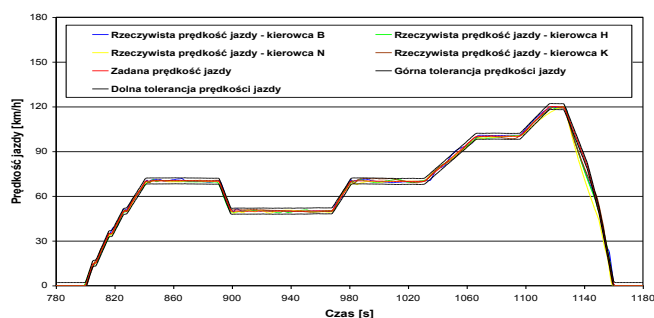
²⁾ błąd przejazdu oznacza prędkość jazdy w teście NEDC, przekraczającą zadaną prędkość o wartość większą niż tolerancja (± 2 km/h).



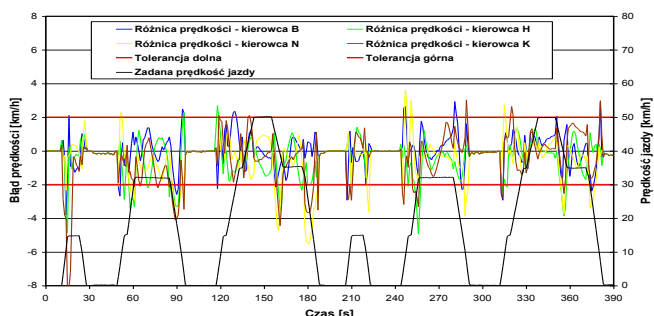
Rys. 1. Przykładowe porównanie prędkości jazdy, od 0 do 390 s fazy UDC, różnych kierowców dla samochodu typu A



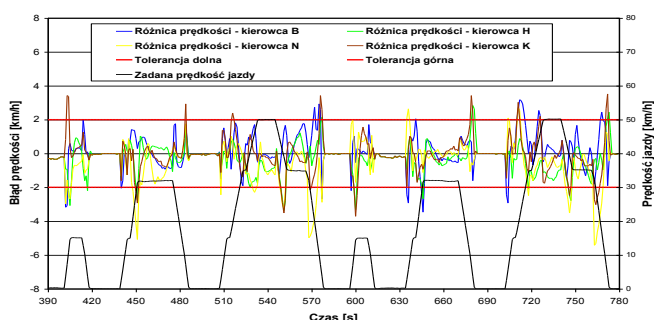
Rys. 2. Przykładowe porównanie prędkości jazdy, od 390 do 780 s fazy UDC, różnych kierowców dla samochodu typu A



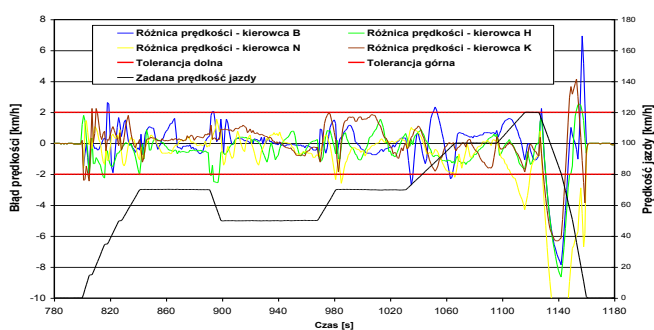
Rys. 3. Przykładowe porównanie prędkości jazdy, podczas fazy EUDC, różnych kierowców dla samochodu typu A



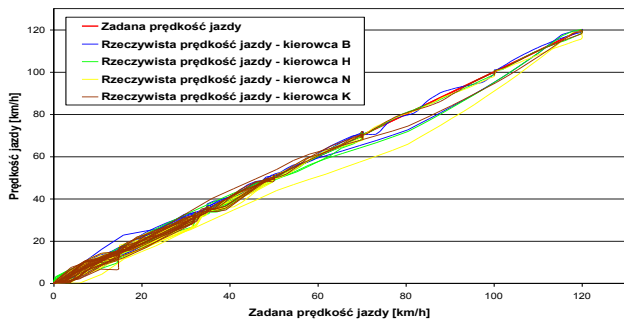
Rys. 4. Przykładowy przebieg różnicy między rzeczywistą aadaną prędkością jazdy różnych kierowców, od 0 do 390 s fazy UDC



Rys. 5. Przykładowy przebieg różnicy między rzeczywistą aadaną prędkością jazdy różnych kierowców, od 390 do 780 s fazy UDC



Rys. 6. Przykładowy przebieg różnicy między rzeczywistą aadaną prędkością jazdy różnych kierowców, podczas fazy EUDC



Rys. 7. Rzeczywista prędkość jazdy różnych kierowców podczas testu NEDC w funkcji zadanej prędkości jazdy

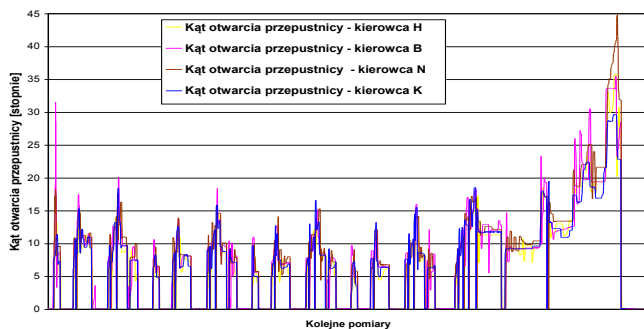
Tab. 2. Zestawienie prędkości średnich i błędów prędkości podczas testów NEDC dla różnych kierowców

Kierowca	Prędkość średnia [km/h]			Średni błąd prędkości [km/h]		
	UDC	EUDC	NEDC	UDC	EUDC	NEDC
H	18,39	62,11	33,21	0,66	0,85	0,72
B	18,80	62,59	33,65	0,61	0,81	0,68
N	18,28	61,61	32,97	0,77	1,25	0,93
K	18,50	62,59	33,44	0,74	0,87	0,78
Teoretyczna	18,7	62,6	33,6	0	0	0

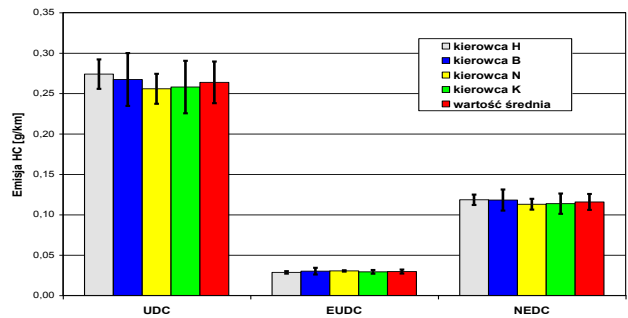
Na podstawie analizy wyników zauważono różnice w dokładności przejazdu testu przez poszczególnych kierowców:

- wszyscy kierowcy, za wyjątkiem kierowcy B przejechali test NEDC z prędkością średnią niższą od zadanej. Oznacza to, iż kierowca B przejechał test z prędkością bliższą górnej tolerancji,
- w fazie UDC kierowca N, częściej i o wyższą wartość niż pozostali kierowcy, przekraczał zadaną prędkość jazdy o wartość większą niż ± 2 km/h.

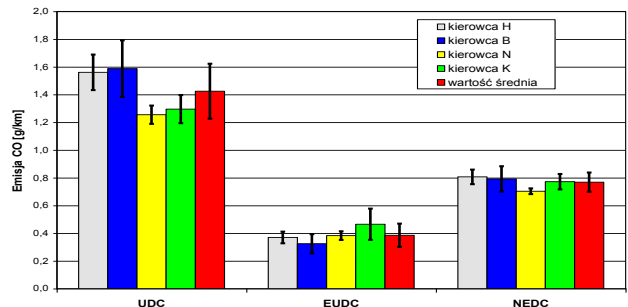
Na rysunku 8 przedstawiono przebieg kątów otwarcia przepustnicy, świadczący o stylu jazdy poszczególnych kierowców, a na rysunkach 9 do 12 odpowiednie wyniki emisji. Zgodnie z wymaganiami przepisów kierowca podczas realizacji na hamowni podwoziowej określonego cyklu jezdny powinien unikać częstych i gwałtownych zmian położenia przepustnicy, mogących w znacznym stopniu zwiększać emisję szkodliwych składników spalin. Kierowca K powodował niewielkie wahania przepustnicy, w przeciwieństwie do kierowcy B, który stosunkowo często zmieniał jej położenie.



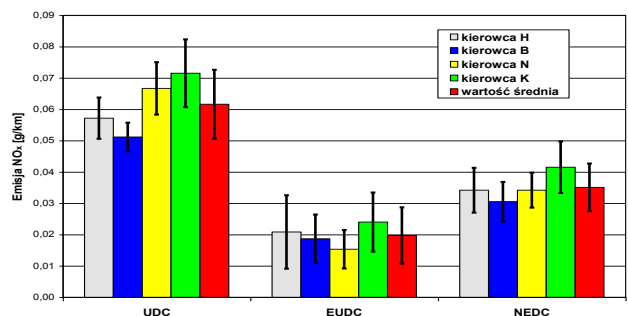
Rys. 8. Przykładowy przebieg kątów otwarcia przepustnicy podczas testu NEDC dla różnych kierowców



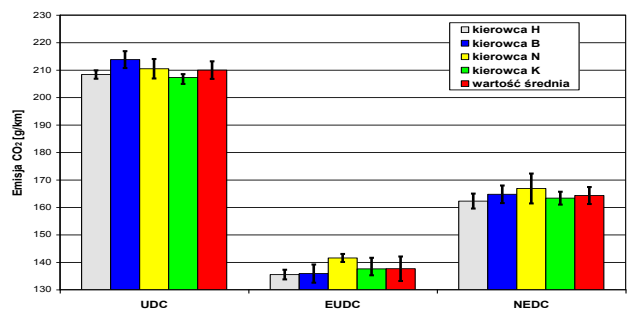
Rys. 9. Porównanie wyników emisji HC w teście NEDC dla samochodu typu A dla różnych kierowców



Rys. 10. Porównanie wyników emisji CO w teście NEDC dla samochodu typu A dla różnych kierowców

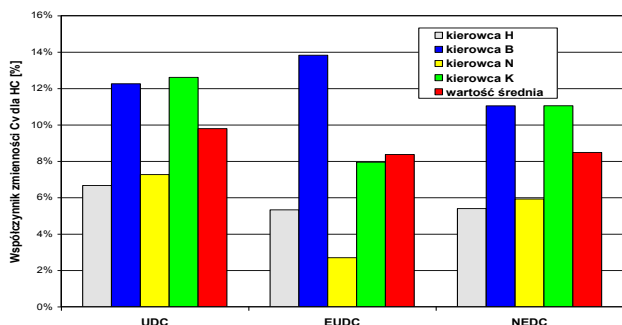


Rys. 11. Porównanie wyników emisji NO_x w teście NEDC dla samochodu typu A dla różnych kierowców

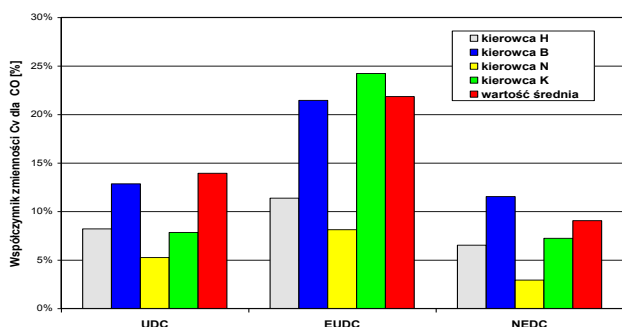


Rys. 12. Porównanie wyników emisji CO₂ w teście NEDC dla samochodu typu A dla różnych kierowców

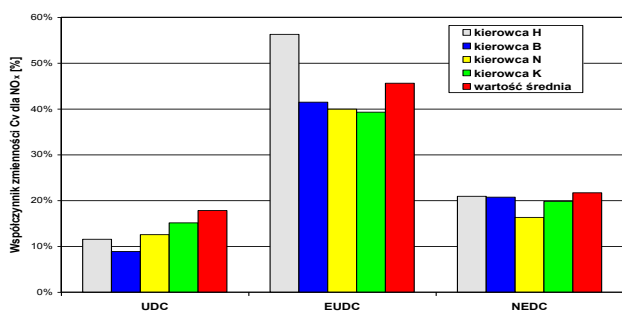
Na rysunkach 9-12 pokazano średnią wartość oraz odchylenie standardowe z 6 testów wykonanych z każdym kierowcą. Na ich podstawie można zauważyć niewielki wpływ kierowcy na wyniki emisji HC i CO₂ oraz znaczny wpływ na wyniki emisji CO i NO_x. W fazie UDC różnice w emisji CO i NO_x są tak duże, iż przedziały określone przez wartości średnie i odchylenia standardowe wyników uzyskanych przez poszczególnych kierowców w niektórych przypadkach nawet na siebie nie zachodzą. Oznacza to duże prawdopodobieństwo uzyskania nieporównywalnych wyników w zależności od kierowcy wykonującego testy. Drugą, bardzo istotną rzeczą jest rozrzut wyników serii testów wykonanych z danym kierowcą. O powtarzalności wyników pomiarów emisji związków szkodliwych spalin w zależności od kierowcy, wykonującego przejazd podczas badań, można wnioskować na podstawie rysunków 13-16.



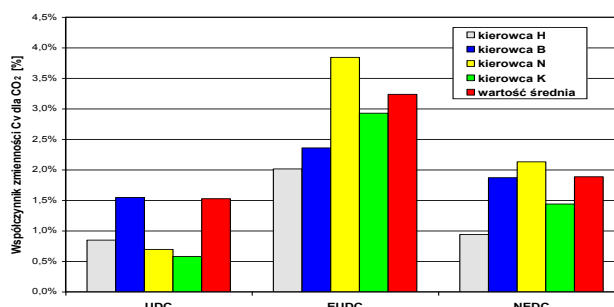
Rys. 13. Porównanie współczynników zmienności wyników emisji HC w teście NEDC dla samochodu typu A dla różnych kierowców



Rys. 14. Porównanie współczynników zmienności wyników emisji CO w teście NEDC dla samochodu typu A dla różnych kierowców



Rys. 15. Porównanie współczynników zmienności wyników emisji NO_x w teście NEDC dla samochodu typu A dla różnych kierowców



Rys. 16. Porównanie współczynników zmienności wyników emisji CO₂ w teście NEDC dla samochodu typu A dla różnych kierowców

Na podstawie analizy powyższych wyników sformułowano następujące wnioski:

- badany samochód charakteryzował się znaczną zmiennością emisji NO_x w fazie EUDC, o czym świadczą wysokie współczynniki zmienności, wynoszące około 57% dla kierowcy H oraz około 40% dla pozostałych kierowców,
- najbardziej stabilne wyniki uzyskano z kierowcą H, a najmniej stabilne z kierowcą B,
- duża zmienność wyników uzyskanych z kierowcą B spowodowana jest dynamicznym stylem jazdy tego kierowcy oraz częstymi zmianami położenia przepustnicy podczas testu, związanymi z dążeniem do przejechania testu z prędkością jak najbardziej zbliżoną do prędkości zadanej. Taki styl jazdy powoduje niestabilność wyników między kolejnymi testami, a jednocześnie charakteryzuje się małą liczbą i krótkim czasem błędów przejazdu (tab. 1). Z punktu widzenia emisji spalin korzystniejsze jest ograniczenie zmian położenia przepustnicy kosztem odstępstwa od zadanej prędkości jazdy (w granicach tolerancji prędkości ± 2 km/h). Taką strategię jazdy w najlepszym stopniu opanował kierowca H.

Wpływ poszczególnych kierowców na niepewność przygotowanej do analizy próbki gazu przedstawiono w tabelach 3 do 6.

Tab. 3. Zestawienie wyników emisji HC podczas testu NEDC dla różnych kierowców

Faza	Parametr	Kierowca			
		H	B	N	K
UDC	Średnia emisja [g/km]	0,274	0,267	0,256	0,258
	Odchylenie standardowe [g/km]	0,018	0,033	0,019	0,032
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	0,007	0,013	0,008	0,013
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	2,7%	5,0%	3,0%	5,1%
EUDC	Średnia emisja [g/km]	0,029	0,030	0,030	0,029
	Odchylenie standardowe [g/km]	0,002	0,004	0,001	0,002
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	0,001	0,002	0,0003	0,001
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	2,2%	5,6%	1,1%	3,2%
NEDC	Średnia emisja [g/km]	0,118	0,118	0,113	0,114
	Odchylenie standardowe [g/km]	0,006	0,013	0,007	0,013
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	0,003	0,005	0,003	0,005
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	2,2%	4,5%	2,4%	4,5%

Tab. 4. Zestawienie wyników emisji CO podczas testu NEDC dla różnych kierowców

Faza	Parametr	Kierowca			
		H	B	N	K
UDC	Średnia emisja [g/km]	1,561	1,588	1,255	1,295
	Odchylenie standardowe [g/km]	0,128	0,204	0,066	0,101
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	0,052	0,083	0,027	0,041
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	3,3%	5,2%	2,1%	3,2%
EUDC	Średnia emisja [g/km]	0,370	0,324	0,383	0,465
	Odchylenie standardowe [g/km]	0,042	0,069	0,031	0,112
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	0,017	0,028	0,013	0,046
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	4,6%	8,8%	3,3%	9,9%
NEDC	Średnia emisja [g/km]	0,807	0,792	0,703	0,772
	Odchylenie standardowe [g/km]	0,053	0,091	0,021	0,056
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	0,003	0,005	0,003	0,005
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	2,2%	4,5%	2,4%	4,5%

Tab. 5. Zestawienie wyników emisji NO_x podczas testu NEDC dla różnych kierowców

Faza	Parametr	Kierowca			
		H	B	N	K
UDC	Średnia emisja [g/km]	0,057	0,051	0,067	0,072
	Odchylenie standardowe [g/km]	0,007	0,005	0,008	0,011
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	0,003	0,002	0,003	0,004
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	4,7%	3,6%	5,1%	6,2%
EUDC	Średnia emisja [g/km]	0,021	0,019	0,015	0,024
	Odchylenie standardowe [g/km]	0,012	0,008	0,006	0,009
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	0,005	0,003	0,002	0,004
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	23,0%	16,9%	16,3%	16,0%
NEDC	Średnia emisja [g/km]	0,034	0,031	0,034	0,042
	Odchylenie standardowe [g/km]	0,007	0,006	0,006	0,008
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	0,003	0,003	0,002	0,003
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	8,5%	8,5%	6,6%	8,1%

Tab. 6. Zestawienie wyników emisji CO₂ podczas testu NEDC dla różnych kierowców

Faza	Parametr	Kierowca			
		H	B	N	K
UDC	Średnia emisja [g/km]	208,3	213,8	210,4	207,3
	Odchylenie standardowe [g/km]	1,8	3,3	1,5	1,2
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	0,719	1,348	0,596	0,490
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	0,3%	0,6%	0,3%	0,2%
EUDC	Średnia emisja [g/km]	135,5	135,8	141,5	137,6
	Odchylenie standardowe [g/km]	2,7	3,2	5,4	4,0
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	1,113	1,306	2,219	1,643
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	0,8%	1,0%	1,6%	1,2%
NEDC	Średnia emisja [g/km]	162,2	164,7	166,8	163,3
	Odchylenie standardowe [g/km]	1,5	3,1	3,6	2,3
	Niepewn. standard. typu A [g/km]	0,621	1,256	1,450	0,958
	Wzgl. niepewn. standard. typu A	0,4%	0,8%	0,9%	0,6%

Przedstawione w powyższych tabelach niepewności standardowe typu A, ściśle odpowiadają tendencjom przedstawionym na rysunkach 13 do 16. Oznacza to, że kierowca H (spokojny styl jazdy) dla którego uzyskano najniższe współczynniki zmienności, wprowadził do uzyskanych wyników najmniejszą niepewność związaną z wiarygodnością zebranych próbek gazu do worków pomiarowych. Po uwzględnieniu różnicy między średnią emisją ze wszystkich testów, a średnią emisją dla każdego kierowcy oraz podanych w tabelach 3-6 niepewności standardowych typu A, niepewność związana z wpływem stylu jazdy kierowców na całkowitą niepewność pomiarów wynosi 2% dla HC, 3,1% dla CO, 9,3% dla NO_x oraz 0,6% dla CO₂.

Podsumowanie

Styl jazdy kierowców stanowi bardzo istotny czynnik wpływający na wyniki otrzymywane podczas pomiarów emisji spalin. Poprzez gwałtowne przyspieszanie i zwalnianie, duże wahania przepustnicy, dokładność przejazdu oraz sposób uruchomienia silnika podczas te-

stu, uzyskiwane wyniki mogą różnić się, dla poszczególnych kierowców, nawet o 10%. Wyniki uzyskane podczas testów wykonywanych przez najbardziej doświadczonego kierowcę nie są wynikami najbardziej stabilnymi, co oznacza, że istotniejszym czynnikiem mającym wpływ na emisję spalin ma styl jazdy. Potwierdzają to wyniki, które dla kierowcy cechującego się spokojnym stylem jazdy, ale drugim co do wielkości stażem pracy, są najstabilniejsze.

Niniejszy artykuł związany jest z tematem „Analiza możliwości zwiększenia dokładności metody pomiarów emisji spalin, zużycia paliwa i parametrów dynamicznych samochodów podczas badań na hamowni podwoziowej oraz rozszerzenie metodyki badań emisji gazowych związków szkodliwych i cząstek stałych o badania nieznormalizowane podczas testów emisji na hamowni podwoziowej” w ramach prac naukowo-badawczych, realizowanych w BOSMAL w latach 2017-2018.

Bibliografia:

1. Bielaczyc P., Szczotka A., Pajdowski P., Woodburn J., *Development of vehicle exhaust emission testing methods – BOSMAL's new emission testing laboratory*. PTNSS-2011-SS1-101. Combustion Engines 1/2011 (144).
2. Bielaczyc P., Szczotka A., Pajdowski P., Woodburn J., *Development of automotive emissions testing equipment and test methods in response to legislative, technical and commercial requirements*. Paper 2013-103. Combustion Engines 1/2013 (152).
3. Materiały własne IBiRM Bosmal
4. UNECE, Regulation No. 83, 2015, available online: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R083r5e.pdf>, accessed 60 Feb 2015.
5. Klingenberg H.: *Measuring and Testing Procedures for Motor Vehicle Exhaust Emissions - a Survey and Critique*. Archiv für technisches Messen, 44. Jahrgang 1977.
6. Klingenberg H.: *Automobile Exhaust Emission Testing - Measurement of Regulated and Unregulated Exhaust Gas Components, Exhaust Emission Tests*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 1996.

Influence of drivers' driving style on the uncertainty of measurements of exhaust emissions on a chassis dynamometer

Exhaust emission measurements on the chassis dynamometer are one of the most important and most complex tests which are performed on vehicles driven by combustion engines. This paper describes in detail one of the most important factor affecting on the final results of the exhaust emission: the impact of the drivers' driving style.

Keywords: exhaust emission, driver, driving style.

Autorzy:

dr inż. **Andrzej Szczotka** – kierownik Pracowni Badań Toksyczności Spalin w Zakładzie Badań Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej, andrzej.szczotka@bosmal.com.pl

mgr inż. **Bartosz Puchałka** – samodzielny pracownik ds. badań w Pracowni Badań Toksyczności Spalin w Zakładzie Badań Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej, bartosz.puchalka@bosmal.com.pl

dr inż. **Piotr Bielaczyc** – kierownik Zakładu Badań Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej, piotr.bielaczyc@bosmal.com.pl