

Andrzej SZCZOTKA, Bartosz PUCHAŁKA, Piotr BIELACZYK, Borys ADAMIAK

## OCENA WPLYWU WSPÓLCZYNNIKA ROZCIEŃCZENIA SPALIN NA NIEPEWNOŚĆ WYNIKÓW POMIARÓW EMISJI SPALIN NA HAMOWNI PODWOZIOWEJ

*Badania emisji związków szkodliwych spalin podczas testów wykonywanych na hamowni podwoziowej są jednymi z najważniejszych i najbardziej skomplikowanych pomiarów, jakim poddawane są pojazdy wyposażone w silnik spalinowy. Układ poboru i rozcieńczania spalin (tzw. system CVS – Constant Volume Sample – stała objętość próbkowania) należy do najistotniejszych elementów laboratorium badań toksyczności spalin, który znacząco wpływa na dokładność otrzymywanych wyników. W niniejszym artykule został przeanalizowany wpływ współczynnika rozcieńczenia spalin (czyli parametru który za pomocą układu CVS można zmieniać w zależności od poziomu emisji spalin i pojemności skokowej silnika badanego pojazdu) na niepewność otrzymywanych wyników pomiarów emisji.*

### WSTĘP

Pomiary emisji związków szkodliwych spalin pojazdów o masie całkowitej poniżej 3,5 t wykonuje się w laboratorium badań emisji spalin na hamowni podwoziowej odwzorowującej rzeczywiste opory jazdy tzn. opory toczenia, aerodynamiczne i bezwładność pojazdu (zdjęcie 1) [1,2]. Hamownia podwoziowa jest to urządzenie, które symuluje warunki ruchu na drodze rzeczywistej dla układu napędowego badanego pojazdu w warunkach laboratoryjnych.

Badanie polegające na analizie spalin rozcieńczonych powietrzem, zebranych podczas testu w workach pomiarowych, jest badaniem podstawowym przy wykonywaniu pomiarów emisji związków toksycznych, zgodnie z obowiązującymi wymaganiami przepisów homologacyjnych. Pomiary tego typu, nazywane często badaniami kontrolnymi, wykonuje się w zakresie badań homologacyjnych oraz badań zgodności produkcji.



**Zdjęcie 1.** Laboratorium Badania Emisji Spalin w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL [3]

Próbka mieszaniny spalin rozcieńczonych powietrzem, w ilości proporcjonalnej do strumienia tej mieszaniny, jest w sposób ciągły pobierana i gromadzona we właściwym worku pomiarowym, podczas wykonywania na stanowisku ustalonego cyklu jezdowego. Skład mieszaniny spalin z powietrzem w worku pomiarowym odpowiada średniemu stężeniu składników spalin emitowanych z pojazdu podczas zadanego cyklu jezdowego. Następnie wartości zmierzone

za pomocą analizatorów spalin (z próbki zebranej do worków pomiarowych) stężenia poszczególnych związków szkodliwych przeliczane są na emisję całkowitą w g/km [4 i 5].

### 1. OPIS SYSTEMU CVS

System próbkowania spalin o stałej objętości CVS-CFV (CFV - critical flow Venturi - układ CVS z dyszą Venturiego o przepływie krytycznym), w połączeniu z zestawem analizatorów umożliwia dokładny pomiar składników gazów spalinowych emitowanych z kompletnego pojazdu, podczas badań na hamowni podwoziowej [6-8].

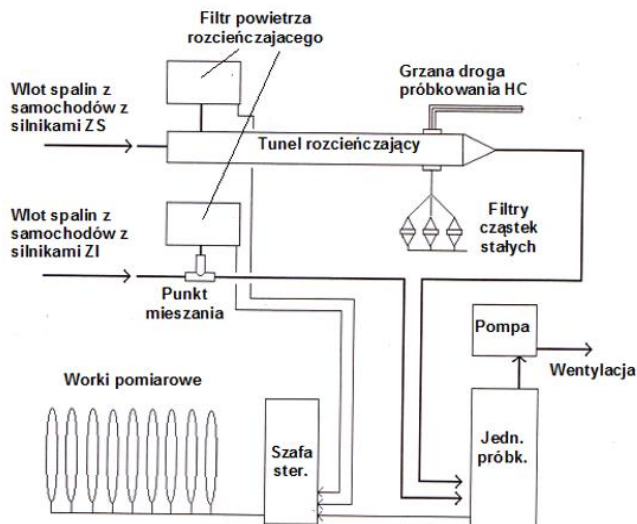
Dla każdej z faz testu emisji strumień gazów spalinowych jest rozcieńczany przez przefiltrowane powietrze z otoczenia, a następnie próbki gazów spalinowych i przefiltrowanego powietrza są zbierane do worków pomiarowych, z równoczesnym pomiarem natężenia przepływu rozcieńczonych spalin.

Poza podstawowymi funkcjami określonymi przez wymagania dotyczące pomiarów emisji spalin, system CFV-CVS umożliwia również:

- rozcieńczanie gazów spalinowych otaczającym powietrzem, zgodnie z żądanym współczynnikiem rozcieńczenia, tak aby w systemie pomiarowym i w systemie próbkowania nie pojawiła się woda kondensacyjna,
- otrzymywanie całkowitego przepływu spalin samochodowych bez wahań ciśnienia w rurze wydechowej większych od 100 mm słupa wody w porównaniu do wyników otrzymanych podczas pomiaru bez podłączonego systemu CVS,
- próbkowanie odpowiedniej, proporcjonalnej ilości gazów spalinowych i powietrza, a następnie przesyłanie ich do worków pomiarowych,
- mierzenie całkowitego przepływu rozcieńczonych gazów w celu określenia objętości każdej fazy testu emisji.

Działanie systemu poboru spalin (rys. 1) oparte jest na zasadzie przepływu krytycznego przez zwężkę Venturiego. System CVS, przy zachowaniu powyższego warunku, zapewnia stały przepływ rozcieńczonych gazów spalinowych przez zwężkę oraz oblicza chwilowe i całkowite natężenie przepływu mieszaniny, a także

całkowitą objętość mieszaniny, która przepłynęła przez układ CVS. W celu określenia natężenia przepływu rozcieńczonych gazów spalinowych przez układ CVS na wlocie do zwężki Venturiego mierzone jest ciśnienie i temperatura mieszaniny. Następnie rzeczywiste natężenie przepływu i całkowita objętość korygowane są do warunków standardowych, zgodnie z wymaganiami przepisów dotyczących pomiarów emisji spalin.



**Rys. 1.** Konfiguracja systemu poboru spalin dla samochodów wyposażonych w silniki ZI i ZS [3,9]

Próbki rozcieńczonych gazów spalinowych i powietrza rozcieńczającego są zbierane do worków pomiarowych w celu ich dalszej analizy za pomocą zestawu analizatorów. W systemie CVS proporcjonalna objętość próbki jest uzyskiwana za pomocą zwężki Venturiego o przepływie krytycznym umieszczonej w sondzie próbkującej (zwężka próbkująca). Sonda próbkująca umieszczona jest blisko wlotu do zwężek Venturiego tak, że temperatura i ciśnienie są praktycznie takie same dla każdej zwężki Venturiego, co zapewnia proporcjonalną zmianę natężenia przepływu próbki w zależności od całkowitego natężenia przepływu rozcieńczonych gazów spalinowych. Próbka powietrza rozcieńczającego jest analizowana w celu korekcyjnego stężenia składników tła wprowadzonego z powietrzem rozcieńczającym.

W systemie został również zastosowany separator cyklonowy do usuwania cząstek stałych z rozcieńczonych gazów spalinowych oraz do dokładnego wymieszania spalin z powietrzem rozcieńczającym.

## 2. BADANIA WPŁYwu WSPÓŁCZYNNIKA ROZCIEŃCZENIA SPALIN NA NIEPEWNOŚĆ WYNIKÓW POMIARÓW EMISJI NA PODSTAWIE TESTU NEDC

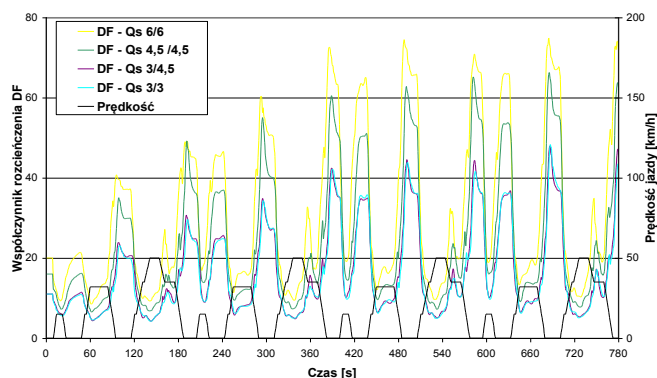
W stosowanych obecnie, podczas badań emisji z samochodów, systemach CVS najlepszym sposobem zwiększenia dokładności pomiarów jest zastosowanie dla każdej z faz testu jezdny jak najniższego współczynnika rozcieńczenia. Aby to osiągnąć należy stosować jak najniższe wartości natężenia przepływu spalin rozcieńczonych przez układ CVS, przy których nie występuje skraplanie spalin w układzie próbkowania.

Przedstawione na poniższych rysunkach oznaczenia Qs 6/6, Qs 4,5/4,5, itd., dotyczą natężenia przepływu (wyrażonego w m<sup>3</sup>/min) spalin rozcieńczonych przez dyszę Venturiego w poszczególnych fazach (UDC i EUDC) testu NEDC (np. Qs 3/4,5 oznacza,

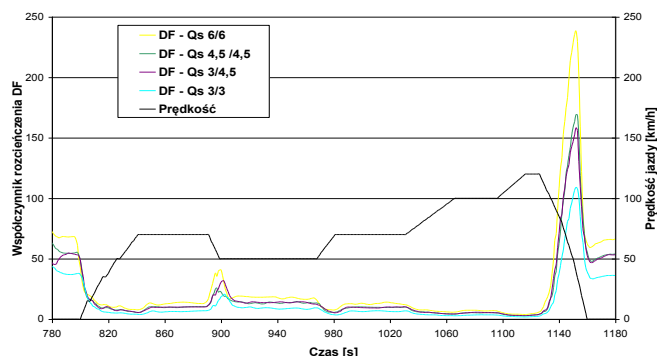
że natężenie przepływu spalin rozcieńczonych przez dyszę Venturiego w fazie UDC wynosiło 3 m<sup>3</sup>/min, a w fazie EUDC 4,5 m<sup>3</sup>/min).

W celu określenia wpływu współczynnika rozcieńczenia spalin na niepewność wyników pomiarów emisji wykonano serie pomiarów (na samochodzie typu P\_1,6) dla różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych (a więc i różnych wartości DF). Wykorzystano w tym celu wieloprzepływowy system CVS z możliwością szybkich zmian przepływu i krótkim czasie stabilizacji, znajdujący się w laboratorium badania emisji w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL.

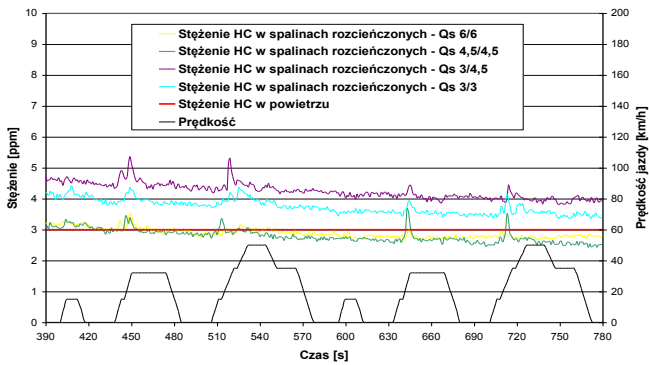
Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono zmiany współczynnika rozcieńczenia podczas testu NEDC w zależności od natężenia przepływu spalin rozcieńczonych, a na rysunkach 4-11 wpływ współczynnika rozcieńczenia na stężeniu poszczególnych składników w spalinach rozcieńczonych w porównaniu do średniego stężenia tych składników w powietrzu otoczenia. Wykresy wykonano od 390 s. fazy UDC i dla fazy EUDC, gdyż w pierwszych 390 s. od chwili uruchomienia silnika stężenie związków szkodliwych w spalinach rozcieńczonych znacznie różni się od ich stężenia w powietrzu. Ponadto na rysunkach 10 i 11 przedstawiono dodatkowo graniczne (zalecane) stężenie CO<sub>2</sub> w spalinach rozcieńczonych, powyżej którego może nastąpić skraplanie rozcieńczonych spalin (jeśli stan ten utrzymuje się przez dłuższy czas).



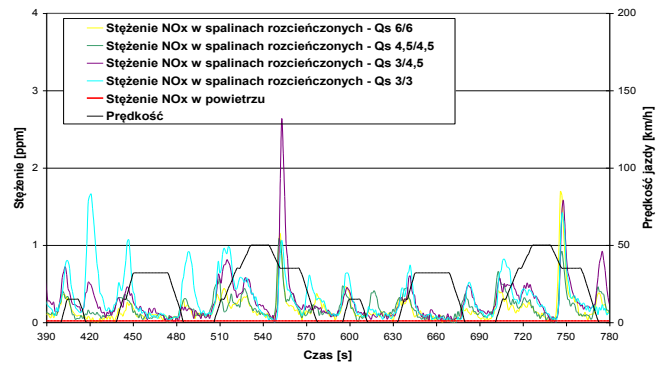
**Rys. 2.** Porównanie współczynnika rozcieńczenia dla samochodu typu P\_1,6 podczas fazy UDC testu NEDC dla różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych



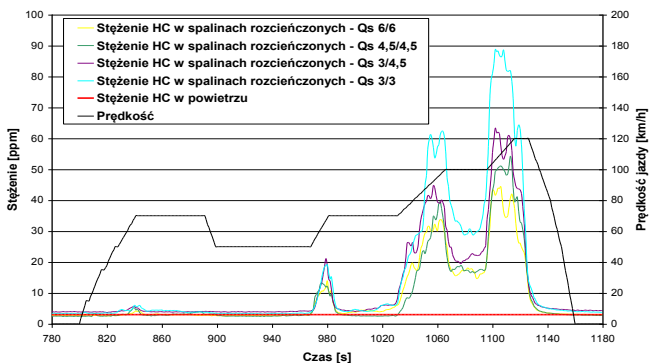
**Rys. 3.** Porównanie współczynnika rozcieńczenia dla samochodu typu P\_1,6 podczas fazy EUDC testu NEDC dla różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych



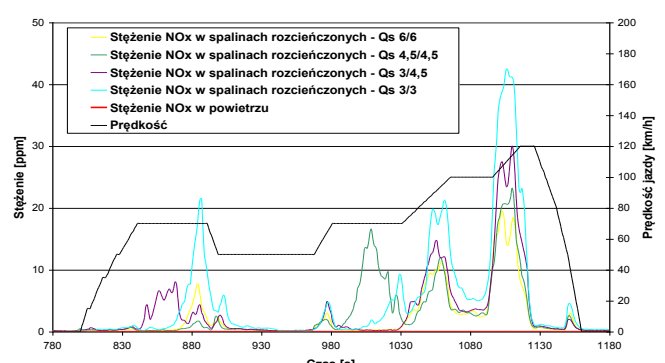
**Rys. 4.** Porównanie stężenia HC w spalinach rozcieńczonych i w powietrzu otoczenia od 390 do 780 sekundy fazy UDC testu NEDC dla różnych natężeń przepływu



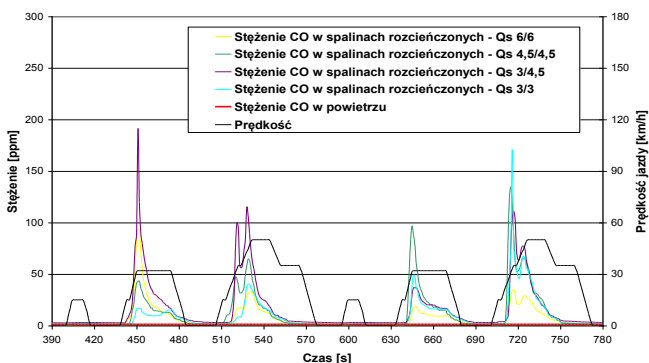
**Rys. 8.** Porównanie stężenia NOx w spalinach rozcieńczonych i w powietrzu otoczenia od 390 do 780 sekundy fazy UDC testu NEDC dla różnych natężeń przepływu



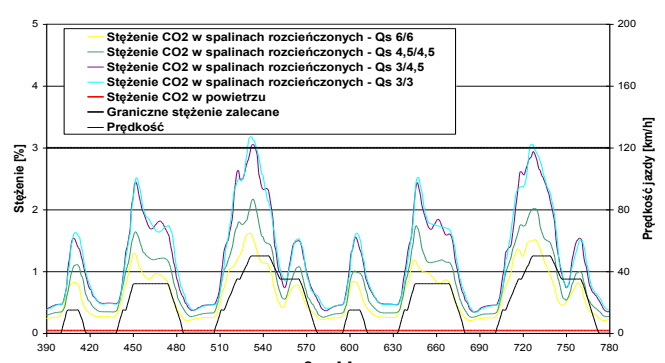
**Rys. 5.** Porównanie stężenia HC w spalinach rozcieńczonych i w powietrzu otoczenia podczas fazy EUDC testu NEDC dla różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych



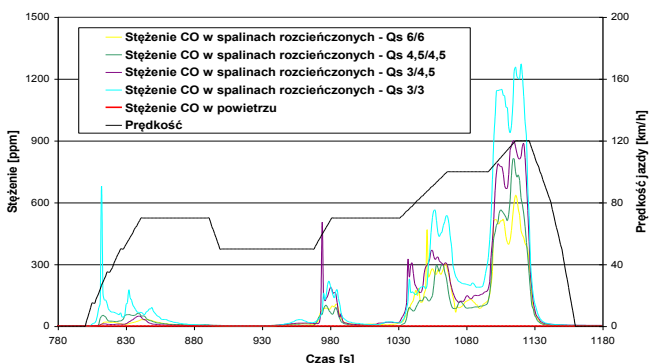
**Rys. 9.** Porównanie stężenia NOx w spalinach rozcieńczonych i w powietrzu otoczenia podczas fazy EUDC testu NEDC dla różnych natężeń przepływu



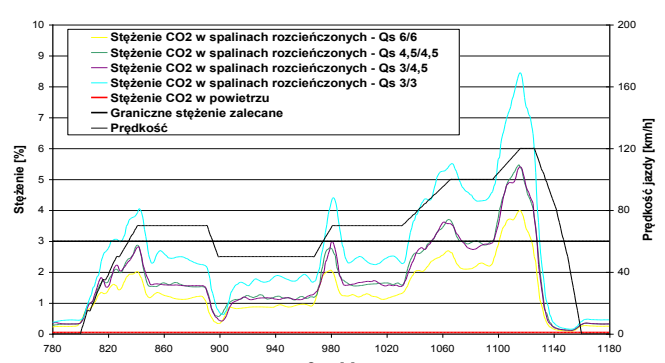
**Rys. 6.** Porównanie stężenia CO w spalinach rozcieńczonych i w powietrzu otoczenia od 390 do 780 sekundy fazy UDC testu NEDC dla różnych natężeń przepływu



**Rys. 10.** Porównanie stężenia CO<sub>2</sub> w spalinach rozcieńczonych i w powietrzu otoczenia od 390 do 780 sekundy fazy UDC testu NEDC dla różnych natężeń przepływu



**Rys. 7.** Porównanie stężenia CO w spalinach rozcieńczonych i w powietrzu otoczenia podczas fazy EUDC testu NEDC dla różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych

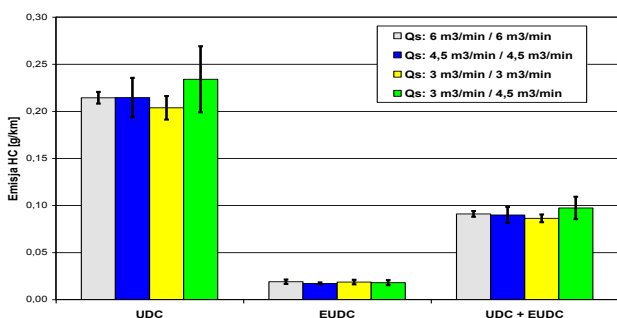


**Rys. 11.** Porównanie stężenia CO<sub>2</sub> w spalinach rozcieńczonych i w powietrzu otoczenia podczas fazy EUDC testu NEDC dla różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych

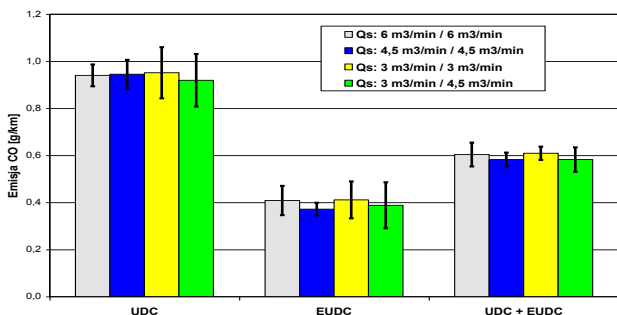
W wyniku analizy powyższych wyników zauważono wyraźny i pozytywny wpływ niższych wartości natężenia przepływu na zwiększenie różnicy pomiędzy stężeniami danych składników w spalinach rozcieńczonych i w powietrzu otoczenia. Dotyczy to zwłaszcza węglowodorów, w przypadku których natężenie przepływu 4,5 i 6 m<sup>3</sup>/min powoduje, że od 390 do 780 sekundy fazy UDC stężenie HC w spalinach rozcieńczonych jest niższe od stężenia w powietrzu otoczenia. Dopiero dla natężenia przepływu 3 m<sup>3</sup>/min stężenie HC w spalinach rozcieńczonych jest wyższe od stężenia w powietrzu otoczenia.

Na podstawie analizy stężenia CO<sub>2</sub> w spalinach rozcieńczonych stwierdzono duże prawdopodobieństwo skraplania w przypadku zastosowania dla fazy EUDC natężenia przepływu 3 m<sup>3</sup>/min (przez długi czas stężenie CO<sub>2</sub> w spalinach rozcieńczonych przekraczało graniczną wartość 3%).

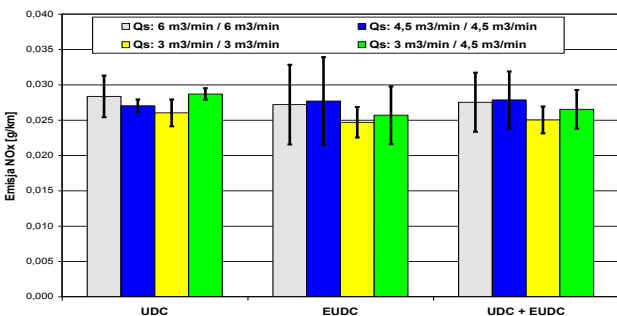
Średnie wartości oraz odchylenie standardowe wyników emisji poszczególnych składników podczas testu NEDC w zależności od natężenia przepływu spalin rozcieńczonych przedstawiono na rysunkach 12 do 15.



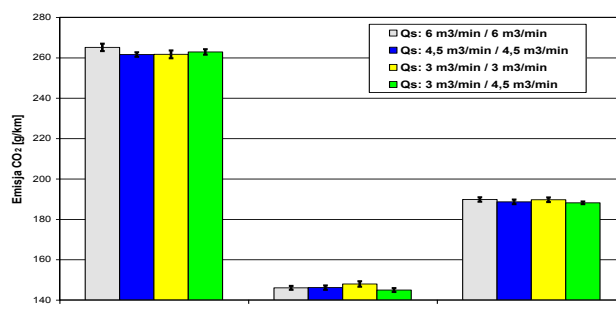
**Rys. 12.** Porównanie wyników emisji HC w teście NEDC dla różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych



**Rys. 13.** Porównanie wyników emisji CO w teście NEDC dla różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych



**Rys. 14.** Porównanie wyników emisji NOx w teście NEDC dla różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych



**Rys. 15.** Porównanie wyników emisji CO<sub>2</sub> w teście NEDC dla różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych

Na podstawie analizy powyższych rysunków zauważono dużą niestabilność wyników emisji HC w fazie UDC w przypadku testów z natężeniem przepływu wynoszącym 3 m<sup>3</sup>/min oraz dużą niestabilność wyników emisji NOx, niezależnie od natężenia przepływu.

W tabelach 1 do 4 przedstawiono przykładowe wartości współczynników rozcieńczenia w obu fazach (UDC i EUDC) oraz wpływ poszczególnych wartości natężeń przepływu na niepewność analizy fizykochemicznej i obliczeniowej. Zauważono, że zmiana natężenia przepływu z 6 do 3 m<sup>3</sup>/min powoduje spadek współczynnika DF z 17,87 do 9,24 w fazie UDC oraz z 9,92 do 4,87 w fazie EUDC. Powoduje to zwiększenie różnicy między stężeniami poszczególnych składników w workach ze spalinami rozcieńczonymi a powietrzem otoczenia (przez wzrost stężenia składników w spalinach rozcieńczonych, np. w przypadku HC z 20,2 do 38,2 ppm w fazie UDC). Konsekwencją zwiększenia tej różnicy jest zmniejszenie niepewności pomiarów, która (przykładowo) w przypadku emisji HC w fazie UDC zmniejszyła się z 8,3 do 5,0% dzięki zastosowaniu niższego współczynnika rozcieńczenia.

**Tab. 1.** Przykładowe wyniki wpływu różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych (różnych współczynników rozcieńczenia) na zwiększenie różnicy stężeń HC w worku pomiarowym spalin rozcieńczonych i powietrza otoczenia (zmniejszenie niepewności pomiaru)

Faza	Parametr	Natężenie przepływu spalin rozcieńczonych (Q <sub>s</sub> ) [m <sup>3</sup> /min]			
		6,0	4,5	3,0	
UDC	Współczynnik rozcieńczenia DF	-	17,87	13,62	9,24
	Stężenie w worku spalin rozcieńczonych [ppm]		20,2	27,0	38,5
	Stężenie w worku powietrza otoczenia [ppm]		2,8	2,5	3,2
	Emisja [mg/km]		207	217	208
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej [mg/km]		17	14	10
	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl. %		8,3	6,3	5,0
EUDC	Współczynnik rozcieńczenia DF	-	9,92	7,43	4,87
	Stężenie w worku spalin rozcieńczonych [ppm]		7,4	8,8	11,6
	Stężenie w worku powietrza otoczenia [ppm]		2,9	2,7	3,3
	Emisja [mg/km]		17	17	16
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej [mg/km]		5	4	3
	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl. %		32,0	23,4	16,4
NEDC	Emisja [mg/km]		87	90	86
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej [mg/km]		7	6	4
	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl. %		8,3	6,2	4,8

**Tab. 2.** Przykładowe wyniki wpływu różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych (różnych współczynników rozcieńczenia) na zwiększenie różnicy stężeń CO w worku pomiarowym spalin rozcieńczonych i powietrza otoczenia (zmniejszenie niepewności pomiaru)

Faza	Parametr	Natężenie przepływu spalin rozcieńczonych (Q <sub>s</sub> ) [m <sup>3</sup> /min]			
		6,0	4,5	3,0	
UDC	Współczynnik rozcieńczenia DF	-	17,87	13,62	9,24
	Stężenie w worku spalin rozcieńczonych	[ppm]	38,7	53,8	91,7
	Stężenie w worku powietrza otoczenia	[ppm]	1,3	0,2	1,8
	Emisja	[mg/km]	896	955	1063
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej	[mg/km]	98	75	57
	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl.	%	11,0	7,9	5,4
EUDC	Współczynnik rozcieńczenia DF	-	9,92	7,43	4,87
	Stężenie w worku spalin rozcieńczonych	[ppm]	52,2	70,3	93,8
	Stężenie w worku powietrza otoczenia	[ppm]	0,4	0,7	1,2
	Emisja	[mg/km]	367	366	326
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej	[mg/km]	29	23	17
	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl.	%	8,0	6,2	5,1
NEDC	Emisja	[mg/km]	562	582	597
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej	[mg/km]	41	31	23
	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl.	%	7,2	5,4	3,9

**Tab. 3.** Przykładowe wyniki wpływu różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych (różnych współczynników rozcieńczenia) na zwiększenie różnicy stężeń NO<sub>x</sub> w worku pomiarowym spalin rozcieńczonych i powietrza otoczenia (zmniejszenie niepewności pomiaru)

Faza	Parametr	Natężenie przepływu spalin rozcieńczonych (Q <sub>s</sub> ) [m <sup>3</sup> /min]			
		6,0	4,5	3,0	
UDC	Współczynnik rozcieńczenia DF	-	17,87	13,62	9,24
	Stężenie w worku spalin rozcieńczonych	[ppm]	0,94	0,98	1,36
	Stężenie w worku powietrza otoczenia	[ppm]	0,03	0,02	0,02
	Emisja	[mg/km]	33	26	24
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej	[mg/km]	9	7	4
	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl.	%	27,2	25,7	18,1
EUDC	Współczynnik rozcieńczenia DF	-	9,92	7,43	4,87
	Stężenie w worku spalin rozcieńczonych	[ppm]	3,24	4,19	4,78
	Stężenie w worku powietrza otoczenia	[ppm]	0,03	0,01	0,02
	Emisja	[mg/km]	35	34	25
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej	[mg/km]	3	2	1
	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl.	%	7,9	6,2	5,5
NEDC	Emisja	[mg/km]	34	31	25
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej	[mg/km]	4	3	2
	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl.	%	11,0	9,1	7,3

**Tab. 4.** Przykładowe wyniki wpływu różnych natężeń przepływu spalin rozcieńczonych (różnych współczynników rozcieńczenia) na zwiększenie różnicy stężeń CO<sub>2</sub> w worku pomiarowym spalin rozcieńczonych i powietrza otoczenia (zmniejszenie niepewności pomiaru)

Faza	Parametr	Natężenie przepływu spalin rozcieńczonych (Q <sub>s</sub> ) [m <sup>3</sup> /min]			
		6,0	4,5	3,0	
UDC	Współczynnik rozcieńczenia DF	-	17,87	13,62	9,24
	Stężenie w worku spalin rozcieńczonych	[ppm]	0,744	0,975	1,437
	Stężenie w worku powietrza otoczenia	[ppm]	0,044	0,043	0,044
	Emisja	[g/km]	263,8	261,6	259,2
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej	[g/km]	10,5	8,1	9,9
	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl.	%	4,0	3,1	3,8
EUDC	Współczynnik rozcieńczenia DF	-	9,92	7,43	4,87
	Stężenie w worku spalin rozcieńczonych	[ppm]	1,345	1,796	2,741
	Stężenie w worku powietrza otoczenia	[ppm]	0,044	0,043	0,053
	Emisja	[g/km]	145,3	145,2	148,7
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej	[g/km]	8,5	6,3	4,6

	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl.	%	5,8	4,3	3,1
NEDC	Emisja	[g/km]	188,9	187,9	189,3
	Niepewność analizy fizykochem. i obliczeniowej	[g/km]	6,6	5,0	4,7
	Względna niepewność analizy fizykochem. i obl.	%	3,5	2,6	2,5

W tabelach 5-8 przedstawiono zestawienie parametrów pozwalających na określenie wpływu różnych wartości natężeń przepływu na całkowitą niepewność pomiarów emisji związków szkodliwych w spalinach. W niniejszym artykule rozpatrywano wąski przedział natężenia przepływu: 3-6 m<sup>3</sup>/min, stąd największa różnica między obliczonymi niepewnościami wynosi 7,1% (dla NO<sub>x</sub>). Wynika to ze wstępnego doboru optymalnej wartości natężenia przepływu (6 m<sup>3</sup>/min). Stosowany w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL wieloprzepływowy system CVS pozwala na zmianę wartości natężenia przepływu od 1,5-22,5 m<sup>3</sup>/min. Dla wyższych od 6 m<sup>3</sup>/min wartości natężenia przepływu należy spodziewać się odpowiednio wyższych wartości niepewności pomiarów emisji.

**Tab. 5.** Zestawienie wyników analizy wpływu DF na niepewność pomiaru emisji HC w całym teście NEDC

Lp.	Parametr	Natężenie przepływu spalin rozcieńczonych (Q <sub>s</sub> ) [m <sup>3</sup> /min]			
		6,0	4,5	3,0	
1	Średnia emisja ze wszystkich testów	[mg/km]	89		
2	Średnia emisja dla poszczególnych natężeń przepływu	[mg/km]	91	90	86
3	Niepewność analizy fizykochemicznej i obliczeniowej	[mg/km]	7	6	4
4	Niepewność standardowa typu A	[mg/km]	1	3	2
5	Całkowita niepewność pomiaru emisji dla poszczególnych natężeń przepływu	[mg/km]	7	7	4
6	Różnica między średnimi z pozycji 1 i 2	[mg/km]	2	1	3
7	Całkowita niepewność po uwzględnieniu pozycji 5 i 6	[mg/km]	7,2	6,9	4,7
8	Względna niepewność pomiaru emisji	[%]	8,1	7,8	5,3

**Tab. 6.** Zestawienie wyników analizy wpływu DF na niepewność pomiaru emisji CO w całym teście NEDC

Lp.	Parametr	Natężenie przepływu spalin rozcieńczonych (Q <sub>s</sub> ) [m <sup>3</sup> /min]			
		6,0	4,5	3,0	
1	Średnia emisja ze wszystkich testów	[mg/km]	598		
2	Średnia emisja dla poszczególnych natężeń przepływu	[mg/km]	604	582	609
3	Niepewność analizy fizykochemicznej i obliczeniowej	[mg/km]	41	31	23
4	Niepewność standardowa typu A	[mg/km]	21	12	11
5	Całkowita niepewność pomiaru emisji dla poszczególnych natężeń przepływu	[mg/km]	46	33	26
6	Różnica między średnimi z pozycji 1 i 2	[mg/km]	6	16	11
7	Całkowita niepewność po uwzględnieniu pozycji 5 i 6	[mg/km]	46	35	27
8	Względna niepewność pomiaru emisji	[%]	7,7	5,9	4,5

**Tab. 7.** Zestawienie wyników analizy wpływu DF na niepewność pomiaru emisji NO<sub>x</sub> w całym teście NEDC

Lp.	Parametr	Natężenie przepływu spalin rozcieńczonych (Q <sub>s</sub> ) [m <sup>3</sup> /min]			
		6,0	4,5	3,0	
1	Średnia emisja ze wszystkich testów	[mg/km]	27		
2	Średnia emisja dla poszczególnych natężeń przepływu	[mg/km]	28	28	25
3	Niepewność analizy fizykochemicznej i obliczeniowej	[mg/km]	4	3	2
4	Niepewność standardowa typu A	[mg/km]	2	2	1
5	Całkowita niepewność pomiaru emisji dla poszczególnych natężeń przepływu	[mg/km]	4	3	2
6	Różnica między średnimi z pozycji 1 i 2	[mg/km]	1	1	2
7	Całkowita niepewność po uwzględnieniu pozycji 5 i 6	[mg/km]	4,4	3,5	2,5
8	Względna niepewność pomiaru emisji	[%]	16,4	13,1	9,3

**Tab. 8.** Zestawienie wyników analizy wpływu DF na niepewność pomiaru emisji CO<sub>2</sub> w całym teście NEDC

Lp.	Parametr	Jednostka	Natężenie przepływu spalin rozcieńczonych (Q <sub>s</sub> ) [m <sup>3</sup> /min]		
			6,0	4,5	3,0
1	Średnia emisja ze wszystkich testów	[g/km]	189,3		
2	Średnia emisja dla poszczególnych natężeń przepływu	[g/km]	189,7	188,6	189,6
3	Niepewność analizy fizykochemicznej i obliczeniowej	[g/km]	6,6	5,0	4,7
4	Niepewność standardowa typu A	[g/km]	0,5	0,5	0,5
5	Całkowita niepewność pomiaru emisji dla poszczególnych natężeń przepływu	[g/km]	6,6	5,0	4,7
6	Różnica między średnimi z pozycji 1 i 2	[g/km]	0,4	0,7	0,3
7	Całkowita niepewność po uwzględnieniu pozycji 5 i 6	[g/km]	6,6	5,0	4,7
8	Względna niepewność pomiaru emisji	[%]	3,5	2,7	2,5

## PODSUMOWANIE

Układ CVS służący do poboru i rozcieńczania spalin jest jednym z najważniejszych urządzeń wykorzystywanych w pomiarach emisji toksycznych związków spalin podczas testów wykonywanych na hamowni podwoziowej. Bezpośrednio wpływa on na niepewność próbki spalin rozcieńczonych zebranej do worków pomiarowych. Co więcej, różnica stężeń pomiędzy zawartością analizowanego składnika w worku spalin rozcieńczonych, a jego zawartością w worku zawierającym powietrze otoczenia ma znaczący wpływ na dokładność wykonywanych pomiarów. Z uwagi na to, stosuje się najniższe dopuszczalne współczynniki rozcieńczania spalin, co z kolei wymusza konieczność izolowania i ogrzewania poszczególnych elementów układu.

Na podstawie przedstawionych w artykule analiz należy zwrócić uwagę, że:

- istnieje wyraźny wpływ niższych wartości natężenia przepływu na zwiększenie różnicy pomiędzy stężeniami danych składników w spalinach rozcieńczonych i w powietrzu otoczenia,
- konsekwencją zwiększenia różnicy pomiędzy stężeniami danych składników w spalinach rozcieńczonych i w powietrzu otoczenia jest zmniejszenie niepewności pomiarów, która dla jednego z mierzonych składników zmniejszyła się z 11 do 7,3%,
- istnieje prawdopodobieństwo skraplania w przypadku zastosowania dla fazy EUDC testu NEDC niskiego natężenia przepływu (dla badanego samochodu to 3 m<sup>3</sup>/min),
- uzyskane wartości niepewności pomiarów odnoszą się do badanych natężeń przepływu. Dla wyższych od 6 m<sup>3</sup>/min wartości natężenia przepływu należy spodziewać się odpowiednio wyższych wartości niepewności pomiarów emisji,
- w celu dalszego zwiększenia dokładności pomiarów należałoby wprowadzić stały stopień rozcieńczenia spalin DR, oraz proporcjonalne do natężenia przepływu spalin z układu wydechowego napełnianie worków pomiarowych próbką rozcieńczonych spalin.

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 Instytutu Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL.
4. UNECE, Regulation No. 83, 2015. Dostępny online: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R083r5e.pdf>, dostęp Luty 2015.
5. Commission Regulation (EU) 2017/1151 of 1 June 2017 supplementing Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council on type-approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information, amending Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council, Commission Regulation (EC) No 692/2008 and Commission Regulation (EU) No 1230/2012 and repealing Commission Regulation (EC) No 692/2008 (Text with EEA relevance), Official Journal of the European Union, L 175/1, 7.7.2017. Dostępny online: <http://data.europa.eu/eli/reg/2017/1151/oj>, dostęp March 2018.
6. Sherman M., Lennon K., Chase R., *Error Analysis of Various Sampling Systems.* SAE Paper 2001-01-0209, 2001.
7. Silvis W., Chase R., *Proportional Ambient Sampling: A CVS Improvement for ULEV and Lean Engine Operation.* SAE Paper 1999-01-0154, 1999.
8. Silvis W., Harvey R., Dageforde A., *A CFV Type Mini-dilution Sampling System for Vehicle Exhaust Emissions Measurement.* SAE Paper 1999-01-0151, 1999.
9. Materiały firmy AVL.

### Influence of the dilution factor on the uncertainty of the exhaust gas emission results obtained during testing on the chassis dynamometer

*Exhaust emission measurements on the chassis dynamometer are one of the most important and most complex tests which are performed on vehicles powered by combustion engines. The sample and dilution system (CVS - Constant Volume Sampling) belongs to the most important parts of the exhaust emission laboratory, and has a large impact on the accuracy of the results obtained. In this paper, the influence of the dilution factor (i.e. parameter changed by means of the CVS system, depending on the emission level and engine displacement of the test vehicle) on the uncertainty of the exhaust gas emission results is analysed.*

Autorzy:

dr inż. **Andrzej Szczotka** – kierownik Pracowni Badań Toksyczności Spalin w Zakładzie Badań Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej

mgr inż. **Bartosz Puchałka** – starszy referent ds. badań w Pracowni Badań Toksyczności Spalin w Zakładzie Badań Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej

dr inż. **Piotr Bielaczyc** – kierownik Zakładu Badań Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej

mgr inż. **Borys Adamiak** – starszy referent ds. badań w Pracowni Badań Toksyczności Spalin w Zakładzie Badań Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej

**JEL:** L62 **DOI:** 10.24136/atest.2018.166

**Data zgłoszenia:** 2018.05.24 **Data akceptacji:** 2018.06.15