

**Slawomir Taubert**

Instytut Transportu Samochodowego

## **METODYKA BADANIA EMISJI Z UKŁADU ZASILANIA PALIWEM W RZECZYWISTYCH WARUNKACH EKSPLOATACJI**

Znajomość emisji zanieczyszczeń z transportu, w tym z pojazdów samochodowych, jest potrzebna w celu oceny zmniejszenia emisji zanieczyszczeń niezbędnego do spełnienia wymagań norm czystości powietrza, sporządzania ocen oddziaływania na środowisko inwestycji w zakresie ochrony środowiska i transportu, czy też oceny skuteczności podejmowanych w kraju działań dotyczących ograniczenia zanieczyszczenia środowiska przez transport. Do przeprowadzania takich ocen niezbędna jest znajomość wskaźników emisji. Jednym ze źródeł emisji zanieczyszczeń z pojazdów jest układ zasilania paliwem. Emisja z układu zasilania jest umownie dzielona na trzy rodzaje:

- powstającą w wyniku dobowej zmiany temperatury otoczenia,
- powstającą po zatrzymaniu częściowo lub całkowicie nagrzanego silnika samochodu,
- powstającą podczas jazdy.

W stosowanych metodykach CORINAIR i MEET emisja z układu zasilania wyznaczana jest jako suma określonej w oddzielnych, niezależnych testach emisji powstającej w w/wym. warunkach. Metoda ta jest słuszna tylko w przypadku nieużywania pojazdu w ciągu doby. W pozostałych przypadkach stosowanie tej metody prowadzi do zawyżania wartości emisji z układu zasilania w rzeczywistych warunkach eksploatacji. W artykule porównano wyniki badań emisji z układu zasilania w rzeczywistych warunkach eksploatacji otrzymane za pomocą metodyk zalecanych przez CORINAIR i MEET oraz metodyką opracowaną w ITS.

## **METHODOLOGY OF TESTING EMISSIONS FROM THE FUEL SUPPLY SYSTEM IN THE REAL OPERATING CONDITIONS**

*The knowledge about the emissions from the transport, including motor vehicles, is needed to evaluate the emission reductions necessary to meet the requirements of air quality standards, preparation of environmental impact assessments of the investments into environmental protection and transport, or to evaluate the effectiveness of the country's actions to reduce environmental pollution from transport. To conduct such assessments it is necessary to know the emission indicators. One of the sources of emissions from vehicles is the fuel supply system. Emissions from the fuel supply are, by convention, divided into three types:*

- formed due to daily changes in ambient temperature,*
- arising after stopping, partially or fully, warmed-up car engine*
- produced during driving.*

*In the CORINAIR and MEET methodologies used, the emission from the fuel supply system is determined as the sum of the, specified in separate independent tests, emissions occurring in the aforementioned conditions. This method is correct only in the case of the vehicle not being used in 24 hours. In other cases, the use of this method leads to an overstatement of the value of the emissions from the fuel supply system under real operating conditions. The article compares the results of the emissions tests from the fuel supply system under real operating conditions obtained using the methodology recommended by the CORINAIR and MEET and methodology developed at ITS.*

## 1. Wprowadzenie

Prace dotyczące emisji zanieczyszczeń z układu zasilania zostały podjęte w latach sześćdziesiątych XX wieku w ramach przygotowywania do wprowadzenia przepisów dotyczących dopuszczalnej emisji z silników samochodowych. Pierwsza kompleksowa metodyka określania emisji z układu zasilania została natomiast opracowana w połowie lat osiemdziesiątych w związku z decyzją EWG 85/338/EEC ustalenia bazy danych o emisji zanieczyszczeń w krajach EWG, w tym między innymi z transportu drogowego. W wyniku tej decyzji został zrealizowany projekt CORINAIR 1988 [1]. Zgodnie z opracowaną metodyką pary paliwa zostały zaliczone do grupy zanieczyszczeń nazwanych umownie „lotne związki organiczne” (VOC). Metodyka ta dotyczyła wyłącznie pojazdów z silnikami o zapłonie iskrowym (ZI) zasilanymi benzyną.

Metodyka CORINAIR była stopniowo rozwijana, m.in. w ramach następnych faz projektu CORINAIR [2], projektów COPERT [3], MEET [4] i prac szwajcarsko-niemieckich [5], [6].

W metodykach CORINAIR i MEET emisja z układu zasilania określana jest jako suma określonej w oddzielnych, niezależnych testach emisji powstającej:

- w wyniku dobowej zmiany temperatury otoczenia,
- po zatrzymaniu częściowo lub całkowicie nagrzanego silnika samochodu,
- podczas jazdy.

Emisja ta określona jest zależnością (1).

$$e = e^d + e^s + m_d \cdot e^r \quad (1)$$

gdzie:

$e$  [g/doba] – emisja dobową,

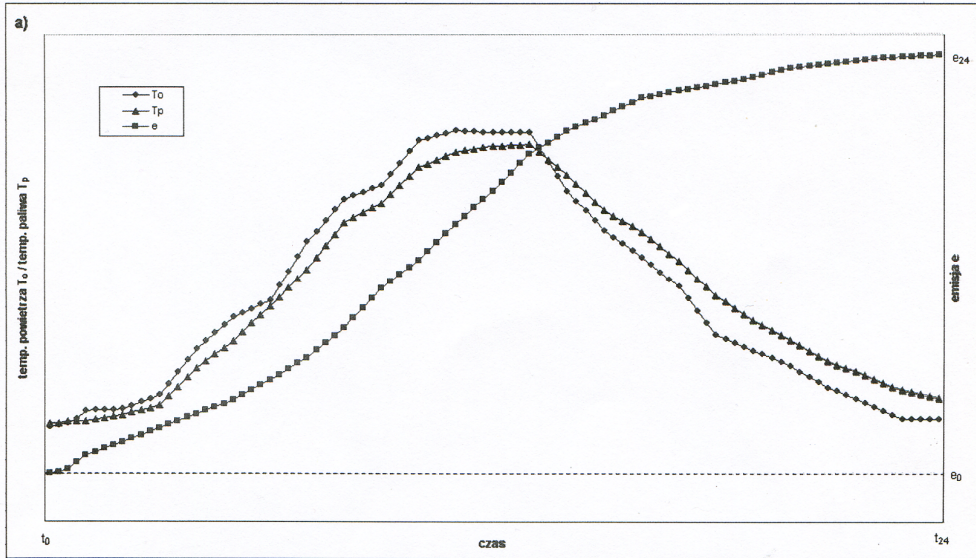
$e^d$  [g/test] – emisja w teście symulującym warunki występujące podczas dobowej zmiany temperatury,

$e^s$  [g/test] – emisja w teście symulującym warunki występujące po zatrzymaniu silnika,

$e^r$  [g/km] – emisja podczas jazdy na jeden kilometr przebiegu,

$m_d$  [km/doba] – dobowy przebieg pojazdu.

Wyżej opisaną metodę określania emisji dobowej z układu zasilania nazwano metodą A. W metodzie tej przyjmuje się założenie, że ww. trzy rodzaje emisji mogą być rozpatrywane niezależnie, natomiast wskaźnik emisji w wyniku dobowej zmiany temperatury jest określany na podstawie wyników badań w całym teście 24-godzinnym symulującym tę zmianę. Z doświadczeń zebranych podczas badań prowadzonych w ITS wynika, że takie podejście jest właściwe tylko w przypadku, gdy pojazd nie jest używany przez całą dobę. Natomiast, jeśli jest on używany, warunki występujące w rzeczywistej eksploatacji nie są odtwarzane. Na rys. 1 przedstawiono przykładowy dobowy przebieg zmian temperatury otoczenia, temperatury paliwa i emisji par paliwa  $e$  w przypadku, gdy pojazd nie jest używany przez całą dobę.



Rys. 1. Dobowy przebieg zmian temperatury otoczenia  $T_o$ , temperatury paliwa  $T_p$  i emisji par paliwa  $e$  w przypadku, gdy pojazd nie jest używany przez całą dobę [7]

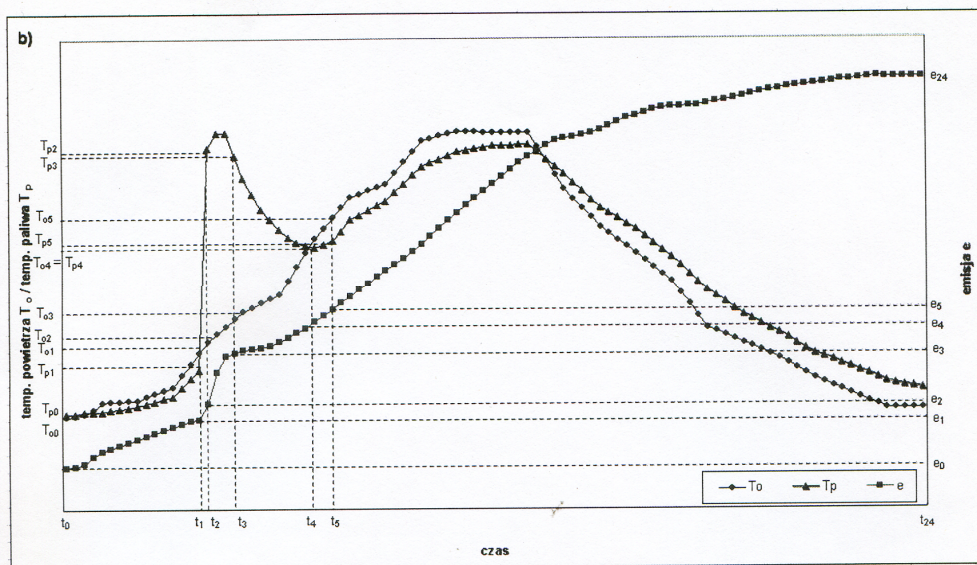
Fig. 1. Diurnal course of the ambient temperature changes  $T_o$ , the fuel temperature  $T_p$  and fuel vapours emission in the case when the vehicle is not used for 24 hours [7]

## 2. Cykl zmian temperatury paliwa w zbiorniku w rzeczywistych warunkach eksploatacji

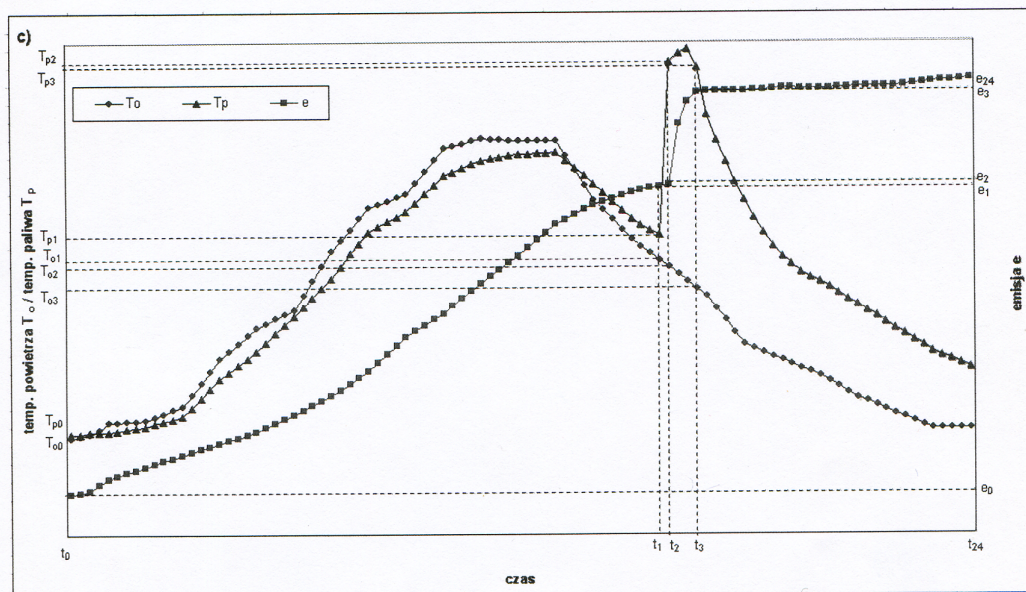
Zakładając, że samochód jest używany w ciągu dnia jednokrotnie, można wyróżnić dwa przypadki:

- gdy pojazd jest używany podczas zwiększania się temperatury otoczenia (rys. 2),
- gdy pojazd jest używany podczas zmniejszania się temperatury otoczenia (rys. 3).

Cykl dobowy zaczyna się w czasie  $t_0$  (0 h). Emisja par paliwa  $e_0$  jest równa 0. Koniec cyklu dobowego  $t_{24}$  następuje po 24 h. Emisja w ciągu doby jest równa  $e_{24}-e_0$ . W przypadku przedstawionym na rys. 2 samochód jest uruchamiany w chwili  $t_1$ , której odpowiadają odpowiednio temperatury otoczenia  $T_{o1}$  i paliwa  $T_{p1}$ . Podczas jazdy następuje stosunkowo szybkie zwiększanie się temperatury paliwa. Odbiega ona od wartości, które występowałyby, gdyby pojazd nie był uruchomiony. Zatrzymanie silnika następuje w czasie  $t_2$ . W tych warunkach temperatury otoczenia i paliwa wynoszą odpowiednio  $T_{o2}$  i  $T_{p2}$ . Po zatrzymaniu następuje okres 1 h, który odpowiada występującemu w teście emisji po zatrzymaniu silnika. W końcu tego okresu współrzędne wynoszą odpowiednio  $t_3$ ,  $T_{o3}$  i  $T_{p3}$ . Dalej następuje okres stopniowego zmniejszania temperatury paliwa w zbiorniku, który trwa dotąd, aż jego temperatura nie zrówna się z temperaturą otoczenia ( $t_4$ ). Następnie temperatura zaczyna zwiększać się i zrównuje się w czasie ( $t_5$ ) z wartością, która by wystąpiła, gdyby pojazd nie był używany.



Rys. 2. Dobowy przebieg zmian temperatury otoczenia  $T_o$ , temperatury paliwa  $T_p$  i emisji par paliwa  $e$  w przypadku, gdy jazda odbywa się podczas zwiększania się temperatury otoczenia [8]  
 Fig. 2. Diurnal course of the ambient temperature changes  $T_o$  the fuel temperature  $T_p$  and fuel vapours emission in the case where the driving takes place during the ambient temperature increasing [8]



Rys. 3. Dobowy przebieg zmian temperatury otoczenia  $T_o$ , temperatury paliwa  $T_p$  i emisji par paliwa  $e$  w przypadku, gdy jazda odbywa się podczas zmniejszania się temperatury otoczenia [8]  
 Fig. 3. Diurnal course of the ambient temperature changes  $T_o$  the fuel temperature  $T_p$  and fuel vapours emission in the case where the driving takes place during the ambient temperature decreasing [8]

W przebiegu zmian przedstawionym na rys. 2 można wyróżnić następujące fazy:

- I – fazę od  $t_0$  do  $t_1$ , z której emisja jest ujęta w emisji określonej w teście dobowej zmiany temperatury,
- II – fazę jazdy (od  $t_1$  do  $t_2$ ), z której emisja jest ujęta w emisji określonej w teście podczas jazdy,
- III – fazę 1 h po zatrzymaniu silnika (od  $t_2$  do  $t_3$ ), z której emisja jest ujęta w emisji określonej w teście po zatrzymaniu silnika,
- IV – fazę zmniejszania się temperatury paliwa w zbiorniku (od  $t_3$  do  $t_5$ ), podczas której emisja nie występuje lub jest bardzo nieznaczna,
- V – fazę zaczynającą się od chwili  $t_5$ , z której emisja jest ujęta w emisji określonej w teście dobowej zmiany temperatury.

Jeśli samochód używany jest w czasie zwiększania się temperatury otoczenia (rys. 2), test przy dobowych zmianach temperatury zawiera więc emisję, która jest już uwzględniona w pozostałych testach (fazy II, III i IV). Wartość emisji określona metodą, w której sumuje się wszystkie trzy rodzaje emisji, jest więc znacznie większa niż występująca w rzeczywistych warunkach eksploatacji.

Gdy pojazd jest użytkowany w czasie zmniejszania się temperatury otoczenia, temperatura paliwa zrównuje się z nią zazwyczaj dopiero w następnym cyklu dobowym, gdy temperatura otoczenia zaczyna się zwiększać. Zmiana temperatury paliwa jest stosunkowo szybka, w związku z tym emisja w czasie od  $t_3$  do  $t_4$  jest niewielka lub w ogóle nie występuje. W takim przypadku zawyżenie emisji nie występuje lub jest małe (rys. 3).

W skrajnym przypadku, jeśli wykonuje się kilka jazd lub też jedną jazdę o długim przebiegu, emisja par paliwa w wyniku dobowych zmian temperatury może w ogóle nie wystąpić.

### **3. Metodyka badania emisji z układu zasilania w rzeczywistych warunkach eksploatacji**

Najwłaściwszą metodą określania emisji z układu zasilania w rzeczywistych warunkach eksploatacji, gdy pojazd jest używany, byłoby odwzorowanie w komorze SHED całego cyklu pracy przedstawionego na rys. 2 i 3, tj.:

- nagrzewanie samochodu z wyłączonym silnikiem w czasie od  $t_0$  do  $t_1$ ; w tym czasie temperatura w komorze powinna zmieniać się według cyklu teoretycznego od  $T_0$  do  $T_1$ ,
- uruchomienie silnika i jazda w ustalonym cyklu w czasie od  $t_1$  do  $t_2$ ; w tym czasie temperatura w komorze powinna zmieniać się według cyklu teoretycznego od  $T_1$  do  $T_2$ ,
- zatrzymanie silnika (w chwili  $t_2$ ); zmiana temperatury w komorze według cyklu teoretycznego aż do jego zakończenia.

Aby zrealizować taki cykl pracy niezbędna jest komora SHED stosowana do pomiaru emisji z układu zasilania podczas jazdy pojazdem. Analiza wykazała, że realizacja całego cyklu, włącznie z jazdą, nie jest jednak niezbędna. Można z niego wyłączyć fazę jazdy. Istotne znaczenie ma natomiast to, by w komorze były symulowane warunki występujące po zatrzymaniu silnika i podczas dobowych zmian temperatury. W takim przypadku przebieg określania emisji jest następujący (rys. 2):

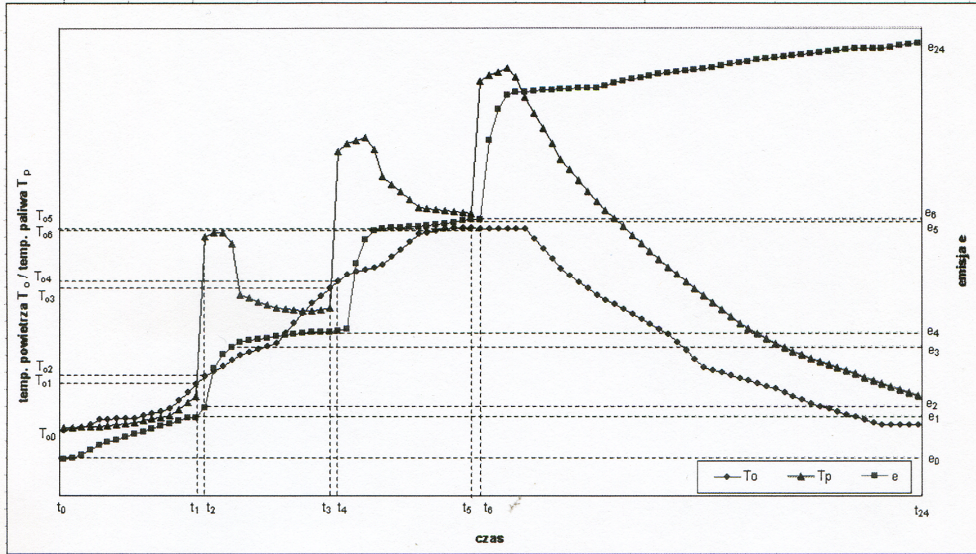
- faza 1 – pojazd w komorze w czasie od  $t_0$  do  $t_1$ ; zmiana temperatury otoczenia w komorze od  $T_0$  do  $T_1$ ; pomiar emisji par paliwa ( $e_1 - e_0$ ); temperatura otoczenia w komorze zmienia się według cyklu teoretycznego,

- faza 2 – wyprowadzenie pojazdu z komory i realizacja cyklu jazdy na hamowni podwoziowej; temperatura otoczenia w pomieszczeniu laboratorium powinna wynosić  $T_{01}$ ,
- faza 3 – wprowadzenie pojazdu do komory w chwili  $t_2$ ; temperatura otoczenia w komorze powinna wynosić  $T_{02}$ ; zmiana temperatury otoczenia według cyklu teoretycznego w czasie  $t_2$  aż do jego zakończenia ( $t_{24}$ ); określenie emisji w fazie od  $t_2$  do  $t_{24}$  ( $e_{24} - e_2$ ),
- faza 4 – obliczenie emisji podczas jazdy dla temperatury otoczenia  $T_{01}$ .

Taki sposób postępowania w celu określenia dobowej emisji z układu zasilania nazwano metodą B.

Rysunki 2 i 3 dotyczą przypadków, w którym następuje jedna jazda w ciągu doby. Jeśli liczba jazd jest większa, zwiększa się również liczba faz w teście. Na rys. 4 jest przedstawiony przypadek, w którym liczba jazd w ciągu doby wynosi 3. Przebieg określania emisji jest wtedy następujący:

- faza 1 – pojazd w komorze w czasie od  $t_0$  do  $t_1$ ; zmiana temperatury otoczenia w komorze według cyklu teoretycznego od  $T_{00}$  do  $T_{01}$ ; określenie emisji w fazie od  $t_0$  do  $t_1$  równej różnicy emisji  $e_1$  i  $e_0$  zmierzonych odpowiednio w chwilach  $t_1$  i  $t_0$ ,
- faza 2 – wyprowadzenie pojazdu z komory i realizacja cyklu jazdy na hamowni podwoziowej; temperatura otoczenia w pomieszczeniu laboratorium powinna wynosić  $T_{01}$ ,
- faza 3 – wprowadzenie pojazdu do komory w chwili  $t_2$ ; temperatura otoczenia w komorze powinna wynosić  $T_{02}$ ; zmiana temperatury otoczenia według cyklu teoretycznego od  $T_{02}$  do  $T_{03}$  w czasie  $t_2$  do  $t_3$ ; określenie emisji w fazie od  $t_2$  do  $t_3$  równej różnicy emisji  $e_3$  i  $e_2$  zmierzonych odpowiednio w chwilach  $t_3$  i  $t_2$ ,
- faza 4 – wyprowadzenie pojazdu z komory w chwili  $t_3$  i realizacja cyklu jazdy na hamowni podwoziowej; temperatura otoczenia w pomieszczeniu laboratorium powinna wynosić  $T_{03}$ ,
- faza 5 – wprowadzenie pojazdu do komory w chwili  $t_4$ ; temperatura otoczenia w komorze powinna wynosić  $T_{04}$ ; zmiana temperatury otoczenia według cyklu teoretycznego od  $T_{04}$  do  $T_{05}$  w czasie  $t_4$  do  $t_5$ ; określenie emisji w fazie od  $t_4$  do  $t_5$  równej różnicy emisji  $e_5$  i  $e_4$  zmierzonych odpowiednio w chwilach  $t_5$  i  $t_4$ ,
- faza 6 – wyprowadzenie pojazdu z komory w chwili  $t_5$  i realizacja cyklu jazdy na hamowni podwoziowej; temperatura otoczenia w pomieszczeniu laboratorium powinna wynosić  $T_{05}$ ,
- faza 7 – wprowadzenie pojazdu do komory w chwili  $t_6$ ; temperatura otoczenia w komorze powinna wynosić  $T_{06}$ ; zmiana temperatury otoczenia według cyklu teoretycznego od  $t_6$  do jego zakończenia w chwili  $t_{24}$ ; określenie emisji w fazie od  $t_6$  do  $t_{24}$  równej różnicy emisji  $e_{24}$  i  $e_6$  zmierzonych odpowiednio w chwilach  $t_{24}$  i  $t_6$ ,
- faza 8 – obliczenie emisji podczas jazdy dla temperatur otoczenia  $T_{01}$ ,  $T_{03}$ ,  $T_{05}$ .



Rys. 4. Dobowy przebieg zmian temperatury otoczenia  $T_o$ , temperatury paliwa  $T_p$  i emisji par paliwa  $e$  w przypadku, gdy liczba jazd jest równa 3 [7]

Fig. 4. Diurnal course of the ambient temperature changes  $T_o$ , the fuel temperature  $T_p$  and fuel vapours emission in the case when the number of driving trips is equal to 3 [7]

Pomiary emisji wyżej opisaną metodą są bardzo pracochłonne i kosztowne. Pracochłonność testów w celu określenia emisji z układu zasilania w rzeczywistych warunkach ruchu według tej metody jest około trzy razy większa niż w przypadku metody A. Z tego względu metoda B nie jest przydatna do wyznaczania wskaźników emisji w ramach inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń z pojazdów. W związku z tym sprawdzono możliwość stosowania uproszczonej metody B, w której określenie emisji z układu zasilania następowaloby częściowo na drodze obliczeniowej. W takim przypadku przebieg określania emisji byłby następujący:

- a) wykonanie w danym cyklu pomiaru emisji w wyniku dobowej zmiany temperatury, przy czym rejestruje się w sposób ciągły lub okresowy:
  - stężenie węglowodorów w komorze i na tej podstawie określa przebieg emisji w funkcji czasu,
  - temperaturę powietrza w komorze i paliwa w zbiorniku samochodu,
- b) wykonanie pomiaru emisji po zatrzymaniu silnika, przy czym rejestruje się w sposób okresowy temperaturę paliwa w zbiorniku samochodu i temperatury otoczenia w komorze; określa się czas zmiany temperatury paliwa w funkcji różnicy temperatur paliwa i otoczenia,
- c) obliczenie czasu liczonego od chwili zatrzymania silnika, po którym nastąpi zrównanie temperatury paliwa w zbiorniku i temperatury otoczenia,
- d) obliczenie na podstawie wyników z a) wartości części emisji w wyniku dobowej zmiany temperatury, która powstaje podczas jazdy samochodu (w czasie od  $t_1$  do  $t_2$  na rys. 2),
- e) obliczenie na podstawie a) i c) wartości tej części emisji w wyniku dobowej zmiany temperatury, która powstaje w okresie między zatrzymaniem silnika a zrównaniem temperatur paliwa i otoczenia (w czasie od  $t_2$  do  $t_4$  na rys. 2).

Wartość emisji dobowej określa się na podstawie wzoru:

$$e = e_c - \sum_n e_1 - \sum_n e_2 + \sum_n e^s + m_d \cdot e^r \quad (2)$$

Przyjęte oznaczenia:

$e$  [g/doba] – emisja dobowa z układu zasilania,

$e_c$  [g/cykl] – emisja w całym 24-godzinnym cyklu,

$e_1$  [g/cykl] – część emisji w wyniku dobowej zmiany temperatury, która powstaje podczas jazdy samochodu (w czasie od  $t_1$  do  $t_2$  na rys. 2),

$e_2$  [g/cykl] – część emisji w wyniku dobowej zmiany temperatury, która powstaje w okresie między zatrzymaniem silnika a zrównaniem temperatur paliwa i otoczenia (w czasie od  $t_2$  do  $t_4$  na rys. 2),

$e^s$  [g/test] – emisja po zatrzymaniu silnika,

$m_d$  [km] – przebieg dobowy samochodu,

$e^r$  [g/km] – emisja jednostkowa z układu zasilania podczas jazdy,

$n$  – liczba jazd / zatrzymań silnika.

#### 4. Wyposażenie pomiarowe stosowane do badań

Do pomiarów emisji z układu zasilania wykorzystano zmodernizowaną komorę SHED firmy AVL z systemem sterowania i rejestracji firmy Kalt-Rav, składającą się z:

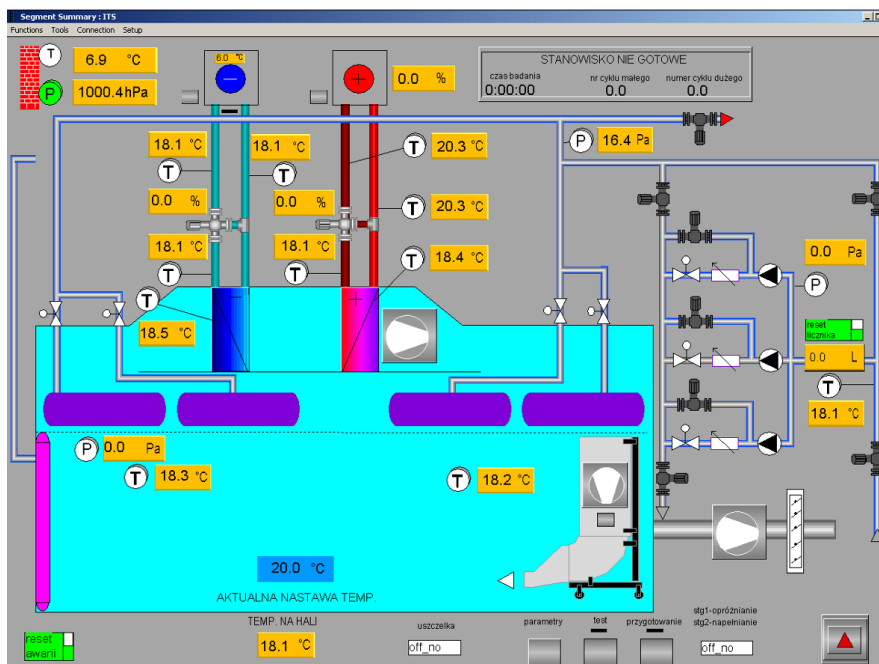
- komory (rys. 5),
- szafy z urządzeniami wykonawczymi (pompy, zawory) i pomiarowymi (temperatura, ciśnienie i objętość),
- komputerowego systemu sterującego odpowiedzialnego za:
  - utrzymywanie zadanego przebiegu temperatury powietrza w komorze,
  - utrzymywanie na wymaganym poziomie różnicy ciśnień między komorą a otoczeniem poprzez zmianę objętości worków kompensacyjnych,
  - rejestrację ww. parametrów,
- agregatu chłodniczego firmy KKT Kraus oraz układu grzewczego.

Komora SHED posiada system utrzymywania zadanej temperatury powietrza w komorze sterowany komputerowo. Pozwala on na odtworzenie dowolnego przebiegu temperatury w funkcji czasu. System ten kontroluje również ciśnienie w komorze. Sygnał z czujnika różnicowego ciśnienia jest wykorzystywany do sterowania zespołem zaworów i pomp (rys. 6), które wypompowują lub dopompowują powietrze z worków kompensacyjnych w ten sposób, aby zminimalizować różnicę ciśnień między komorą a otoczeniem.





Rys. 5. Komora SHED wraz z widocznymi workami kompensacyjnymi  
*Fig. 5. SHED chamber with the visible compensation bags*

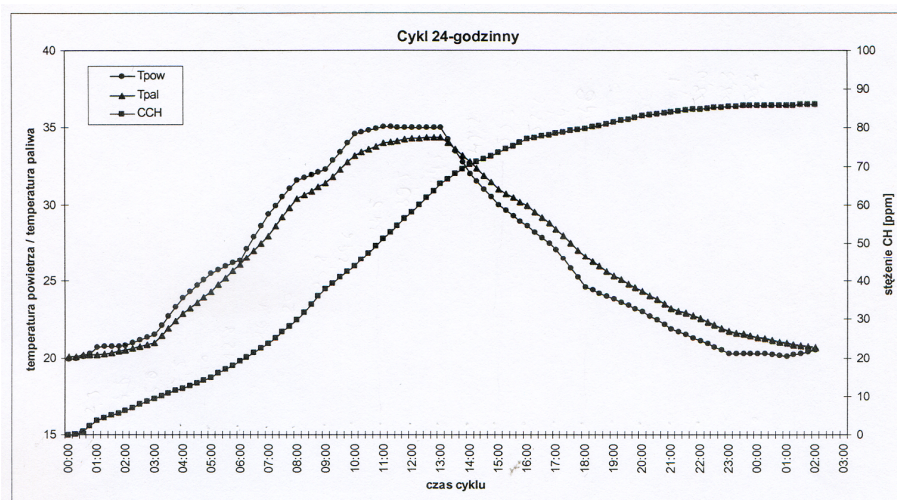


Rys. 6. Schemat układu do utrzymywania na wymaganym poziomie różnicy ciśnień między komorą a otoczeniem  
*Fig. 6. The diagram of the system to maintain the pressure difference between the chamber and the surrounding at the required level*

## 5. Wyniki badań

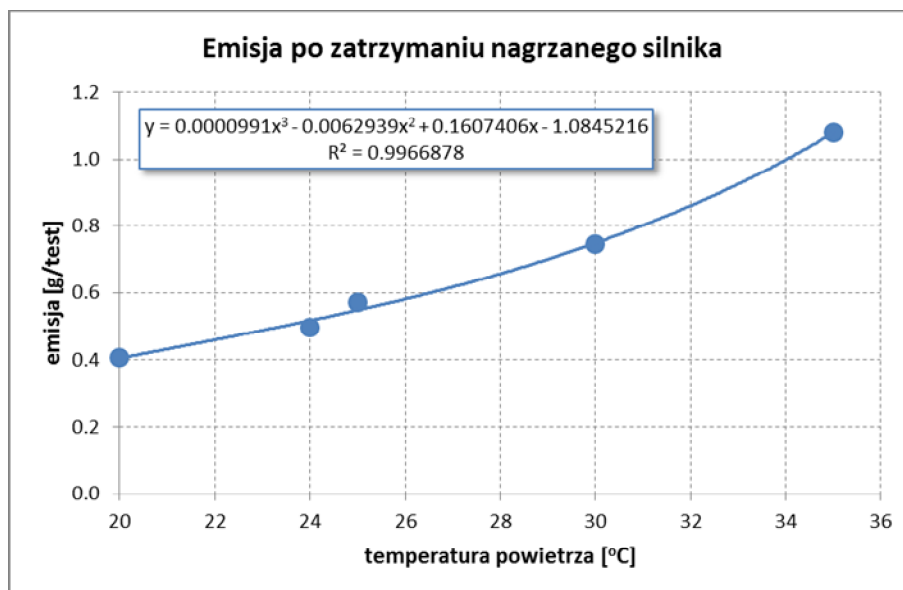
Do badań został wybrany samochód cechujący się stosunkowo dużą emisją w wyniku dobowej zmiany temperatury. Pozwoliło to na zmniejszenie względnych błędów pomiarowych. Przy badaniach zarówno metodą A jak i B przyjęto, że długość pojedynczej jazdy wynosi około 12 km. Przyjęto również, że czas tej średniej jazdy wynosi 0,5 h (czas  $t_2$  minus  $t_1$ ) [8].

W metodzie A pomiar emisji w wyniku dobowej zmiany temperatury został wykonany w cyklu i według procedury w pełni zgodnej z ustaloną w dyrektywie 98/69/EC i regulaminie 83, seria 05 poprawek. Jego wyniki są przedstawione na rys. 5. Pomiar emisji po zatrzymaniu silnika został również wykonany według tej procedury z tą różnicą, że pomiary te wykonywano w zakresie temperatur otoczenia w laboratorium podczas jazdy i w komorze SHED od 20°C do 35°C (rys. 8).



Rys. 7. Wyniki pomiarów emisji z samochodu w teście dobowej zmiany temperatury według dyrektywy 98/69/EC i regulaminu 83, seria 05 poprawek [7]

Fig. 7. The results of emission measurements from the car in the diurnal temperature change test according to the Directive 98/69/EC and Regulations 83, 05 series of amendments [7]



Rys. 8. Emisja par paliwa po zatrzymaniu silnika w funkcji temperatury otoczenia [7]

Fig. 8. The emission of fuel vapours after stopping the engine as a function of ambient temperature [7]

W metodzie B cykl teoretyczny zmiany dobowej temperatury otoczenia był, zgodnie z założeniami, identyczny jak w metodzie A. Przeprowadzono dwie serie pomiarów. W serii pierwszej była wykonywana jedna jazda, przy różnym czasie  $t_1$  zakończenia fazy 1 i początku fazy 2, a w związku z tym także różnym czasie  $t_2$  początku fazy 3 (rys. 2). Czasy  $t_1$ , przy których przeprowadzono pomiary, to godziny: 23<sup>30</sup>, 3<sup>30</sup>, 7<sup>30</sup>, 11<sup>30</sup>, 15<sup>30</sup> i 19<sup>30</sup>, co odpowiada czasom  $t_2$  (godziny): 0<sup>00</sup>, 4<sup>00</sup>, 8<sup>00</sup>, 12<sup>00</sup>, 16<sup>00</sup> i 20<sup>00</sup>.

W serii 2 określono wpływ liczby jazd w ciągu doby na emisję. Przeprowadzono pomiary przy liczbie: 0, 1, 2, 3 i 4. W każdym przypadku pierwsza jazda zaczynała się o czasie  $t_1$  odpowiadającym godzinie 23<sup>30</sup>, co odpowiadało czasowi  $t_2$  (godzinie 0<sup>00</sup>).

Emisja podczas jazdy w metodzie A i B nie była mierzona ze względu na brak odpowiedniej komory SHED. Została ona obliczona na podstawie zależności podanej w [3]. Zależność ta jest następująca:

$$e^{r,h} = 0,0136 \cdot \exp(-5,967 + 0,04259 \cdot RVP + 0,1773 \cdot t_a) \cdot m_d \quad (3)$$

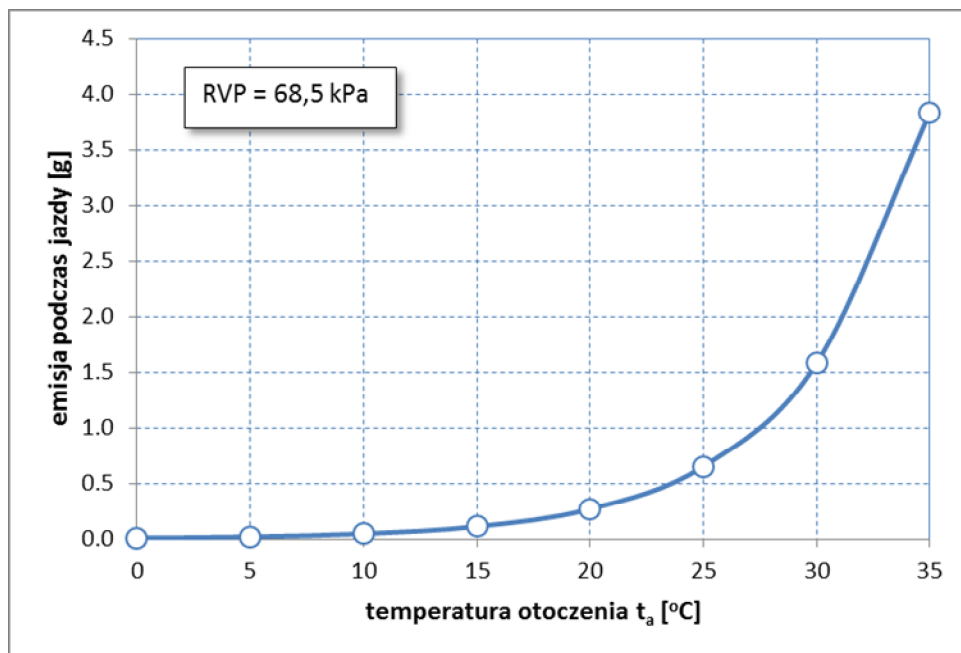
Przyjęte oznaczenia:

$m_d$  [km] – przebieg dobowy samochodu,

RVP [kPa] – prężność par paliwa,

$t_a$  [°C] – temperatura otoczenia.

Wyniki obliczeń emisji podczas jazdy w funkcji temperatury dla paliwa stosowanego w badaniach są przedstawione na rys. 9.



Rys. 9. Emisja podczas jazdy w funkcji temperatury otoczenia  
 Fig. 9. Emission during driving as a function of ambient temperature

W tabeli 1 podano dobową emisję z układu zasilania zmierzoną lub obliczoną metodami A, B i B uproszczoną.

Tabela 1

Emisja z układu zasilania powstająca w wyniku dobowej zmiany temperatury, w czasie jazdy oraz po zatrzymaniu silnika zmierzone metodami A, B i B uproszczoną w przypadku jednej jazdy w ciągu doby [8]

Table 1

Emission from the fuel supply system resulting from the diurnal temperature change, during driving and following the engine stoppage, measured by the methods A, B and simplified B, in case of one drive in 24 hours [8]

Godzina zatrzymania silnika	Metoda A				Metoda B				Metoda B uproszczona			
	e <sup>d</sup>	e <sup>s</sup>	e <sup>r</sup>	e <sup>c</sup>	e <sup>d</sup>	e <sup>s</sup>	e <sup>r</sup>	e <sup>c</sup>	e <sup>d</sup>	e <sup>s</sup>	e <sup>r</sup>	e <sup>c</sup>
0 <sup>00</sup>	2,70	0,41	0,27	3,38	2,32	0,42	0,27	3,01	2,27	0,42	0,27	2,96
4 <sup>00</sup>	2,70	0,52	0,43	3,65	2,09	0,77	0,43	3,29	1,95	0,77	0,43	3,15
8 <sup>00</sup>	2,70	0,88	1,73	5,31	2,52	0,97	1,73	5,22	1,62	0,97	1,73	4,32
12 <sup>00</sup>	2,70	1,07	3,90	7,67	2,02	1,22	3,90	7,14	1,68	1,22	3,90	6,80
16 <sup>00</sup>	2,70	0,71	1,39	4,80	2,36	0,80	1,39	4,55	2,33	0,80	1,39	4,52
20 <sup>00</sup>	2,70	0,47	0,49	3,66	2,58	0,49	0,49	3,56	2,59	0,49	0,49	3,57

Z tabeli 1 wynika, że wartość emisji całkowitej z układu zasilania określona według metody B jest mniejsza niż według metody A. Różnice wahają się od 2% do 11%, a więc w przypadku jednej jazdy w ciągu doby są stosunkowo niewielkie. Zależą one od czasu zakończenia jazdy i zatrzymania silnika. Mniejsza wartość dla metody B występuje zarówno w przypadku, gdy pojazd jest używany w czasie zwiększania, jak i zmniejszania się temperatury w ciągu doby.

Zarówno w przypadku metody A, jak i B wartość całkowitej emisji z układu zasilania zwiększa się w zakresie czasu zatrzymania od 0<sup>00</sup> do 12<sup>00</sup>, a następnie ulega zmniejszeniu. Taki przebieg wynika z tego, że w czasie od 0<sup>00</sup> do 12<sup>00</sup> zwiększa się temperatura paliwa, przy której następuje jazda i zatrzymanie silnika (rys. 2). Powoduje to wzrost emisji w tych warunkach.

Należy zwrócić uwagę, że wartość emisji po zatrzymaniu silnika określona metodą B jest dla wszystkich czasów zatrzymania większa niż określona metodą A. Różnica jest zawarta w przedziale od 2,5% do 48%.

Różnica między wartościami emisji całkowitej określonej według metod A i B jest w przypadku jednej jazdy w ciągu doby stosunkowo niewielka. Zwiększa się ona wraz ze wzrostem liczby jazd. Wyniki obliczeń emisji całkowitej w zależności od liczby jazd przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Emisja [g/doba] z układu zasilania określona według metod A i B w zależności od liczby jazd w ciągu doby [8]

Table 2

Emission [g/24-hrs] from the fuel supply system determined according to the methods A and B, depending on the number of drives in 24 hours [8]

Liczba jazd w ciągu doby	Metoda A				Metoda B			
	e <sup>d</sup>	e <sup>s</sup>	e <sup>r</sup>	e <sup>c</sup>	e <sup>d</sup>	e <sup>s</sup>	e <sup>r</sup>	e <sup>c</sup>
0	2,70	0	0	2,70	2,70	0	0	2,70
1	2,70	0,41	0,27	3,38	2,32	0,42	0,27	3,01
2	2,70	0,93	0,70	4,33	1,87	1,03	0,70	3,60
3	2,70	1,81	2,43	6,94	0,65	2,02	2,43	5,10
4	2,70	2,88	6,33	11,91	0	3,24	6,33	9,57

Różnica między wartościami emisji całkowitej określonej według metody A i B jest zawarta w przedziale od 11% dla jednej jazdy do 26,5% dla trzech jazd.

Bardzo duże wartości emisji podczas jazdy w przypadku 3 i 4 jazd w ciągu doby są spowodowane:

- dużym przebiegiem dobowym (przyjęto założenie, że droga przebyta w trakcie pojedynczej jazdy wynosi 12 km),
- wysokimi temperaturami, przy których następuje trzecia i czwarta jazda.

Wzrost różnicy między wartościami określonymi metodą A i B w miarę zwiększania liczby jazd w ciągu doby wynika przede wszystkim z tego, że następuje zmniejszanie wartości emisji w wyniku dobowej zmiany temperatury. W przypadku, gdy są wykonywane cztery jazdy, ten rodzaj emisji w ogóle nie występuje (tabela 2). Natomiast wartość emisji po zatrzymaniu silnika jest większa w przypadku metody B.

W tabeli 3 porównano wartości emisji według metody B określone na podstawie pomiarów (pełna metoda B) i obliczeń (uproszczona metoda B) dla przypadku jednej jazdy w ciągu doby dla czasu zatrzymania silnika o godzinach 0<sup>00</sup>, 4<sup>00</sup>, 8<sup>00</sup>, 12<sup>00</sup>, 16<sup>00</sup> i 20<sup>00</sup>. Natomiast w tabeli 4 zamieszczono porównanie wartości emisji w zależności od liczby jazd w ciągu doby.

Tabela 3

Emisja [g/doba] z układu zasilania określona według metody B na podstawie pomiaru i obliczeń w zależności od czasu zatrzymania silnika [7]

Table 3

Emission [g/24-hrs] from the fuel system determined according to method B based on the measurement and calculation depending on the engine stopping time [7]

Godzina zatrzymania silnika	Wartość emisji wg		Różnica r
	pomiaru	obliczeń	
0 <sup>00</sup>	3,01	2,96	-1,7%
4 <sup>00</sup>	3,29	3,15	-4,3%
8 <sup>00</sup>	5,22	4,32	-17,3%
12 <sup>00</sup>	7,14	6,80	-4,8%
16 <sup>00</sup>	4,55	4,52	-0,7%
20 <sup>00</sup>	3,56	3,57	0,3%

Tabela 4

Emisja [g/doba] z układu zasilania określona według metody B na podstawie pomiaru i obliczeń w zależności od liczby jazd w ciągu doby [7]

Table 4

Emission [g/24-hrs] from the fuel system determined according to method B based on the measurement and calculation depending on the number of drives during 24 hours [7]

Liczba jazd w ciągu doby	Wartość emisji wg		Różnica r
	pomiaru	obliczeń	
0	2,70	2,70	0,0%
1	3,01	2,96	-1,7%
2	3,60	3,62	0,6%
3	5,10	4,92	-3,5%
4	9,57	9,21	-3,8%

Wartości obliczone są na ogół mniejsze niż zmierzone. Jedynie w dwóch przypadkach są w przybliżeniu równe. Różnica między tymi wartościami została określona według wzoru:

$$r = \frac{e_o - e_p}{e_p} \cdot 100 [\%] \quad (4)$$

w którym:

r [%] – różnica między wartościami obliczonymi i zmierzonymi,

$e_o$ ,  $e_p$  [g/doba] – wartości emisji odpowiednio obliczone (indeks o) i zmierzone (indeks p).

Różnice między wartościami obliczonymi i zmierzonymi są na ogół zawarte w przedziale od 1% do -4%. Jedynie w jednym przypadku wystąpiła większa różnica r (-17%).

## 6. Wnioski

W artykule porównano trzy metody określania emisji z układu zasilania w rzeczywistych warunkach eksploatacji: metodą A, metodą B i według wersji uproszczonej metody B.

Określenie emisji według metody A jest właściwe, gdy pojazd nie jest używany w ciągu doby. W przeciwnym przypadku emisja określona w ten sposób różni się od powstającej w rzeczywistych warunkach eksploatacji. W warunkach tych na emisję powstającą w wyniku dobowej zmiany temperatury wpływa w znacznym stopniu faza jazdy samochodu i faza zatrzymania silnika po tej jeździe. Metoda A nie uwzględnia tego wpływu.

W metodzie B określa się emisję w specjalnym cyklu obejmującym wszystkie warunki pracy, w których powstaje emisja z układu zasilania. Następuje więc symulacja łączna warunków, w których powstają 3 rodzaje emisji: w wyniku dobowej zmiany temperatury otoczenia, po zatrzymaniu nagrzanego silnika, podczas jazdy.

Przeprowadzone badania i analizy wykazały, że wartość emisji całkowitej z układu zasilania określona według metody B jest mniejsza niż według metody A. Do podstawowych czynników wpływających na różnice wartości określonej obu metodami należą:

- liczba jazd w ciągu doby,

- czas zakończenia jazdy i zatrzymania silnika.

W przypadku jednej jazdy w ciągu doby różnice w emisji dobowej są stosunkowo niewielkie. Zawierają się one w granicach od 2% do 11%. Różnica między wartościami emisji całkowitej z układu zasilania określonymi według metody A i B są większe w przypadku zwiększania liczby jazd w ciągu doby. W przypadku, gdy pojazd jest używany trzykrotnie, wartość określona metodą B jest o 26% mniejsza.

Zwiększanie się różnicy między wartościami określonymi metodą A i B w miarę zwiększania liczby jazd w ciągu doby wynika przede wszystkim z tego, że następuje zmniejszanie wartości emisji w wyniku dobowej zmiany temperatury. W przypadku, gdy są wykonywane cztery jazdy, ten rodzaj emisji w ogóle nie występuje (tabela 2). Natomiast wartość emisji podczas jazdy jest w obu metodach jednakowa.

Pomiary emisji metodą B są bardzo pracochłonne i kosztowne. Pracochłonność testów w celu określenia emisji z układu zasilania według zasad stosowanych w ITS jest około trzy razy większa niż w przypadku metody A. Z tego względu metoda B nie jest przydatna do wyznaczania wskaźników w ramach inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń z pojazdów. W związku z tym sprawdzono możliwość stosowania uproszczonej metody B, w której określenie emisji z układu zasilania następowałoby częściowo na drodze obliczeniowej.

Przeprowadzono weryfikację uproszczonej metody B przez porównanie uzyskanych na jej podstawie wartości całkowitej emisji dobowej z układu zasilania z wartościami zmierzonymi według pełnej metody B. Różnice między wartościami obliczonymi i zmierzonymi są na ogół zawarte w przedziale od 1% do -4%. Jedynie w jednym przypadku występuje większa różnica (-17%).

Na podstawie przeprowadzonej analizy uznano, że uproszczona metoda B określania emisji z układu zasilania w rzeczywistych warunkach eksploatacji może być stosowana do wyznaczania wskaźników w inwentaryzacji emisji. Pracochłonność określania według niej jest niewiele większa niż w metodzie A. Jej zaletą jest natomiast to, że lepiej odzwierciedla rzeczywiste warunki występujące w eksploatacji. Wartości emisji z układu zasilania określone uproszczoną metodą B są bliższe rzeczywistym niż określone metodą A.

## **LITERATURA:**

- [1] Corinair Inventory. Default emission factors from road transport (CO, NO<sub>x</sub>, VOC including CH<sub>4</sub>). Commission of the European Community, 1988.
- [2] Corinair Working Group on Emission Factor for Calculating 1990. Emissions from Road Transport. Final Report, December 1991. CORINAIR 1991.
- [3] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Technical Report No. 12/2013. "Gasoline evaporation from vehicles". Giorgos Mellios, Leonidas Ntziachristos.
- [4] MEET. Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. Transport Research Fourth Framework Programme Strategic Research. DG-VII-00. European Commission.
- [5] Emissions polluantes de trafic routier de 1950 a 2010. Cahier de l'environnement No. 255. Office federal de l'environnement, des forets et du paysage (OFEP). Szwajcaria.
- [6] Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs. Erläuterungen zum CD-ROM. Version 1.1, Oktober 1995. INFRAS AG. Szwajcaria, Niemcy.
- [7] Radzimirski S., Majerczyk A., Taubert S., Praca ITS Nr 9.0816.3 „Określenie emisji zanieczyszczeń z niskoemisyjnych silników spalinowych pojazdów samochodowych w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Zadanie 3. Badania laboratoryjne emisji zanieczyszczeń z układu zasilania paliwem”.

- [8] Radzimirski S., Majerczyk A., Taubert S., Praca ITS Nr 9.0816.4 „Określenie emisji zanieczyszczeń z niskoemisyjnych silników spalinowych pojazdów samochodowych w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Zadanie 4. Opracowanie metodyki określania wskaźników emisji zanieczyszczeń i określenie emisji z układu zasilania paliwem”.
- [9] Radzimirski S., Żółtowski A. Majerczyk A., Taubert S., Praca ITS Nr 4.00726.2 „Analiza porównawcza metod określania właściwości ekologicznych silników spalinowych pojazdów samochodowych. Zadanie 2. Badania emisji zanieczyszczeń z układu zasilania. Zadanie 4. Analiza metod badań emisji zanieczyszczeń z układu zasilania”.