

Wojciech ADAMSKI, Krzysztof BRZOZOWSKI

## **PROCEDURA REALIZACJI TESTU DROGOWEGO DO POMIARU ZUŻYCIA PALIWA PRZEZ AUTOBUSY KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ**

### *Streszczenie*

*W pracy przedstawiono problematykę realizacji badań drogowych autobusów w typowych warunkach eksploatacji, charakteryzowanych poprzez prędkość komunikacyjną. Artykuł prezentuje opracowaną procedurę badawczą zapewniającą powtarzalność i porównywalność wyników badań w zakresie zużycia paliwa. Opisano sposób realizacji testu drogowego. Przeanalizowano profile prędkości chwilowej w odniesieniu do wzorcowego profilu prędkości w cyklu bazowym i zestawiono wyniki przeprowadzonych pomiarów zużycia paliwa.*

### **WSTĘP**

Badania homologacyjne autobusów różnią się od badań obowiązujących dla samochodów osobowych. Przede wszystkim badania homologacyjne pojazdów ciężkich nie obejmują testów pojazdu na hamowni podwoziowej, ograniczając się wyłącznie do badań samego silnika na stanowisku dynamometrycznym. Ponadto, obowiązująca obecnie dla tej kategorii pojazdów norma Euro V, nie definiuje obowiązku wyznaczania jednostkowego zużycia paliwa, czyli wielkości, umożliwiającej szacowanie bezpośrednich kosztów, które zostaną poniesione w trakcie eksploatacji pojazdu. Brak takiej informacji nie pozwala na bezpośrednie porównywanie ofert poszczególnych producentów ze względu na to kryterium. Dodatkowym utrudnieniem jest mała reprezentatywność stosowanych testów silnika na hamowni, wobec rzeczywistych warunków jego eksploatacji w pojeździe transportu publicznego, charakteryzujących się znacznym udziałem stanów dynamicznych ruchu i dużą liczbą zatrzymań.

Obowiązująca Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2009/33/WE, w sprawie promowania ekologicznie czystych i energooszczędnych pojazdów, nakłada na instytucje zamawiające, obowiązek uwzględniania przy zakupie pojazdów czynników: energetycznego i oddziaływania pojazdu na środowisko podczas całego cyklu jego użytkowania [1]. W Polsce rozporządzenie [2] regulujące wdrożenie powyższej dyrektywy, w sytuacji gdy brak jest stosownych informacji w świadectwie homologacji, dopuszcza wykorzystanie dowolnej innej metody pomiaru zużycia paliwa lub zużycia energii elektrycznej, zapewniającej porównywalność ofert [2]. Jedną z metod proponowanych w opracowaniu [3] przygotowanym przez Instytut Transportu Samochodowego, jest pomiar w warunkach jak najwierniej odzwierciedlających przyszłe warunki eksploatacji pojazdu u organizatora

przetargu. W przypadku zakupu autobusów komunikacji publicznej może to być pomiar średniego zużycia paliwa, określony dla autobusu kursującego po wybranej linii komunikacyjnej. Wyniki takich badań, wobec braku możliwości zapewnienia powtarzalności warunków ruchu drogowego, nie mogą jednak stanowić uniwersalnego kryterium porównywalności.

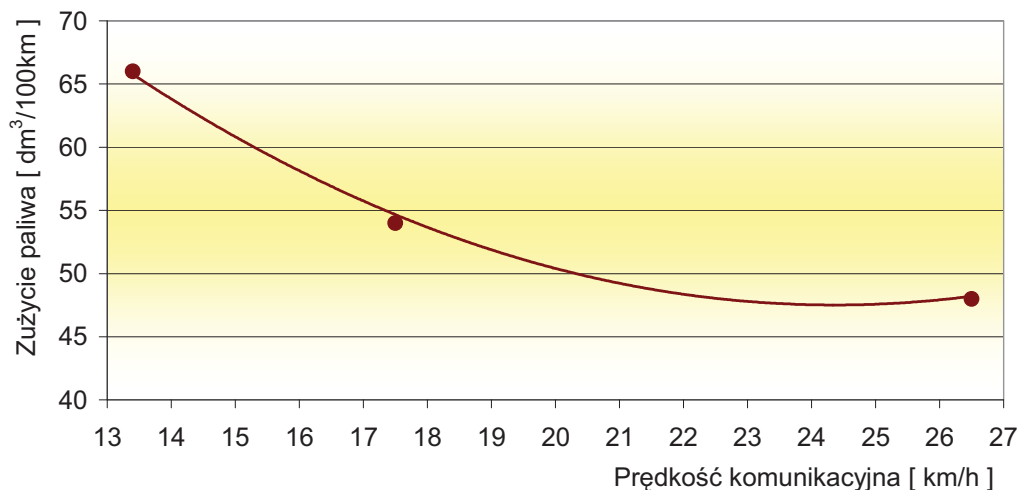
Pomimo, że nie wskazano jej bezpośrednio w rozporządzeniu [2], metodą doskonale wpisującą się w obowiązujące wymagania i braki w systemie homologacji, jest opracowana przez Międzynarodową Organizację Transportu Publicznego, metoda pomiaru zużycia paliwa dla autobusów - SORT (Standardised On-Road Tests cycles) [4]. Metoda SORT powstała w wyniku realizacji projektu badawczego, którego celem było opracowanie wiarygodnego testu drogowego na podstawie odpowiednich danych statystycznych o warunkach eksploatacji. Dane te obejmowały między innymi informacje o rzeczywistych, średnich wartościach najistotniejszych parametrów charakteryzujących warunki eksploatacji autobusów komunikacji zbiorowej, takich jak: prędkości jazdy, czasy zatrzymań, odległości między zatrzymaniami oraz obciążenia. Podstawowe cykle bazowe, tworzące test drogowy według metody SORT, umożliwiają bezpośrednie porównanie zużycia paliwa w autobusach różnych producentów. Z kolei przewidywane średnie zużycie paliwa w rzeczywistych warunkach eksploatacji, charakterystycznych dla danego operatora przewozów, zarówno na trasach miejskich jak i podmiejskich, jest obliczane z wykorzystaniem danych o zużyciu paliwa w poszczególnych cyklach bazowych, po przyjęciu zróżnicowanych wag udziału danego cyklu. W ten sposób, przy zachowaniu identycznej metodologii, umożliwiono ocenę średniego zużycia paliwa w dowolnych warunkach eksploatacji. W niniejszej pracy przedstawiono praktyczne rozwiązanie w zakresie kontroli prędkości zapewniające powtarzalność i porównywalność wyników badań drogowych zużycia paliwa, przeprowadzanych dla różnych pojazdów z wykorzystaniem metody SORT.

## 1. PODSTAWY METODY SORT

Test drogowy odzwierciedlający warunki ruchu autobusu na trasie miejskiej powinien być tworzony z uwzględnieniem wielu parametrów, takich jak: natężenie ruchu, liczba i czas zatrzymań (wynikających z warunków ruchu drogowego, jak i potrzebnych dla wsiadania i wysiadania pasażerów), topografia trasy, obciążenie pojazdu, prędkość komunikacyjna. Jednoczesne uwzględnienie wszystkich wymienionych parametrów w teście wzorcowym jest jednak zadaniem trudnym do wykonania, stąd w metodzie SORT jako kryterium podobieństwa warunków ruchu w teście drogowym i w warunkach rzeczywistych, przyjęto prędkość komunikacyjną. Średnie zużycie paliwa zależy bowiem istotnie od prędkości komunikacyjnej - przykładową zależność eksploatacyjnego zużycia paliwa od tej wielkości przedstawiono na rys. 1.

Opracowana przez UITP metoda wykorzystuje trzy cykle bazowe, reprezentujące różne warunki ruchu, charakteryzowane odpowiednią prędkością komunikacyjną, przedstawione na rys. 2. Są to cykle bazowe:

- SORT 1 - Heavy Urban Cycle ( $v_s = 12$  km/h) - odzwierciedlający warunki eksploatacji w centrum dużych miast,
- SORT 2 - Easy Urban Cycle ( $v_s = 18$  km/h) - odzwierciedlający warunki eksploatacji występujące dla typowej trasy miejskiej,
- SORT 3 - Easy Suburban Cycle ( $v_s = 25$  km/h) - odzwierciedlający warunki eksploatacji autobusów komunikacji zbiorowej na przedmieściach dużych miast i na trasach wewnętrznych mniejszych miast.



**Rys. 1.** Przykład zależności średniego zużycia paliwa od prędkości komunikacyjnej

Źródło: [4]

Każdy z cykli bazowych jest złożeniem trzech sekcji. W każdej z sekcji wyodrębniono trzy fazy: fazę przyspieszania, fazę jazdy z prędkością stałą i fazę hamowania. W ramach cyklu, każda z sekcji jest oddzielona od następnej określonym odstępem czasu. Pomiar zużycia paliwa prowadzony jest osobno w trakcie realizacji każdego z cykli.

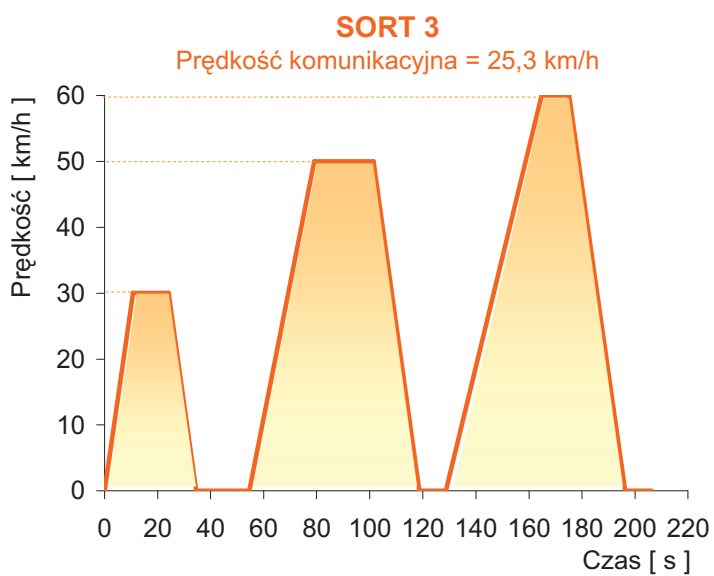
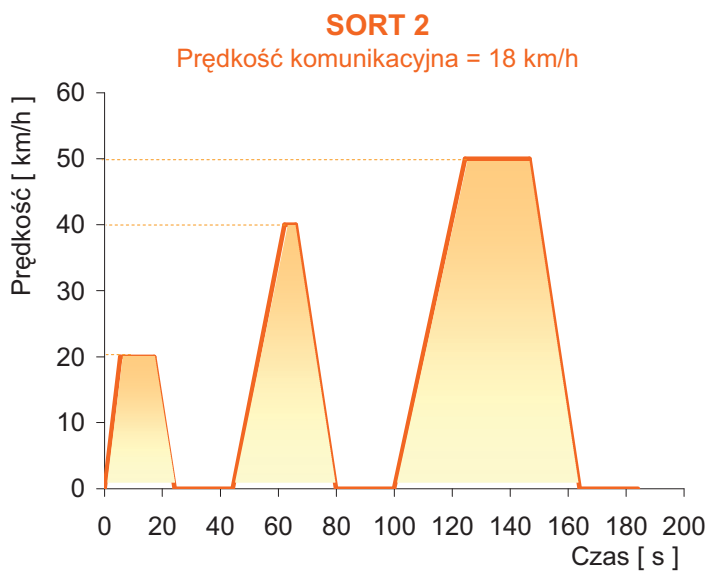
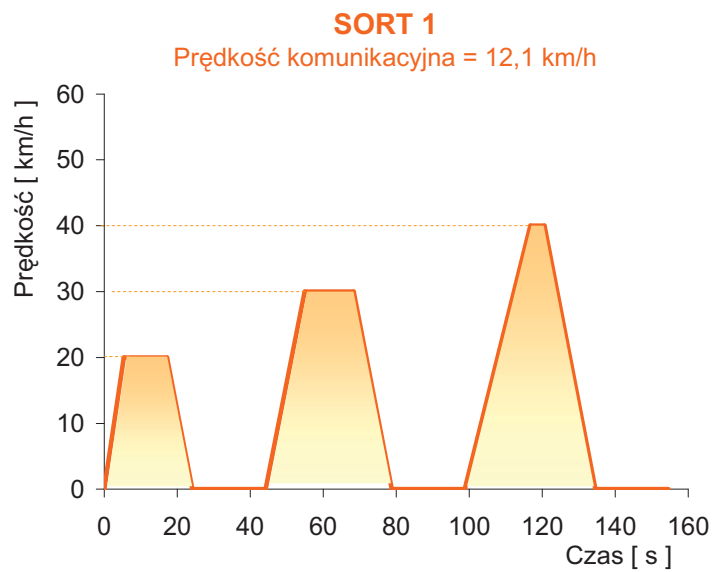
Metoda SORT zakłada obliczanie średniego zużycia paliwa jako odpowiedniej kombinacji wyników pomiarów uzyskanych w cyklach bazowych, tzn:

$$C = \sum_{i=1}^3 a_i C_i, \quad (1)$$

gdzie:

$a_i$ ,  $C_i$  są odpowiednio wagą istotności danego cyklu bazowego w procesie odwzorowywania lokalnych warunków eksploatacji (ustalonym przez operatora przewozów) oraz średnim zużyciem paliwa w  $i$ -tym cyklu bazowym.

Warunki wykonywania pomiaru według metody SORT obejmują spełnienie odpowiednich wymagań w zakresie: wyboru odcinka pomiarowego (stan i rodzaj nawierzchni, nachylenie), warunków otoczenia w czasie realizacji pomiaru (temperatura, ciśnienie atmosferyczne, wilgotność, prędkość wiatru), przygotowania badanego pojazdu (stan techniczny, stan cieplny silnika, obciążenie, ustawienia skrzyni biegów, ustawienia i regulacje elementów wyposażenia, opony, paliwo i inne płyny eksploatacyjne) oraz stosowanej aparatury badawczej (typ, dokładność). Podstawowym wymaganiem jest przy tym obowiązkowe wykonywanie pomiarów w obu kierunkach na tym samym odcinku, bezpośrednio po sobie, co pozwala zminimalizować wpływ niektórych czynników na wynik pomiarów (np. wiatru, nachylenia nawierzchni).



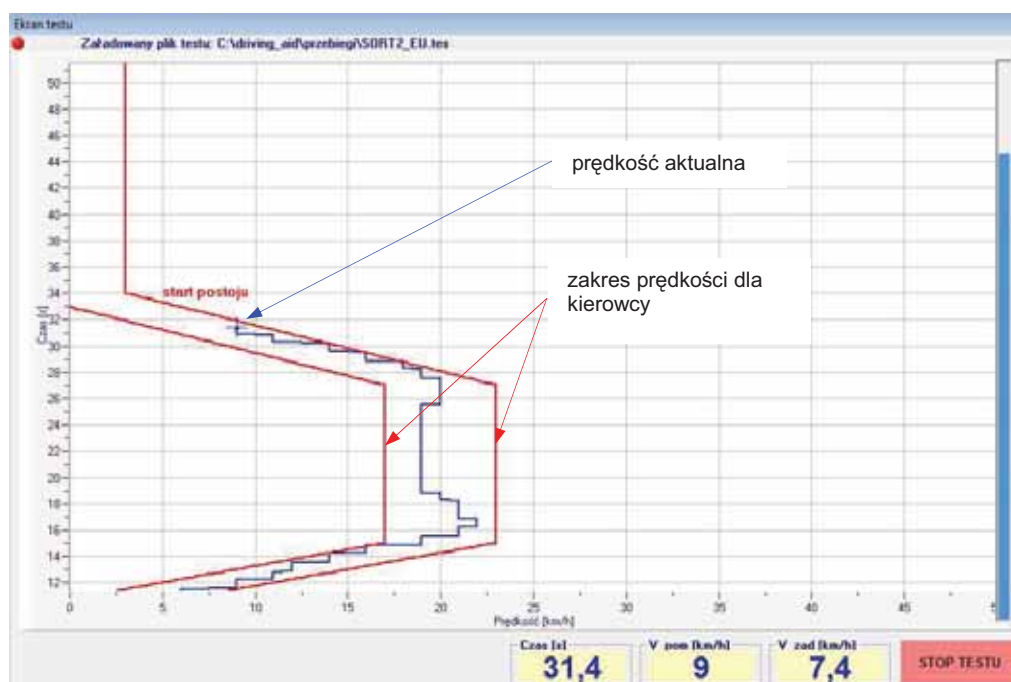
**Rys. 2.** Profile prędkości w cyklach bazowych metody SORT

Źródło: [4]

## 2. OPRACOWANA PROCEDURA POMIAROWA

Procedura realizacji metody SORT rekomenduje metodykę pomiaru polegającą na odmierzeniu odcinków drogi dla danego cyklu bazowego poprzez ustawienie pachołków wyznaczających moment zmiany faz ruchu. Oznacza to, że w ramach każdej z sekcji oznacza się punkty: przejścia z fazy przyspieszania do fazy prędkości stałej, przejścia z fazy prędkości stałej do fazy hamowania i zatrzymania. Realizacja pomiarów według tej metodyki wymaga niestety wielu przejazdów dla uzyskania właściwej techniki jazdy przez kierowcę. Ponadto, w związku z koniecznością dokładnego odmierzenia i oznakowania wymaganych odcinków drogi w obu kierunkach, pomiar może być wykonywany wyłącznie na torze pomiarowym lub zamkniętym odcinku drogi.

Powyższe ograniczenia oraz doświadczenia związane z praktyczną realizacją takiej metodyki, doprowadziły do opracowania w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL procedury alternatywnej. W ramach proponowanej procedury badań wykorzystywany jest odpowiedni program komputerowy, który analogicznie jak przy pomiarach na hamowni podwoziowej, wizualizuje na ekranie monitora wymagany w danym cyklu bazowym profil prędkości (przebieg prędkości w czasie) oraz aktualną prędkość pojazdu pobieraną z czujnika optycznego typu Correvit. Wymagany cykl bazowy jest realizowany przez kierowcę poprzez ciągłą obserwację na monitorze diagramu z przebiegiem aktualnej prędkości pojazdu i taki sposób jazdy, aby minimalizować odchylenie prędkości chwilowej od prędkości zadanej wynikającej z realizacji cyklu - rys. 3.



Rys. 3 Diagram obserwowany przez kierowcę z przebiegiem prędkości chwilowej i warunkami cyklu

Źródło: własne

W trakcie realizacji cyklu pomiar zużycia paliwa wykonywany jest metodą przepływową z wykorzystaniem paliwomierza zamontowanego w układzie zasilania silnika. Parametry techniczne zastosowanej aparatury, w tym aparatury do pomiaru parametrów ruchu pojazdu przedstawiono w tabeli 1.

**Tab. 1.** Parametry techniczne stosowanych czujników i rejestratora

<b>Paliwomierz Pierburg PLU 116 H-60</b>	
zakres pomiarowy	1 ÷ 60 [dm <sup>3</sup> /h]
dokładność pomiaru	±1,5 [%]
zakres ciśnienia roboczego medium	0,2 ÷ 10 [bar]
<b>Czujnik drogi Correvit S-400</b>	
zakres pomiarowy	0,5 ÷ 400 [km/h]
rozdzielczość drogi	1,9 [mm]
dokładność pomiaru	prędkość ± 0,5 [%] droga ± 0,2 [%]
<b>Rejestrator Corrsys-Datron μEEP11</b>	
liczba kanałów cyfrowych	8
liczba kanałów analogowych	16

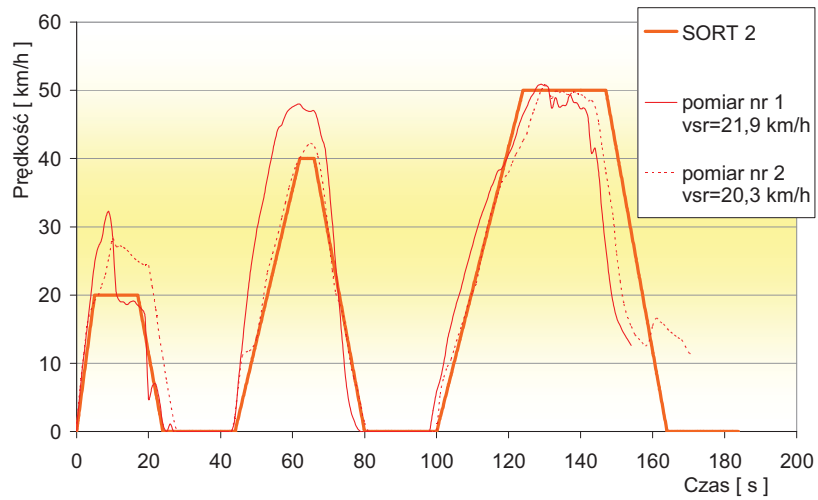
Źródło: własne

Wyniki przeprowadzonych badań, przy użyciu opracowanej procedury realizacji cykli bazowych, wykazały jej przydatność praktyczną. Duże znaczenie ma krótki okres czasu potrzebny na naukę odpowiedniej techniki jazdy przez kierowcę, nawet jeśli nie wykonywał wcześniej podobnych jazd testowych i w konsekwencji uzyskanie profilu prędkości odpowiadającego wymaganiom metody SORT, już po wykonaniu kilku przejazdów próbnych. Na rys. 4 i 5 przedstawiono zarejestrowane profile prędkości dla pomiarów w cyklu bazowym SORT 2, wykonywanych na autobusie miejskim o długości całkowitej 12 m. Przedstawione na rys. 4 profile obrazują początkowy etap uczenia się kierowcy podstawowych zasad jazdy w teście (dwa pierwsze pomiary). Kolejne powtórzenia cyklu (odpowiednio 5 i 6 w kolejności przejazd), skutkują już tylko drobnymi odchyleniami od profilu prędkości w cyklu bazowym - rys. 5. Kolejne przejazdy pozwoliły uzyskać profile prędkości, które uznano za prawidłowe, a więc spełniły następujące warunki według metodyki SORT:

- zachowanie zalecanej tolerancji w fazie jazdy ze stałą prędkością na poziomie ±1 km/h, z możliwością krótkotrwałego przekroczenia do +3 km/h w fazie przejścia z przyspieszania do prędkości stałej,
- średnia wartość przyspieszenia w fazie zwiększania prędkości większa lub równa wartości minimalnej określonej dla danej sekcji w cyklu,
- faza hamowania możliwie płynna i jednolita.

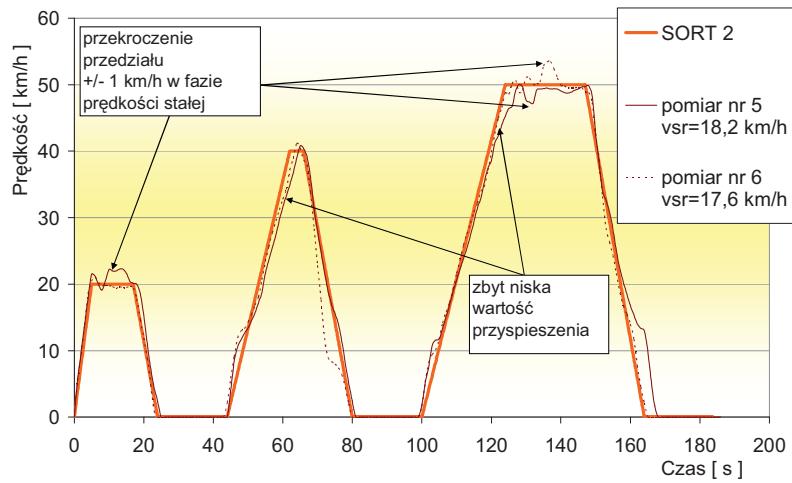
Jako dodatkowy parametr oceny przyjęto tolerancję odchyłki prędkości średniej dla danego przejazdu od wartości teoretycznej na poziomie ±1 km/h.

Na rys. 6 przedstawiono zarejestrowane profile prędkości, które odpowiadają warunkom realizacji cyklu bazowego SORT 2.



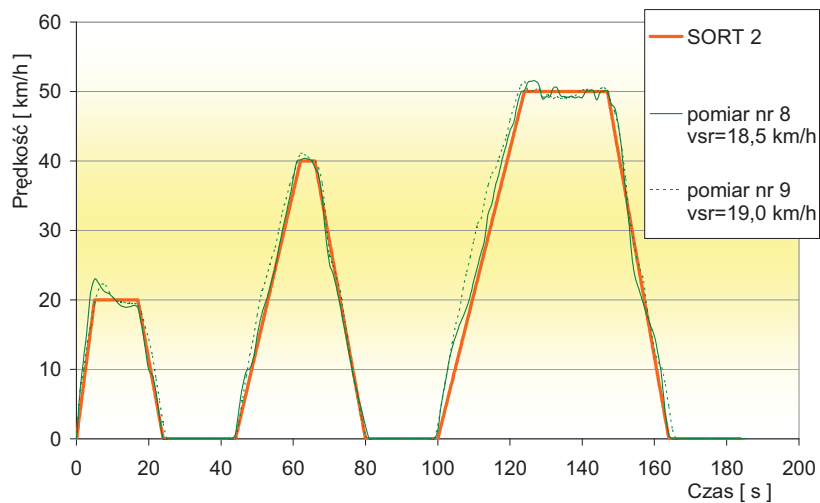
Rys. 4 Profile prędkości w początkowym etapie nauki techniki jazdy w cyklu

Źródło: własne



Rys. 5 Profile prędkości z drobnymi odchyleniami od warunków cyklu

Źródło: własne

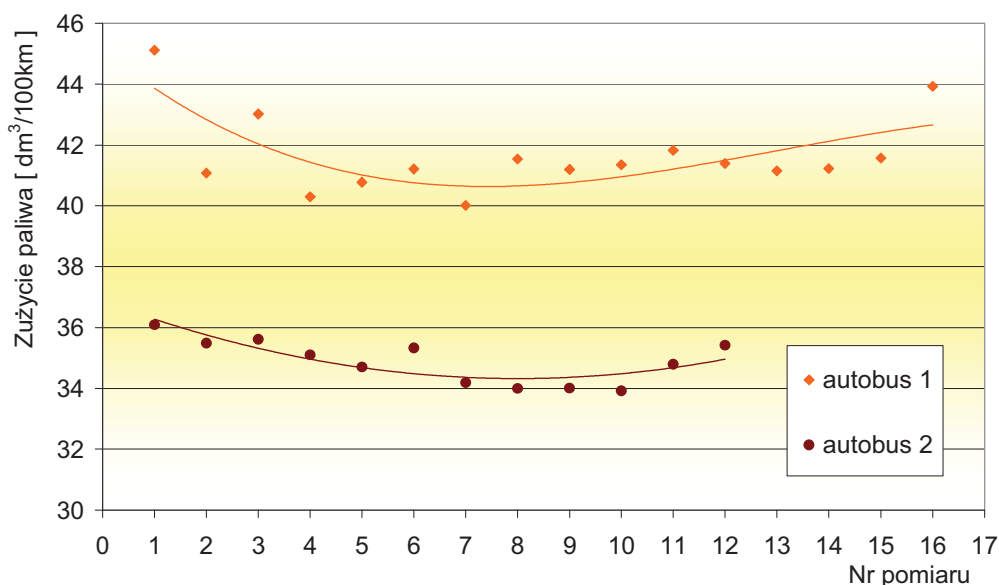


Rys. 6 Profile prędkości odpowiadające warunkom cyklu bazowego

Źródło: własne

### 3. WNIOSKI Z ZASTOSOWANIA PROCEDURY W PRAKTYCE

Przedstawioną procedurę zastosowano do przeprowadzenia pomiarów zużycia paliwa. Średnie zużycie paliwa, zarejestrowane w ramach pomiarów realizowanych po zakończeniu fazy uczenia się kierowcy, dla dwóch autobusów miejskich o różnych parametrach, przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Zużycie paliwa uzyskane w kolejnych pomiarach dla cyklu SORT 2

Źródło: własne

Zmienność wyników zużycia paliwa, dla pomiarów uszeregowanych według kolejności wykonywania, można opisać wielomianem drugiego stopnia, którego minimum przypada po fazie pełnej aklimatyzacji kierowcy do warunków jazdy. Podobną tendencję i rozbieżność uzyskuje się jednak również w przypadku klasycznej procedury pomiaru w metodzie SORT [4]. Nie stanowi to tym samym o wadzie zaproponowanej procedury, a wzrost wartości zużycia paliwa w końcowej części badań, może świadczyć o zmęczeniu kierowcy wielokrotnym powtarzaniem cyklu. Tym samym istotnym elementem opracowania wyników badań jest wyznaczenie reprezentatywnej wartości średniej.

W celu wyznaczenia reprezentatywnej wartości średniej z serii pomiarów zużycia paliwa stosowana jest odpowiednia procedura metody SORT. Procedura ta obejmuje następujące etapy:

- klasyfikacji wyników zużycia paliwa otrzymanych dla danego kierunku ruchu w porządku rosnącym,
- selekcji reprezentatywnej grupy pomiarów poprzez obliczenie względnych różnic dla każdej kolejnej grupy trzech pomiarów według zależności:

$$\delta_i = \frac{x_{i+2} - x_i}{x_i} \cdot 100\% \quad (2)$$

- wyboru grupy trzech kolejnych pomiarów dla danego kierunku ruchu o najmniejszej względnej różnicy  $\delta$  (zalecane  $\delta < 2$ ),
- powtórzenia czynności dla przeciwnego kierunku ruchu,
- obliczania średniej arytmetycznej z wybranych dwóch grup pomiarów, po jednej dla każdego kierunku ruchu.



W następnej kolejności wyniki pomiarów zużycia paliwa podlegają skorygowaniu według zależności:

$$C_r = C \cdot [1 + \alpha \cdot (t_o - t_p)] \quad (3)$$

gdzie:

- $C_r$  - zużycie paliwa skorygowane [ dm<sup>3</sup>/100 km ],
- $C$  - zużycie paliwa zmierzone [ dm<sup>3</sup>/100 km ],
- $\alpha$  - współczynnik rozszerzalności objętościowej paliwa,
- $t_o$  - temperatura odniesienia 20 °C,
- $t_p$  - temperatura paliwa w trakcie pomiarów [ °C ].

Ostatecznie reprezentatywne dla cyklu bazowego średnie zużycie paliwa jest wyznaczane jako średnia arytmetyczna z wartości zredukowanych z jednoczesnym wskazaniem niepewności pomiaru. Przykład opracowania wyników pomiarów zużycia paliwa uzyskanych w teście bazowym SORT 2, zgodnie z zalecaną procedurą dla autobusu miejskiego 1 (rys. 7) przedstawiono w tabeli 2.

**Tab. 2.** Przykład wyników pomiarów i sposób wyznaczania średniego zużycia paliwa

Lp.		Prędkość średnia	Zużycie paliwa	Temperatura paliwa	Zużycie paliwa zredukowane	Względna różnica skrajnych pomiarów
		$v_s$ [km/h]	$C$ [dm <sup>3</sup> /100km]	$t_p$ [ °C ]	$C_r$ [dm <sup>3</sup> /100km]	$\delta$ [%]
kierunek I	1	18,9	40,8	32,1	40,3	1,0
	2	18,9	41,2	34,4	40,6	
	3	18,8	41,2	33,5	40,7	
kierunek II	4	19,0	41,2	34,6	40,7	0,5
	5	19,0	41,4	34,0	40,8	
	6	18,7	41,4	34,3	40,9	
<b>średnia</b>		<b>18,9</b>	<b>41,2</b>	<b>33,8</b>	<b>40,7 ± 0,5</b>	<b>0,8</b>

Źródło: własne

## PODSUMOWANIE

- Przedstawiona w pracy procedura pomiarowa charakteryzuje się następującymi cechami:
- znacznym stopniem powtarzalności w zakresie realizacji profili prędkości odpowiadających wymaganiom testów bazowych,
  - ograniczonymi wymaganiami w zakresie niezbędnej aparatury pomiarowej, a zatem również ograniczonymi kosztami badań,
  - prostotą zastosowania do realizacji testu drogowego, jest przy tym łatwiejsza w realizacji niż klasyczna procedura metody SORT,
  - nieograniczoną możliwością zastosowania również do innych cykli niż cykle bazowe metody SORT.

W świetle powyższych cech oraz przedstawionych wyników zastosowania procedury w badaniach zużycia paliwa dla dwóch różnych autobusów, można stwierdzić, że zastosowanie opracowanej procedury pomiarowej wobec wymagań sformułowanych w Dyrektywie [1] pozwala na porównanie ofert poszczególnych producentów, w tym również w specyficznych czy nietypowych warunkach eksploatacji.

## BIBLIOGRAFIA

1. *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/33/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r., w sprawie promowania ekologicznie czystych i energooszczędnych pojazdów transportu drogowego.* Dz.Urz. UE L 120 z 15.5.2009.
2. *Rozporządzenie nr 559 Prezesa Rady Ministrów z dnia 10 maja 2011 r., w sprawie innych niż cena obowiązkowych kryteriów oceny ofert w odniesieniu do niektórych rodzajów zamówień publicznych.* Dz.U.11.96.559 z 10.5.2011.
3. *Praca ITS nr 10483, Opracowanie poradnika ustalania czynników energetyczno-emisyjnych w zamówieniach publicznych na zakup pojazdów drogowych.* Instytut Transportu Samochodowego. 29.11.2011. Warszawa.
4. *UITP International Association of Public transport, Project SORT Standardised On-Road Tests Cycles. D/2009/0105/31.* New Edition UITP 2009, Brussels, Belgium.

## THE PROCEDURE OF ROAD TEST FOR MEASUREMENT OF FUEL CONSUMPTION BY PUBLIC TRANSPORT BUSES

### *Abstract*

*The paper presents a procedure of fuel consumption measurements in road test. The main aim was to obtain repeatable and comparable results of measurements made for buses produced by different manufacturers. The procedure is based on instantaneous measurements of the velocity and uses software for visualization of velocity profile during road test together with the expected velocity profile. An application of the procedure in road test shown its practical usefulness. Results of fuel consumption measurements performed after applied the proposed procedure are presented as well.*

### *Autorzy:*

mgr inż. **Wojciech Adamski** – specjalista d/s badań w Zakładzie Badań Drogowych w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej  
dr hab. inż. **Krzysztof Brzozowski** – profesor nadzwyczajny w Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, Katedra Transportu i Informatyki