



## Realizacja metodyki SORT pomiaru zużycia paliwa autobusów

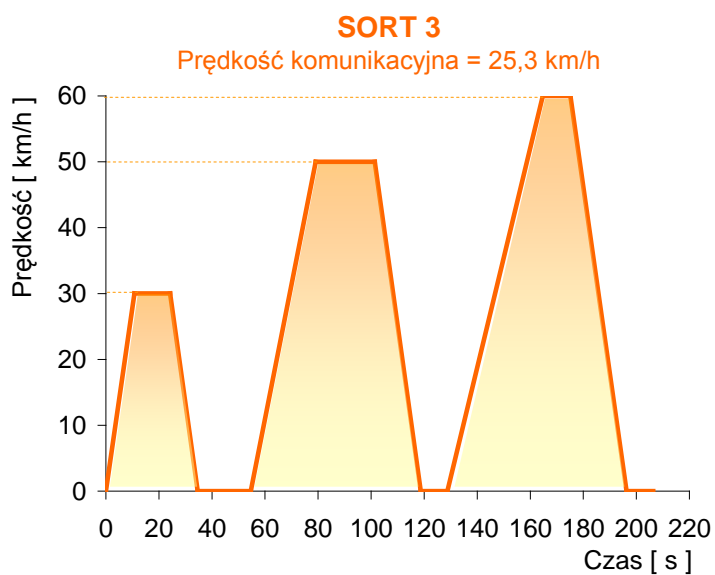
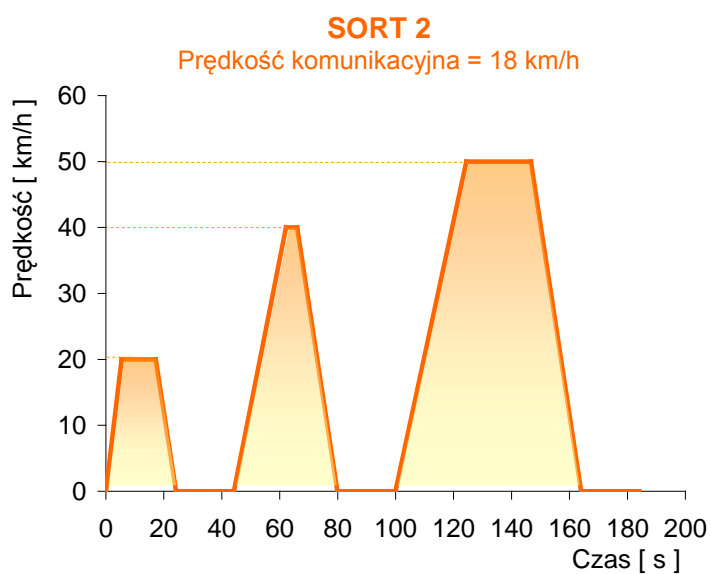
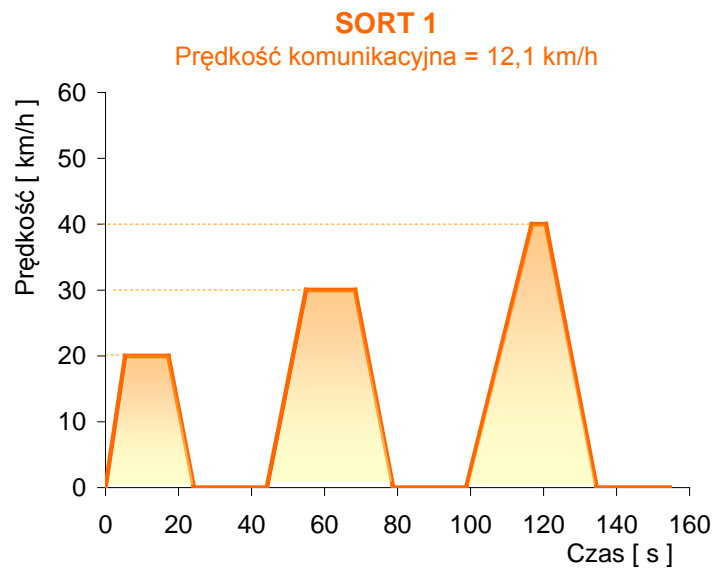
przez Zakład Badań Drogowych BOSMAL

### 1. PODSTAWY METODY SORT

Opracowana przez UITP (fr. **U**nion **I**nternationale des **T**ransports **P**ublics) procedura badawcza SORT (ang. **S**tandardised **O**n-Road **T**est) ma zapewnić powtarzalność i porównywalność wyników pomiaru zużycia paliwa w autobusach komunikacji zbiorowej. W tym celu wykorzystuje trzy cykle bazowe, reprezentujące różne warunki ruchu, charakteryzowane odpowiednią prędkością komunikacyjną (*Commercial Speed*), przedstawione na rys. 1. Są to:

- SORT 1 - Heavy Urban Cycle ( $v_k = 12,1$  km/h) - odzwierciedlający warunki eksploatacji w centrum dużych miast,
- SORT 2 - Easy Urban Cycle ( $v_k = 18,0$  km/h) - odzwierciedlający warunki eksploatacji występujące dla typowej trasy miejskiej,
- SORT 3 - Easy Suburban Cycle ( $v_k = 25,3$  km/h) - odzwierciedlający warunki eksploatacji autobusów komunikacji zbiorowej na przedmieściach dużych miast i na trasach wewnętrznych mniejszych miast.

Pomiar zużycia paliwa prowadzony jest oddzielnie dla każdego cyklu, zgodnie z wymaganiami odnośnie przewidywanego zastosowania autobusu. Każdy z cykli bazowych jest złożeniem trzech sekcji. W każdej z sekcji wyodrębniono trzy fazy: przyspieszania, jazdy z prędkością stałą i hamowania. Każda z sekcji jest oddzielona od następnej określonym odstępem czasu.



**Rys. 1** Profile prędkości w cyklach bazowych metody SORT

## 2. PODSTAWOWE WYMAGANIA PODCZAS POMIARU WG METODY SORT

Wykonywanie pomiaru według metody SORT wymaga spełnienia odpowiednich wymagań odnośnie: odcinka pomiarowego, warunków otoczenia, przygotowania i ustawień badanego pojazdu oraz stosowanej aparatury pomiarowej.

### A. Odcinek pomiarowy:

- prostoliniowy i płaski - maksymalne dopuszczalne nachylenie 1,5%,
- nawierzchnia sucha i o dobrej jakości,
- długość umożliwiająca wykonanie pełnego cyklu.

Wybór odcinka pomiarowego leży w gestii producenta pojazdu lub zlecającego badania.

### B. Warunki otoczenia w czasie realizacji pomiaru:

- temperatura:  $0 \div 30$  °C,
- wilgotność względna: poniżej 95 %,
- prędkość wiatru: poniżej 3 m/s, dopuszczalna w porywach do 8 m/s.

### C. Przygotowanie badanego pojazdu:

- obciążenie zgodnie z wytycznymi punktów 1.3 i 1.4, zakładki 2 dokumentu SORT,
- sprawdzenie stanu technicznego pojazdu,
- sprawdzenie / uzupełnienie do poziomów nominalnych płynów eksploatacyjnych,
- sprawdzenie / uzupełnienie do wartości nominalnej ciśnienia w ogumieniu.

### D. Ustawienia pojazdu w trakcie pomiaru (ważniejsze):

- skrzynia biegów: w pozycji **D** (drive),
- klimatyzacja i ogrzewanie: wyłączone,
- oświetlenie zewnętrzne: włączone światła do jazdy dziennej,
- oświetlenie wewnętrzne i inne elementy wyposażenia elektrycznego: wyłączone,
- otwieranie drzwi: przy ostatnim postoju.

### E. Aparatura badawcza (dokładność):

- pomiar zużycia paliwa  $\pm 2$  %,
- pomiar prędkości  $\pm 0,5$  %,
- pomiar odległości  $\pm 0,2$  % (dla pomiaru długości odcinków pomiarowych).

Podstawowym wymaganiem jest wykonywanie pomiarów w obu kierunkach na tym samym odcinku, co pozwala zminimalizować wpływ niektórych czynników na wynik pomiarów (np. wiatru, ewentualnego nachylenia drogi). Ponadto wymagane jest przeprowadzanie pomiarów bezpośrednio po sobie, co pozwala utrzymać odpowiedni stan cieplny układu napędowego i jezdnego.




Wszystkie wymienione powyżej parametry oraz dane identyfikacyjne badanego autobusu muszą zostać odnotowywane w sprawozdaniu z badań.

### 3. REALIZACJA METODY SORT W BOSMAL

#### 3. 1 Charakterystyka urządzeń pomiarowych

Charakterystykę ważniejszych czujników i rejestratora, stosowanych podczas badań zużycia paliwa wg metody SORT, przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1** Parametry techniczne podstawowych 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 medium roboczego	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

Wszystkie przyrządy pomiarowe, używane w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL, są poddawane okresowemu sprawdzaniu zgodności metrologicznej - wzorcowaniu.

Pomiar zużycia paliwa jest realizowany metodą przepływową, za pomocą paliwomierza zamontowanego w układzie zasilania silnika.

Pomiar prędkości i drogi wykonywany jest metodą bezstykową, za pomocą głowicy optycznej Correvit.

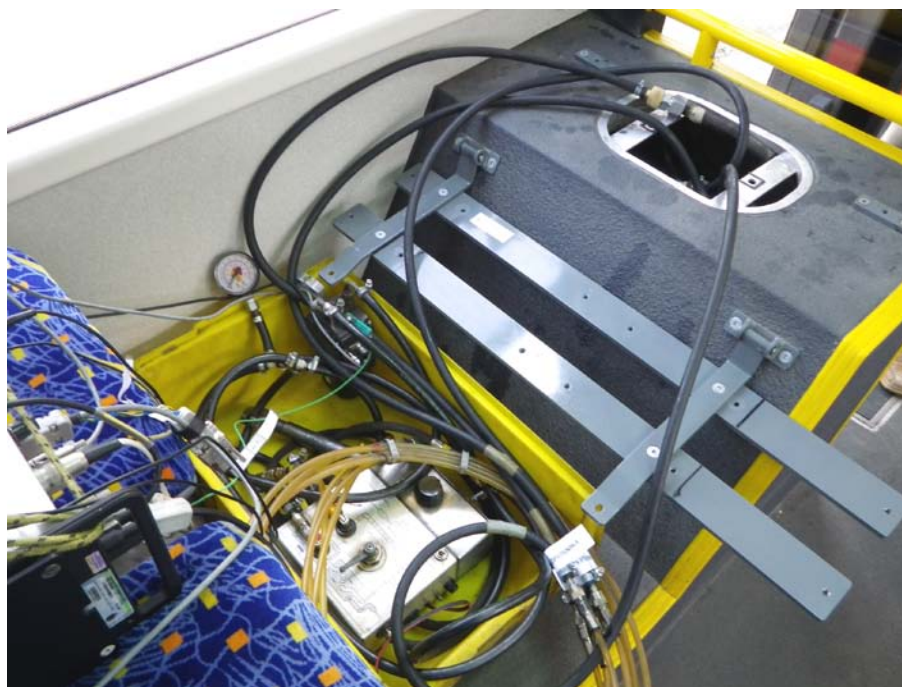
Przebieg cyklu jezdny jest realizowany przez kierowcę, poprzez podążanie za wyświetlanym na monitorze komputera diagramem wymaganej w cyklu jezdny SORT prędkości, na tle którego wyświetlana jest aktualna prędkość pojazdu - szczegóły są zaprezentowane w p. 3.2.

Zastosowanie dodatkowego zespołu Flowtronic (rys. 2), z odpowiednimi zaworami, wewnętrzną pompą i wymiennikiem ciepła, umożliwi wykonywanie pomiarów praktycznie przy każdym obecnie stosowanym systemie zasilania paliwami płynnymi. Dzięki temu rozwiązaniu, możliwe jest między innymi podłączenie przepływomierza pomiędzy zbiornikiem paliwa a zespołem filtrującym, także w układach bez pompy paliwa w zbiorniku i z przelewem paliwa do zbiornika.



**Rys. 2** Zespół Flowtronic 4706

Na rys. 3 ÷ 5 przedstawiono elementy systemu pomiarowego, po zamontowaniu w autobusie miejskim.



**Rys. 3** System pomiarowy zużycia paliwa – podłączenie przy zbiorniku pojazdu





**Rys. 4** Głowica optyczna Correvit zamontowana na pojeździe (pomiar prędkości i drogi)

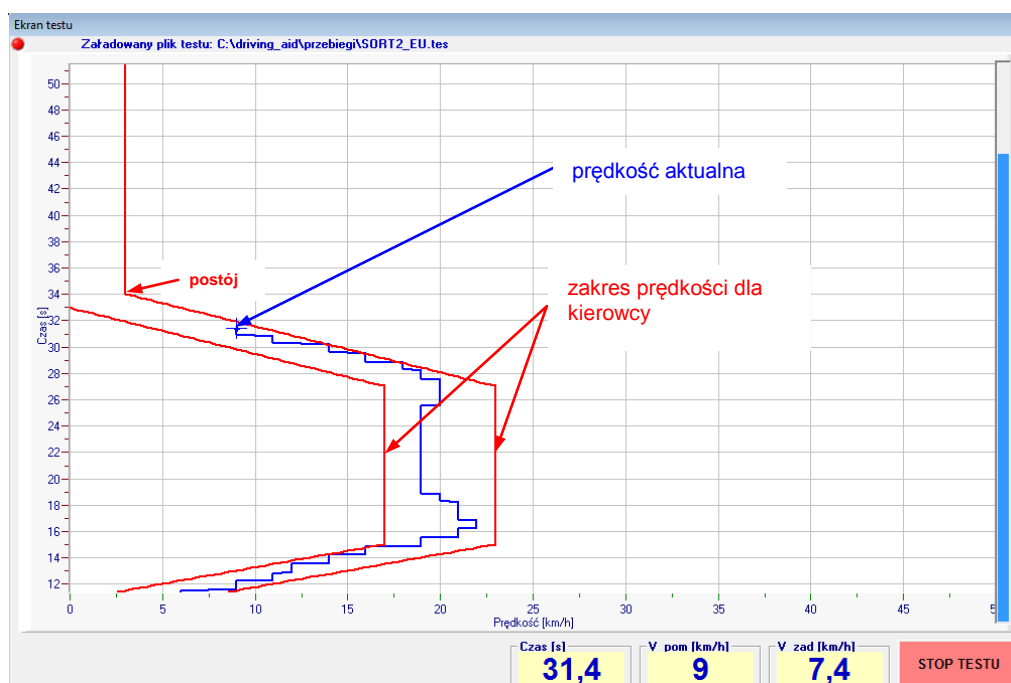


**Rys. 5** Elementy systemu rejestracji danych w pojeździe

### 3.2 Realizacja cyklu jezdnego

Procedura SORT rekomenduje metodykę polegającą na odmierzeniu odcinków drogi dla danego cyklu bazowego, poprzez ustawienie pachółków wyznaczających miejsce zmiany faz ruchu. W ramach każdej z sekcji należy oznaczyć 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 wielu przejazdów dla uzyskania właściwej techniki jazdy przez kierowcę.

W celu uzyskania lepszego odwzorowania cyklu jezdnego, a także usprawnienia procesu przygotowania pomiaru, w Zakładzie Badań Drogowych Instytutu Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL zastosowano procedurę alternatywną. W ramach tej procedury 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 funkcji czasu) oraz aktualną prędkość pojazdu pobieraną z czujnika optycznego typu Correvit. Wymagany cykl bazowy jest realizowany przez kierowcę poprzez ciągłą obserwację przewijającego się na monitorze diagramu i taki sposób jazdy, aby minimalizować odchylenie prędkości chwilowej od prędkości zadanej, wynikającej z realizacji cyklu - rys. 6 i rys. 7.



Rys. 6 Diagram z przebiegiem zakresu prędkości wymaganej i prędkości chwilowej



**Rys. 7** Realizacja cyklu SORT przez kierowcę

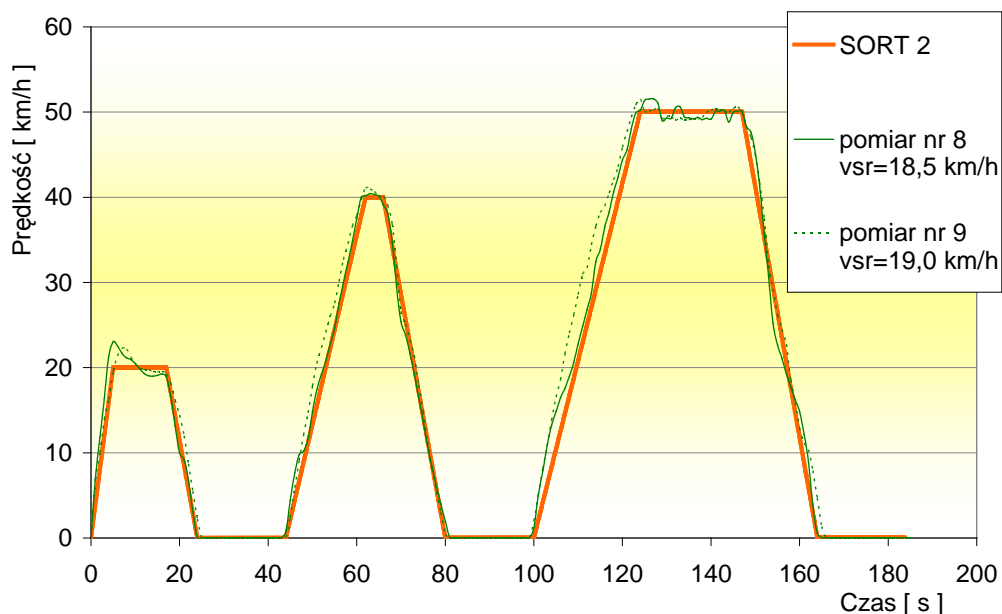
Zastosowana metoda pozwala na opanowanie w krótkim czasie odpowiedniej techniki jazdy przez kierowcę, nawet jeśli nie wykonywał on wcześniej podobnych jazd testowych i w konsekwencji uzyskanie profilu prędkości odpowiadającego wymaganiom metody SORT już po wykonaniu kilku przejazdów próbnych.

Na rys. 8 przedstawiono zarejestrowane profile prędkości dla pomiarów w cyklu bazowym SORT 2, wykonywanym na autobusie miejskim o długości całkowitej 12 m. Przedstawione profile są uznane za prawidłowe, ponieważ spełniają następujące warunki wymagane w metodyce SORT:

- zachowanie zalecanej tolerancji w fazie jazdy ze stałą prędkością na poziomie  $\pm 1$  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 równomierna.

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





**Rys. 8** Profile prędkości odpowiadające warunkom cyklu bazowego

### 3.3 Opracowanie wyników badań

W celu wyznaczenia reprezentatywnej wartości średniej z serii pomiarów zużycia paliwa stosowana jest odpowiednia procedura podana w metodyce SORT.

Procedura ta obejmuje następujące etapy:

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

$$\delta_i = \frac{x_{i+2} - x_i}{x_i} \cdot 100\% \quad (1)$$

- wybór grupy trzech kolejnych pomiarów dla danego kierunku ruchu o najmniejszej względnej różnicy  $\delta$  (zalecane  $\delta < 2$ ),
- powtórzenie czynności a) do c) dla przeciwnego kierunku ruchu,
- obliczanie średniej arytmetycznej z wybranych dwóch grup pomiarów, po jednej dla każdego kierunku ruchu.

W praktyce zastosowanie powyższej procedury oznacza zazwyczaj konieczność wykonania większej liczby przejazdów pomiarowych. W pierwszej kolejności, z otrzymanych wyników zostają odrzucone przejazdy o niewłaściwym profilu prędkości. W następnym kroku wyniki zużycia paliwa z pozostałych przejazdów (uznanych za prawidłowe) są klasyfikowane wg opisanej wyżej metody.

Kolejnym etapem opracowania wyników badań jest skorygowanie wyników ze względu na temperaturę paliwa, według zależności:

$$C_r = C \cdot [1 + \alpha \cdot (t_o - t_p)] \quad (2)$$

gdzie:

$C_r$  - zużycie paliwa skorygowane [ $\text{dm}^3/100 \text{ km}$ ],

$C$  - zużycie paliwa zmierzone [ $\text{dm}^3/100 \text{ km}$ ],

$\alpha$  - współczynnik rozszerzalności objętościowej paliwa,

$t_o$  - temperatura odniesienia -  $20^\circ\text{C}$ ,

$t_p$  - temperatura paliwa w trakcie pomiarów [ $^\circ\text{C}$ ].

Ostatecznie, wynik zużycia paliwa dla danego cyklu bazowego jest obliczany jako średnia arytmetyczna z wartości zredukowanych (po 3 w każdym kierunku), z jednoczesnym wskazaniem niepewności pomiaru. Przykład opracowania, zgodnie z zalecaną procedurą, wyników pomiarów zużycia paliwa uzyskanych w teście bazowym SORT 2 przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2** Przykładowe wyniki pomiarów

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

#### 4. PODSUMOWANIE

1. Przedstawiona procedura pomiarowa charakteryzuje się znacznym stopniem dokładności i powtarzalności w zakresie realizacji profili prędkości, odpowiadających wymaganiom testów SORT.
2. Doświadczenie oraz posiadana przez BOSMAL aparatura pomiarowa, pozwalają na wykonywanie pomiarów zużycia paliwa wg metodyki SORT dla wszystkich aktualnie stosowanych układów zasilania konwencjonalnymi paliwami płynnymi (ON, benzyna i biopaliwa).
3. Istnieje możliwość rozszerzenia zakresu badań o pojazdy zasilane gazami LPG, CNG, LNG, w przypadku wystąpienia zapotrzebowania na takie badania.
4. Do tej pory Zakład Badań Drogowych BOSMAL wykonał pomiary wg metodyki SORT dla ok. **dwudziestu autobusów, pięciu producentów.**