

Jacek KROPIWNICKI, Sławomir MAKOWSKI

## TRASA PRZEJAZDU JAKO CZYNNIK DETERMINUJĄCY WARUNKI EKSPLOATACJI POJAZDU

### *Streszczenie*

*W pracy przedstawiona została metoda opisu warunków eksploatacji pojazdu przy użyciu założonej trasy przejazdu. Proponowana metoda może być użyta do łatwej oceny efektywności ekonomicznej układów napędowych autobusów miejskich, w warunkach eksploatacji charakterystycznych dla danego miasta, uwzględniających takie czynniki jak warunki klimatyczne, ukształtowanie terenu, warunki ruchu drogowego, liczbę przewożonych pasażerów.*

### WSTĘP

Badania emisji toksycznych składników spalin, a także zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub> przez pojazdy są od wielu lat prowadzone przy użyciu modeli eksploatacji. Modele te można podzielić na:

- testy jezdne realizowane na hamowni podwoziowej (odtworzenie założonej zależności prędkości pojazdu od czasu),
- testy silnikowe wykonywane na hamowni silnikowej (stacjonarne i prowadzone w stanach nieustalonych).

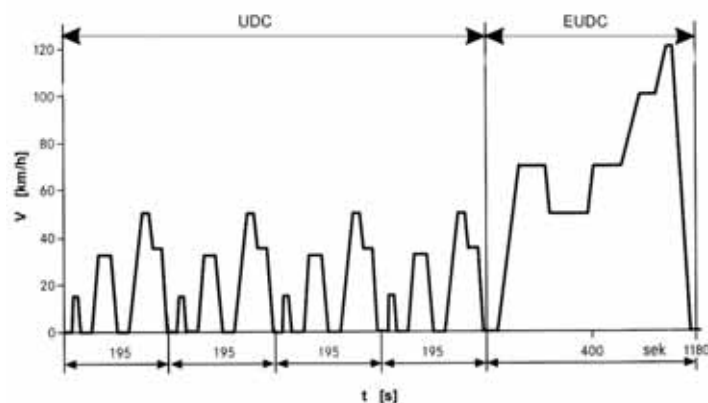
Testy jezdne najczęściej dotyczą samochodów osobowych i dostawczych o dopuszczalnej masie całkowitej DMC < 3,5 Mg. Wynika to przede wszystkim z obowiązujących przepisów prawnych. Pewne znaczenie ma też fakt, że hamownie podwoziowe do badania pojazdów o DMC > 3,5 Mg mają duże wymiary gabarytowe i są bardzo drogie. Mimo to ostatnio zarysowała się tendencja do badań takich pojazdów na hamowni podwoziowej, przy użyciu specjalnie opracowanych testów jezdnych [2, 10]. Dotyczy to zwłaszcza autobusów miejskich, dla których sformułowano takie testy, jak Braunschweig City Driving Cycle, Evobus Cycle, RATP Aq4 21 Cycle, TEC Urban Cycle (Unia Europejska), czy też Manhattan Bus Cycle, New York Bus Cycle, Orange County Bus Cycle (Stany Zjednoczone).

Opisane w dalszej części artykułu wady testów jezdnych wykonywanych na hamowni podwoziowej spowodowały zainteresowanie się badaniami drogowymi autobusów, prowadzonymi w sposób umożliwiający porównywanie wyników. W tym celu sformułowano uproszczone profile prędkości autobusów w warunkach miejskich i pozamiejskich – testy SORT (Standardised On-Road Test Cycles) [10].

Dalszym uproszczeniem procedury badawczej może być proponowane użycie założonej trasy przejazdu jako metody opisu warunków eksploatacji autobusu.

## 1. TESTY JEZDNE WYKONYWANE NA HAMOWNI PODWOZIOWEJ

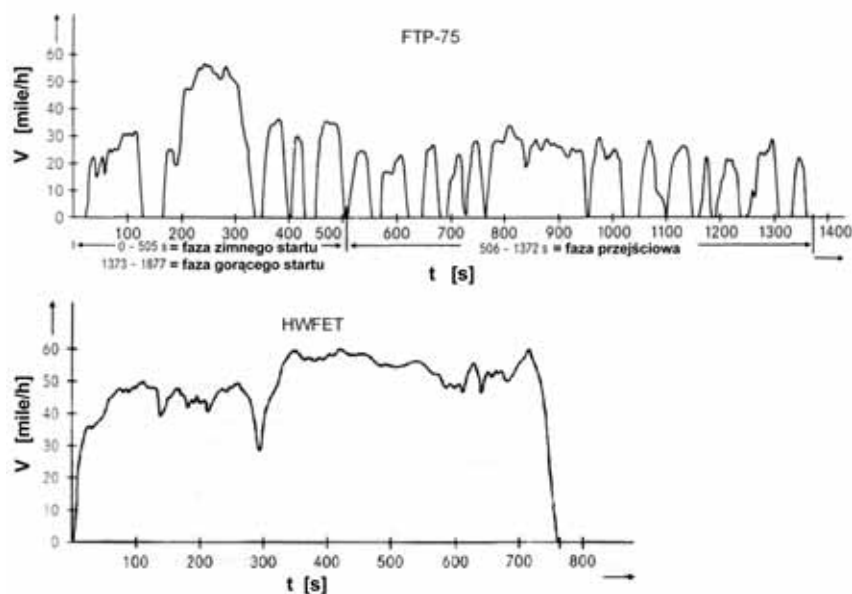
Jedną z najpopularniejszych metod opisu warunków eksploatacji pojazdu jest wyznaczenie wzorcowego profilu prędkości pojazdu poruszającego się na wybranym obszarze miasta, dzielnicy lub regionu [2, 3, 6, 7, 8, 11]. Zwyczajowo wyznaczany jest oddzielny profil prędkości dla jazdy w warunkach miejskich i pozamiejskich. Opisowi temu towarzyszy więc ekspercka klasyfikacja warunków eksploatacji na miejskie i pozamiejskie. W pewnych sytuacjach wyróżniane są także inne typy warunków, np. jazda po autostradzie, ruch Stop & Go [5]. Klasyfikacja warunków eksploatacji jest też konsekwencją przyjętych przez poszczególne państwa testów jezdnych używanych do badań homologacyjnych pojazdów na zawartość składników toksycznych w spalinach. Test NEDC (New European Driving Cycle) [2] wykonywany jest w Europie zgodnie z obowiązującą w Unii Europejskiej dyrektywą. Składa się on z dwóch części (rys. 1): segmentu miejskiego UDC (Urban Driving Cycle) oraz segmentu pozamiejskiego EUDC (Extra Urban Driving Cycle).



Rys. 1. Przebieg prędkości w teście NEDC

Źródło: [2].

W USA opracowany został podobny test FTP-75 przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska EPA odwzorowujący ruch w mieście oraz test HWFET odwzorowujący ruch poza miastem (rys. 2) [2].



Rys. 2. Przebieg prędkości w teście FTP-75 i HWFET

Źródło: [2].

Przedstawione testy mają w założeniach odwzorowywać typowe warunki ruchu pojazdów w mieście lub poza miastem, które zostały rozpoznane w drodze badań rzeczywistego ruchu drogowego. Testy FTP-75 i UDC różnią się jednak znacząco od siebie nie tylko ze względu na inne warunki ruchu pojazdów w USA i Europie, ale również ze względu na metodykę konstrukcji samego testu. Test FTP-75 jest zapisem rzeczywistego przebiegu prędkości w czasie, a test UDC jest przebiegiem prędkości w postaci uproszczonych elementów określonych na podstawie badań statystycznych warunków ruchu. Realizowaniu powyższych profili prędkości pojazdów na hamowni podwoziowej przez kierowców testowych towarzyszy kontrola składu spalin. Na podstawie składu spalin określane jest następnie zużycie paliwa metodą bilansu węgla.

Mimo, że profil prędkości testu NEDC został opracowany w latach 60. (UDC) i 80. (EUDC) ubiegłego stulecia, to nadal jest wykorzystywany przez producentów samochodów do określania zużycia paliwa pojazdów w warunkach klasyfikowanych według podobnych kryteriów jak czynią to kierowcy. Segment miejski profilu prędkości służy do wyznaczenia zużycia paliwa podczas jazdy w mieście, a segment pozamijski podczas jazdy poza miastem. Dla współczesnych warunków ruchu wyniki takich testów nie są jednak reprezentatywne, a obserwowane różnice w przebiegowym zużyciu paliwa osiągają bardzo duże wartości. Przykładowo średnie przebiegowe zużycie paliwa dla jazdy w Paryżu dwunastu samochodów osobowych z silnikami ZI jest według testu reprezentatywnego dla tego miasta o 89% wyższe niż wynikające z badań na hamowni według testu NEDC [4].

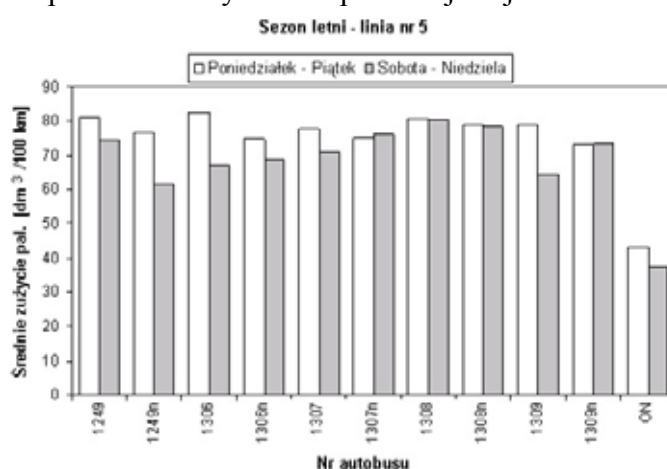
W USA stwierdzano również istotne różnice zużyciu paliwa w rzeczywistym i prognozowanym na podstawie amerykańskich testów homologacyjnych [6]. Użytkownicy samochodów także obserwują większe zużycie paliwa w eksploatacji niż jest to wykazywane przez producentów samochodów na podstawie badań homologacyjnych według testu NEDC. Tworzenie testów reprezentatywnych dla jednego miasta bądź dzielnicy nie wydaje się rozwiązaniem perspektywicznym chociażby ze względu na skalę takiego przedsięwzięcia. Testy takie, przy aktualnej dynamice rozwoju motoryzacji i infrastruktury miast, należałoby często aktualizować.

## 2. ZAŁOŻONA TRASA PRZEJAZDU JAKO MODEL EKSPLOATACJI

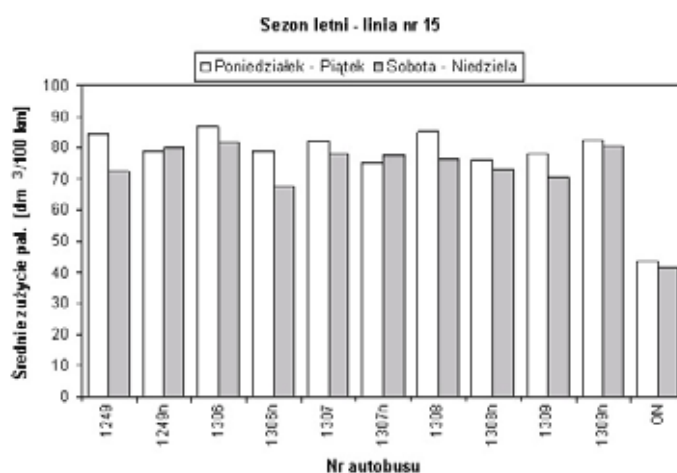
Metoda założonej trasy przejazdu może być powszechnie wykorzystywana przez przedsiębiorstwa komunikacyjne. Trasa przejazdu jest wówczas związana z konkretną linią autobusową. Liczba skrzyżowań z sygnalizacją świetlną oraz liczba przystanków jest powtarzalna, natomiast zmiana natężenia ruchu, ze względu na porę dnia, tygodnia oraz roku, różnicuje warunki eksploatacji. Metoda ta może być oczywiście stosowana w odniesieniu do pojazdów o podobnych gabarytach, przestrzeni pasażerskiej oraz typach silników.

Wykorzystując powyższą metodę, w firmie komunikacyjnej MZK Słupsk przeprowadzono z udziałem autorów badania właściwości ekologicznych autobusów miejskich zasilanych paliwem etanolem [1, 9]. Przedmiotem wykonanych analiz było określenie rzeczywistych warunków eksploatacji pięciu autobusów Scania OmniLink zasilanych paliwem etanolem E95 wyrażonych liczbą kursów wykonywanych na poszczególnych liniach oraz określenie wpływu warunków eksploatacji na średnie przebiegowe zużycie paliwa. W okresie 6.11.2006 – 31.10.2008 na terenie Słupska eksploatowanych było również 8 autobusów Scania OmniCity o zbliżonej konstrukcji i masie, zasilanych olejem napędowym ON, których zużycie paliwa zostało użyte jako referencyjne. Autobusy tej grupy oznaczono symbolem ON. Prezentowane wyniki średniego zużycia paliwa wyrażane są w  $\text{dm}^3$  i odnoszą się do paliwa stosowanego w danym typie autobusu (E95 lub ON). Wstępna próba określenia wpływu warunków eksploatacji na średnie zużycie paliwa została przeprowadzona w 2007 roku [1]. W konsekwencji uzyskanych wyników kierownictwo MZK Słupsk, w porozumieniu z producentem autobusów, podjęło decyzję o zmianie przełożeń w przekładniach głównych autobusów zasilanych

paliwem E95. Zmiana przełożenia w przekładni głównej wiąże się z istotną modyfikacją układu napędowego autobusu. Z tego względu autobusy zasilane paliwem E95, po modyfikacji przekładni głównej, traktowane były jako nowe pojazdy, a ich oznaczenie uległo zmianie. Do oryginalnego numeru autobusu dodano literę „n”, np.: 1249n, 1306n, itd. Warunki eksploatacji uszczegółowiono w sposób następujący. Cały rok eksploatacji został arbitralnie podzielony na dwie części: sezon zimowy: 01.10 – 31.03, sezon letni: 01.04 – 30.09. Dni tygodnia również podzielono na dwie części: dni robocze (poniedziałek – piątek), weekend (sobota – niedziela). W analizie użyto następujących identyfikatorów warunków eksploatacji: numer autobusu, linia, pora roku oraz dzień tygodnia. Uwzględniono tylko wyniki uzyskane podczas eksploatacji autobusów na liniach o największej liczbie wykonanych kursów. Pozamiejskie warunki eksploatacji reprezentowane były kursami na liniach nr 4, 5 i 12, a miejskie na liniach nr 15, 16 i 19. Liczba odbytych kursów na tych liniach przez autobusy zasilane paliwem E95 mieści się w zakresie 100 – 1000, a przez grupę autobusów zasilanych olejem napędowym jest przeszło 10 razy większa. Przykładowo, na rysunkach 3 i 4 przedstawiono średnie zużycie paliwa w sezonie letnim przez autobusy na linii pozamiejskiej nr 5 oraz miejskiej nr 15.



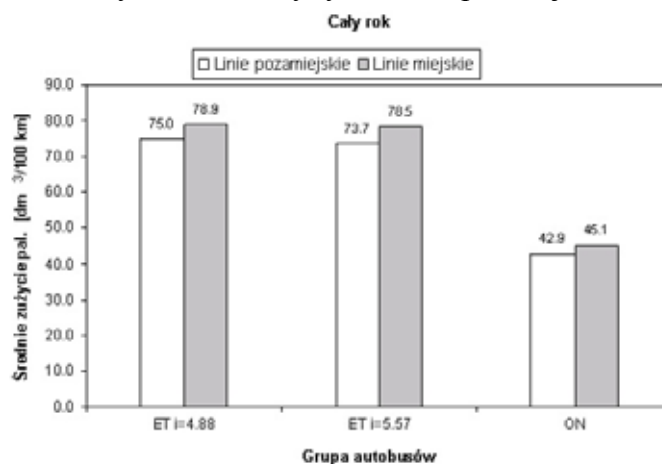
**Rys. 3.** Średnie zużycie paliwa przez autobusy w sezonie letnim na linii pozamiejskiej nr 5  
Źródło: [9].



**Rys. 4.** Średnie zużycie paliwa przez autobusy w sezonie letnim na linii miejskiej nr 15  
Źródło: [9].

Na podstawie analizy rysunków 3 i 4 można stwierdzić, że przy zachowaniu takich samych warunków eksploatacji (ta sama linia komunikacyjna, pora tygodnia oraz roku) obserwowane były wyraźne różnice w średnim zużyciu paliwa. Przy wyeliminowaniu wpływu sposobu kierowania autobusem na wynik (kilku kierowców prowadziło każdy z autobusów)

oznacza to, że autobusy te były wyposażone w układy napędowe o wyraźnie zróżnicowanej efektywności energetycznej. Można również zauważyć, że układy napędowe poszczególnych autobusów posiadają różną wrażliwość na porę tygodnia, zarówno co do wartości jak i kierunku zmian zużycia paliwa. Intuicyjnie wyrażany pogląd, iż pojazd powinien zużywać mniej paliwa w okresie weekendu potwierdzają natomiast wyniki uzyskane dla referencyjnej grupy autobusów zasilanej olejem napędowym (oznaczenie ON). Na rysunku 5 przedstawiono wyniki wpływu miejsca eksploatacji na średnie zużycie paliwa. Analizę przeprowadzono dla wyników uśrednionych za cały rok oraz cały tydzień eksploatacji.



**Rys. 5.** Wpływ miejsca eksploatacji na średnie zużycie paliwa przez autobusy  
Źródło: [9].

Na podstawie wyników zaprezentowanych na rysunku 5 można stwierdzić, że średnie zużycie paliwa jest mniejsze podczas eksploatacji na liniach pozamiejskich niż na liniach miejskich dla wszystkich grup autobusów (ET i = 4,88, ET i = 5,57 i ON). Różnice te wynoszą odpowiednio: 5%, 6% i 5%. Wpływ zmiany przełożenia przekładni głównej ( $z$  i = 4,88 na i = 5,57) na zmniejszenie zużycia paliwa etanolowego E95 jest nieznaczny i wynosi odpowiednio 1,8% i 0,5% na liniach pozamiejskich i miejskich. Przebiegowe zużycie paliwa etanolowego jest większe od zużycia oleju napędowego o ok. 74% w przypadkujazd miejskich i ok. 70% w przypadkujazd pozamiejskich. Różnica ta wynika bezpośrednio z okoliczności, iż wartość opałowa paliwa E95 wynosi ok. 21 MJ/dm<sup>3</sup>, zaś oleju napędowego ok. 36 MJ/dm<sup>3</sup>.

## PODSUMOWANIE

Proponowana metoda może być użyta do łatwej oceny efektywności ekonomicznej układów napędowych autobusów miejskich, w warunkach eksploatacji charakterystycznych dla danego miasta, uwzględniających takie czynniki jak ukształtowanie terenu (podjazdy na wzniesienia), warunki ruchu drogowego, liczbę przewożonych pasażerów, warunki klimatyczne. Uzyskane informacje można wykorzystać do wyboru konkretnego modelu autobusu (procedury przetargowe), optymalizacji układu napędowego (na przykład wyboru przełożenia przekładni głównej) oraz porównywania różnych pojazdów podczas eksploatacji.

## BIBLIOGRAFIA

1. Balcerski A., Kropiwnicki J., Makowski S., Senko J.: *Wstępna ocena wyników nadzorowanej eksploatacji autobusów miejskich w Słupsku zasilanych paliwem E95*, Bezpieczeństwo i ekonomia użytkowania samochodów ciężarowych i autobusów, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom, 2007, s. 23-32.



2. Barlow T.J., Latham S., McCrae I.S., Boulter P.G.: *A reference book of driving cycles for use in the measurements of road vehicle emissions*, Published Project Report PPR 354, TRL Limited, June 2009.
3. Casey E.J., Smith W.J., Timoney D.J.: *Examination of Low-cost Systems for the Determination of Kinematic Driving Cycles and Engine Operating Conditions in Dublin, Ireland*, SAE Technical Paper Series, 2009, 2009-01-2791.
4. Cayot J.F.: *Compared fuel consumption between gasoline and diesel cars during short urban drive*, Reducing automobile fuel consumption: a challenge for the turn of the century, Rueil-Malmaison, 1996.
5. Chłopek Z.: *Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
6. Gao Y., Checkel M.D.: *Experimental measurement of on-road CO<sub>2</sub> emission and fuel consumption functions*, SAE Technical Paper Series, 2007-01-1610.
7. Kawai T.: *Fuel Consumption Test Protocol Concept for Plug-in Hybrid Electric Vehicle*, SAE Technical Paper Series, 2009-01-1839.
8. Kulkarni A.V., Sapre R.R., Sonchal Ch.P.: *GPS – based methodology for drive cycle determination*, SAE Technical Paper Series, 2005-01-1060.
9. Makowski S., Balcerski A., Kropiwnicki J.: *Badania właściwości ekologicznych i nadzór nad eksploatacją autobusów miejskich zasilanych paliwem etanolem*, Sprawozdanie z pracy badawczej wykonanej na zamówienie MZK w Słupsku, Gdańsk, 2008.
10. *Standardised On-Road Test Cycles – SORT*, 54<sup>th</sup> UITP International Congress, London, 2001.
11. Verhaeven E.: *Simulations of fuel consumption and emissions in typical traffic circumstances*, SAE Technical Paper Series, 2005-01-2159.

## TRANSIT ROUTE AS A FACTOR FOR DETERMINING EXPLOITATION CONDITIONS OF A VEHICLE

### *Abstract*

*Method of describing exploitation conditions of a vehicle by utilizing an assumed route of transit has been presented in the paper. Proposed method may be used to easily assess the economical effectiveness of a power transmission system of a city bus in work conditions specific for a given city such as climate, terrain, road traffic and number of passengers.*

### **Autorzy:**

dr inż. **Jacek Kropiwnicki** – Politechnika Gdańska

dr inż. **Sławomir Makowski** – Politechnika Gdańska