

MERKISZ Jerzy¹
 MOLIK Piotr²
 NOWAK Mateusz³
 ZIÓLKOWSKI Andrzej⁴

Cykle jezdne pojazdów komunikacji miejskiej na przykładzie aglomeracji poznańskiej

*Cykl jezdny, pojazdy komunikacji miejskiej,
 badania drogowe*

Streszczenie

Globalna polityka zrównoważonego wykorzystywania konwencjonalnych źródeł energii powoduje ciągły wzrost cen podstawowych surowców energetycznych takich jak ropa naftowa, węgiel kamienny czy gaz ziemny [4]. Ze względu na powyższy fakt operatorzy komunikacji największych aglomeracji miejskich oczekują od producentów pojazdów produktów, które cechować ma małe przebiegowe zużycie paliwa i mała emisja spalin. Spełnienie tych kryteriów w wielu przypadkach wymaga optymalnego dopasowania charakterystyki pracy spalinowych jednostek napędowych do warunków eksploatacji. W tym celu za zasadne uznaje się wyznaczenie reprezentatywnych cykli jezdnych danej aglomeracji, które posłużą do oceny właściwości eksploatacyjnych autobusów. W artykule przedstawiono główne cykle jezdne pojazdów komunikacji miejskiej wykorzystywane w wielu pracach naukowo-badawczych, m.in. testy SORT czy Braunschweig Cycle. Następnie na podstawie przeprowadzonych badań autobusów w rzeczywistych warunkach ruchu wyznaczono przykładowe cykle jezdne dla aglomeracji poznańskiej w odniesieniu do warunków otoczenia i bezpośrednio do pojazdu.

DRIVING CYCLES FOR PUBLIC TRANSPORT VEHICLES FOR EXAMPLE OF POZNAAN AGLOMERATION

Abstract

The global politics of sustainable use of conventional energy sources causes a continuous increase in prices of fossil fuels such as oil, coal and natural gas [4]. Due to that fact communication are operators are the largest urban agglomerations expect vehicle manufacturers of products that characterize little mileage fuel consumption and low exhaust emissions. The fulfillment of these criteria in many cases requires optimal matching performance characteristics of combustion engines to operating conditions. To that end, deemed it appropriate to appoint a representative cycles of the agglomeration, which will be used to assess the operational characteristics of buses. The article presents the main driving cycles in public transport vehicles used in many research works, including SORT tests and Braunschweig Cycle. Then, based on studies of buses in real traffic conditions set sample driving cycles agglomeration in relation to environmental conditions and directly to the vehicle.

1. WSTĘP

Według raportu opublikowanego przez wrocławską firmę „JMK analizy rynku transportowego” w Polsce w pierwszych III kwartałach 2011 roku wyprodukowano 2967 autobusów, co stanowiło wzrost produkcji o 8,9% w odniesieniu do roku 2010 [1]. Największym producentem autobusów na rynku polskim była niemiecka firma MAN, której udział w produkcji wyniósł 35% (rys. 1.). Na drugim miejscu znajdował się polski producent autobusów komunikacji miejskiej firma Solaris Bus & Coach, która wyprodukowała 695 autobusów i 41 trolejbusów. Firma Solaris w swojej ofercie posiada również autobusy komunikacji miejskiej wykorzystujące alternatywne źródła napędów. Należy tutaj przede wszystkim wymienić pierwszy seryjnie produkowany w Polsce autobus elektryczny Urbino Electric. Dodatkowo firma oferuje pojazdy wykorzystujące napęd hybrydowy o konfiguracji równoległej bądź szeregowej.

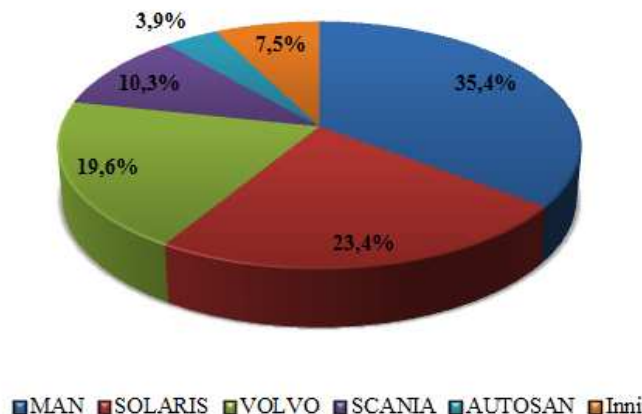
W 2010 roku w Europie wyprodukowano 32 339 autobusów [6]. Liderem w produkcji autobusów była Szwecja, która wyprodukowała 10 000 pojazdów (tab. 1). Na drugim miejscu znajdowały się Niemcy z liczbą 6936. Na trzecim miejscu znajdowała się Polska, której udział w europejskim rynku produkcji autobusów wyniósł 13%. Fakt ten świadczy, iż Polska jest liczącym się krajem w sektorze produkcji pojazdów użytkowych.

¹ Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu; ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, POLSKA
 Tel: (+48) 61 665-22-07, fax: (+48) 61 665-22-04, E-mail: jerzy.merkisz@put.poznan.pl

² Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu; ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, POLSKA
 Tel: (+48) 61 647-58-62, fax: (+48) 61 665-22-04, E-mail: piotr.c.molik@doctorate.put.poznan.pl

³ Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu; ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, POLSKA
 Tel: (+48) 61 647-58-62, fax: (+48) 61 665-22-04, E-mail: mateusz.sl.nowak@doctorate.put.poznan.pl

⁴ Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu; ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, POLSKA
 Tel: (+48) 61 647-58-62, fax: (+48) 61 665-22-04, E-mail: andrzej.wo.ziolkowski@doctorate.put.poznan.pl



Rys. 1. Udział produkcji autobusów w pierwszych III kwartałach 2011 roku [5]

Tab. 1. Charakterystyka produkcji autobusów w Europie w 2010 roku [6]

Kraj	Liczba wyprodukowanych pojazdów	Udział w rynku [%]
Szwecja	10 000	30,9
Niemcy	6936	21,4
Polska	4168	12,9
Francja	3436	10,6
Czechy	2711	8,4
Wielka Brytania	1508	4,7
Holandia	1317	4,1
Włochy	1130	3,5
Belgia	430	1,3
Hiszpania	254	0,8
Węgry	130	0,4
Inne	319	1,0

2. ZNORMALIZOWANE EUROPEJSKIE CYKLE JEZDNE DLA POJAZDÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

W literaturze cykl jezdny określany jest jako profil ruchu pojazdu zdefiniowany funkcją zmiany prędkości pojazdu $V = f(t)$, funkcją zmiany prędkości obrotowej wału korbowego silnika spalinowego $n = f(t)$ oraz zmianą obciążenia silnika $M = f(t)$. Powtarzalne cykle jezdne stanowią podstawę analizy energetycznej pojazdu.

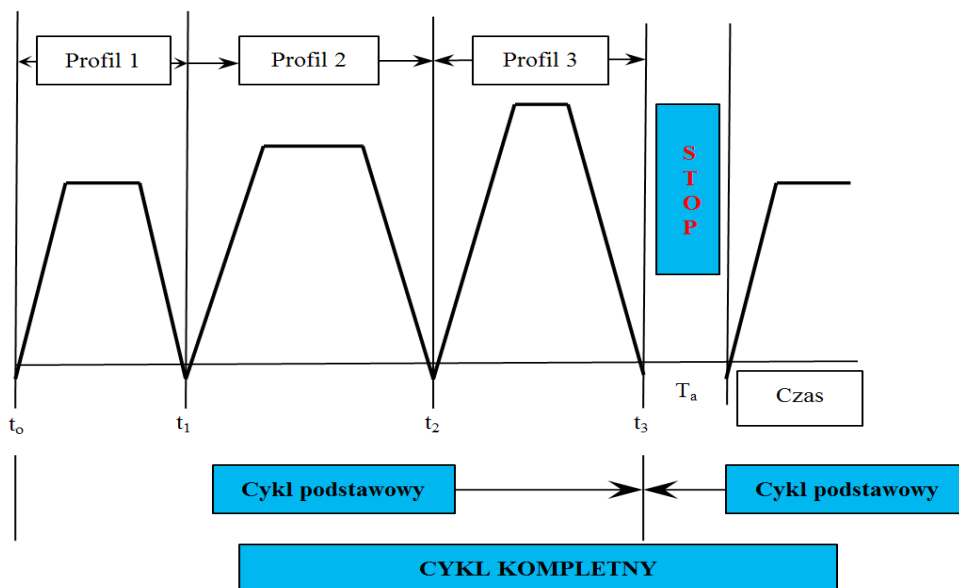
Dla cykli w postaci $V = f(t)$ wprowadzono następujące definicje cykli [1]:

- **cykl statystyczny** – zlinearyzowany rozkład prędkości w czasie uzyskany metodami statystyki, który obrazuje średnie warunki jazdy w mieście w postaci hamowań i postojów uwzględniający w dużym zakresie właściwości komunikacyjne danej aglomeracji;
- **cykl rzeczywisty** – rozkład prędkości w czasie dla danego pojazdu poruszającego się cyklicznie po wcześniej ustalonej trasie;
- **cykl prosty jazdy** – rozkład prędkości w czasie dla ruchu przyspieszonego, ustalonego i opóźnionego, przy czym przyspieszenie i opóźnienie jest stałe i równe sobie co do wartości bezwzględnej;
- **cykl zastępczy, reprezentatywny** – cykl prosty uzyskany przez redukcję rzeczywistego cyklu jezdneho.

Wiele europejskich przedsiębiorstw komunikacji miejskiej zmagając się ze wzrastającymi kosztami eksploatacji taboru poszukuje pojazdów charakteryzujących się niskim przebiegowym zużyciem paliwa, a także niską emisją spalin (ze względu na wprowadzenie w wielu miastach tzw. zielonych stref). Aby zakupić autobusy spełniające powyższe kryteria należałoby przeprowadzić pomiary przebiegowego zużycia paliwa w cyklach jezdnych reprezentujących daną aglomerację miejską. Z praktycznego punktu widzenia znacznie utrudniłoby to procedury przetargowe. W celu ułatwienia i ujednoczenia procedur pomiaru przebiegowego zużycia paliwa dla autobusów UITP (*International Association of Public Transport*) opracowała testy jezdne SORT (*Standardised On-Road Tests*), które mogą być przeprowadzane na hamowni podwoziowej bądź w rzeczywistych warunkach ruchu. Podstawową ideą tych testów jest możliwość zbudowania wielomodułowego testu składającego z podstawowych cykli, które odzwierciedlają warunki ruchu w danym mieście. Kluczowymi parametrami decydującym o przydatności testów jezdnych jest ich powtarzalność, prostota i dokładność. Dlatego też zaproponowane testy jezdne SORT składają się z długich cykli, a te z powtarzalnych modułów, dzięki czemu kierowca testowy po ustabilizowaniu stylu jazdy jest w stanie osiągnąć dużą powtarzalność przejazdów [2].

Podstawowy moduł cyklu opisany jest przez średnią prędkość jazdy, długość trasy i czas pokonywania przejazdu. Parametry te tworzą profil prędkości charakterystyczny dla danej trasy z uwzględnieniem zatrzymywania się na przystankach i na światłach, ruszania z przystanku oraz jazdy ze stałą prędkością. Struktura kompletnego cyklu powinna się składać z (rys. 2):

- liczby profili prędkości;
- liczby cykli podstawowych;
- wartości przyspieszenia;
- wartości opóźnienia (hamowania);
- prędkości maksymalnej;
- czasu postoju na przystankach.



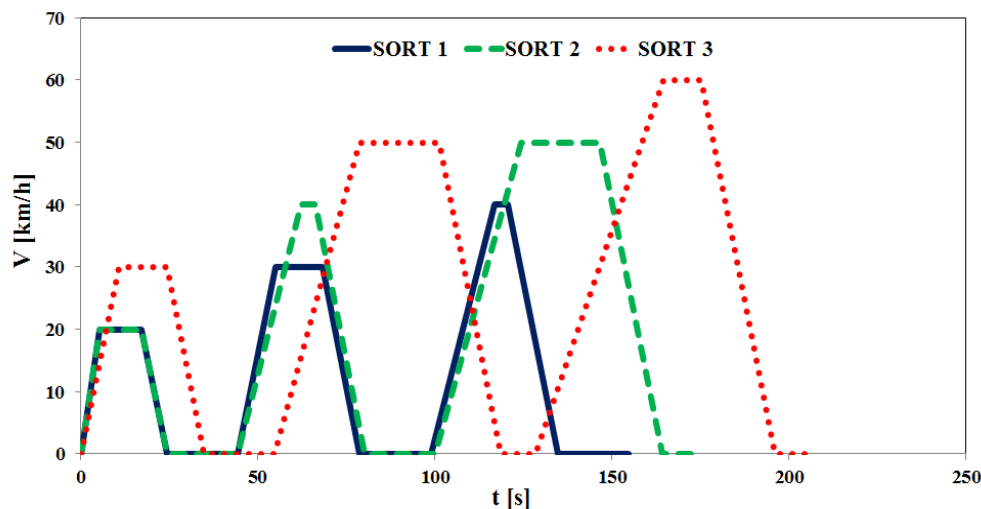
Rys. 2. Proponowana struktura kompletnego cyklu jezdnego

Po przeprowadzeniu badań weryfikacyjnych UITP ustaliła, iż najlepszym rozwiązaniem jest zaproponowanie trzech typów testów (rys. 3), których charakterystyka jest przedstawiona w tabelicy 2 [2]:

- SORT 1 – *Heavy Urban*,
- SORT 2 – *Easy Urban*,
- SORT 3 – *Suburban*.

Tab.2. Charakterystyka testów SORT [2]

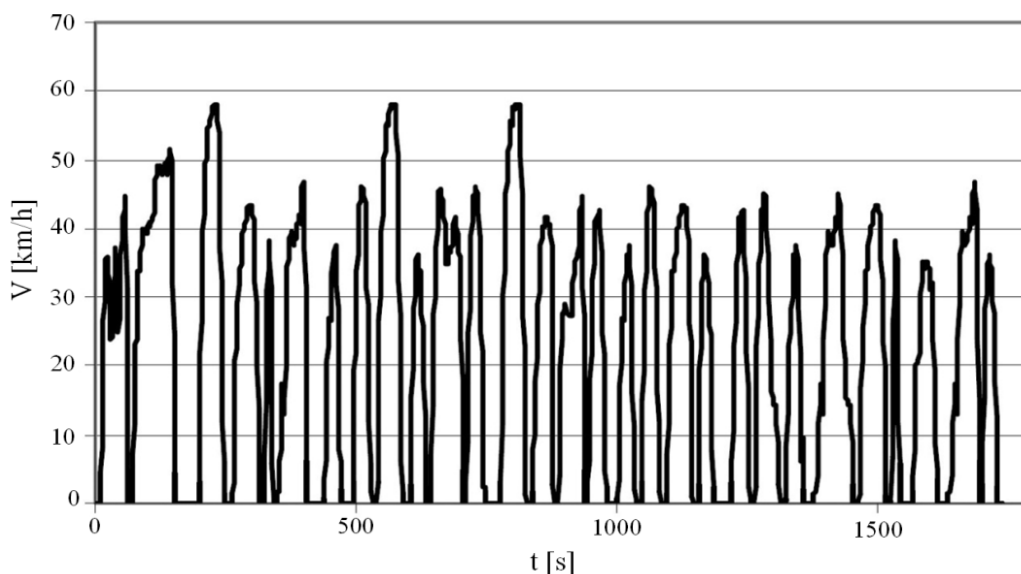
	SORT 1	SORT 2	SORT 3
Prędkość średnia [km/h]	12,6	18,6	26,3
Udział postoju w teście [%]	39,7	33,4	20,1
Prędkość stała w profilu 1 [km/h]/[m]	20/100	20/100	30/200
Przyspieszenie w profilu 1 [m/s ²]	1,03	1,03	0,77
Prędkość stała w profilu 2 [km/h]/[m]	20/200	40/220	50/600
Przyspieszenie w profilu 2 [m/s ²]	0,77	0,62	0,57
Prędkość stała w profilu 3 [km/h]/[m]	40/220	50/600	60/650
Przyspieszenie w profilu 3 [m/s ²]	0,62	0,57	0,46
Czas postoju po każdym profilu [s]	20/20/20	20/20/20	20/10/10
Droga pokonywana w teście [m]	520	920	1450
Opóźnienie w profilach prędkości [m/s ²]	0,8	0,8	0,8



Rys. 3. Przebieg testów jezdnych jako funkcja czasu; $V = f(t)$

Drugim cyklem jezdnym najczęściej wykorzystywanym do badań pojazdów komunikacji miejskiej jest test Braunschweig Cycle (rys. 4). Test ten opracowano na Uniwersytecie Technicznych w Braunschweigu i zakłada odwzorowanie ruchu pojazdu w warunkach rzeczywistych z częstymi przystankami. Cykl ten zaliczany jest do grupy najcięższych cykli jezdnych i jest wykorzystywany w wielu projektach naukowo-badawczych. Cykl Braunschweig cechują następujące założenia [5]:

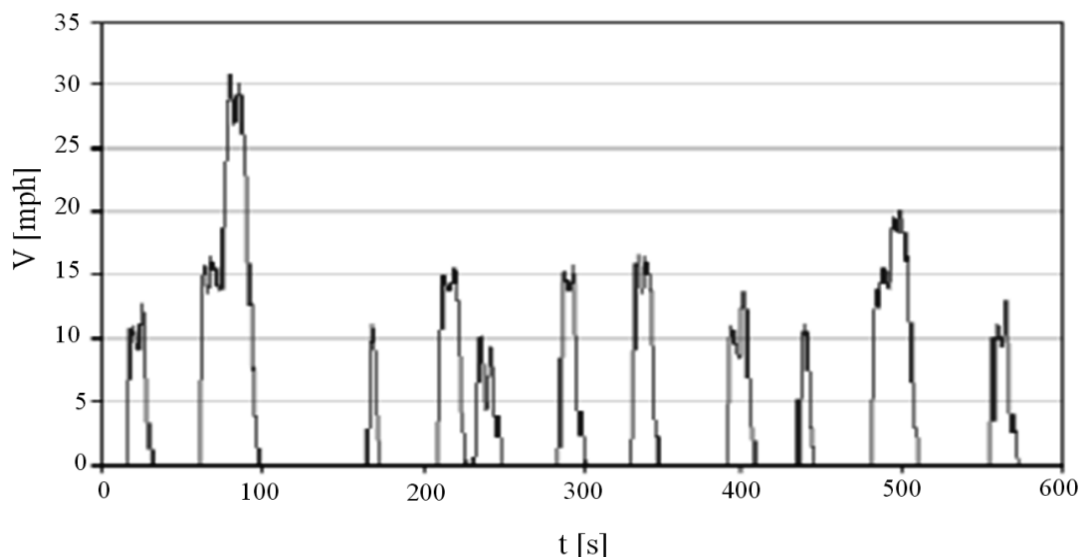
- czas trwania: 1740 s;
- średnia prędkość pojazdu: 22,9 km/h;
- prędkość maksymalna pojazdu: 58,2 km/h;
- udział biegu jałowego w teście wynosi 22% (pierwszy i ostatni segment nie zawierają udziału biegu jałowego);
- droga: 11 km.



Rys. 4. Przebieg testu jezdneho Braunschweig Cycle jako funkcja czasu $V = f(t)$

W Stanach Zjednoczonych do badań przebiegowego zużycia paliwa oraz emisji spalin pojazdów użytkowych wykorzystuje się głównie dwa cykle jezdne: New York Bus Cycle oraz Manhattan Bus Cycle. Cykl New York Bus Cycle odzwierciedla rzeczywisty profil prędkości autobusów poruszających się po Nowym Jorku – częste przystanki, duże przyspieszenia oraz niska prędkość (rys. 5). Poniżej przedstawiono wybrane parametry cyklu jezdneho[5]:

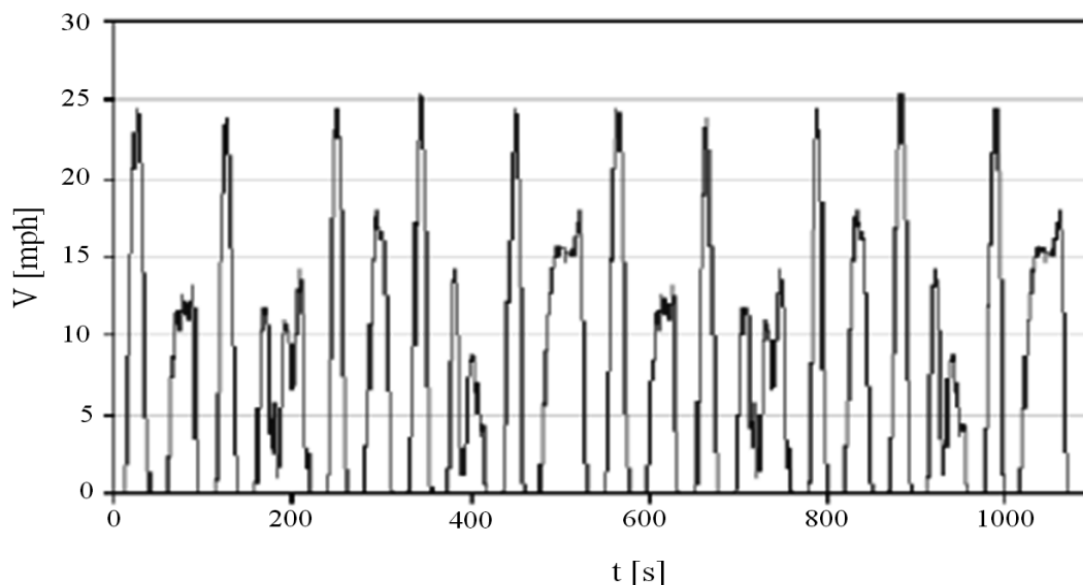
- czas trwania testu: 600 s;
- średnia prędkość pojazdu: 5,9 km/h (3,7 mph);
- średnia prędkość pojazdu bez przystanków: 17,1 km/h (10,6 mph);
- prędkość maksymalna pojazdu: 49,6 km/h (30,8 mph);
- maksymalne przyspieszenie pojazdu: 2,7 m/s²;
- średnie przyspieszenie pojazdu: 1,1 m/s²;
- droga: 0,9 km;
- liczba przystanków: 11.



Rys.5. Przebieg testu jezdny New York Bus Cycle jako funkcja czasu $V = f(t)$

Cykl Manhattan Bus Cycle podobnie jak cykl New York Bus Cycle jest przeprowadzony na hamowni podwoziowej. Wyznaczono go na podstawie rzeczywistych profili prędkości autobusów poruszających po dzielnicy Nowego Jorku – Manhattanie (rys. 6). Poniżej przedstawiono wybrane parametry testu [5]:

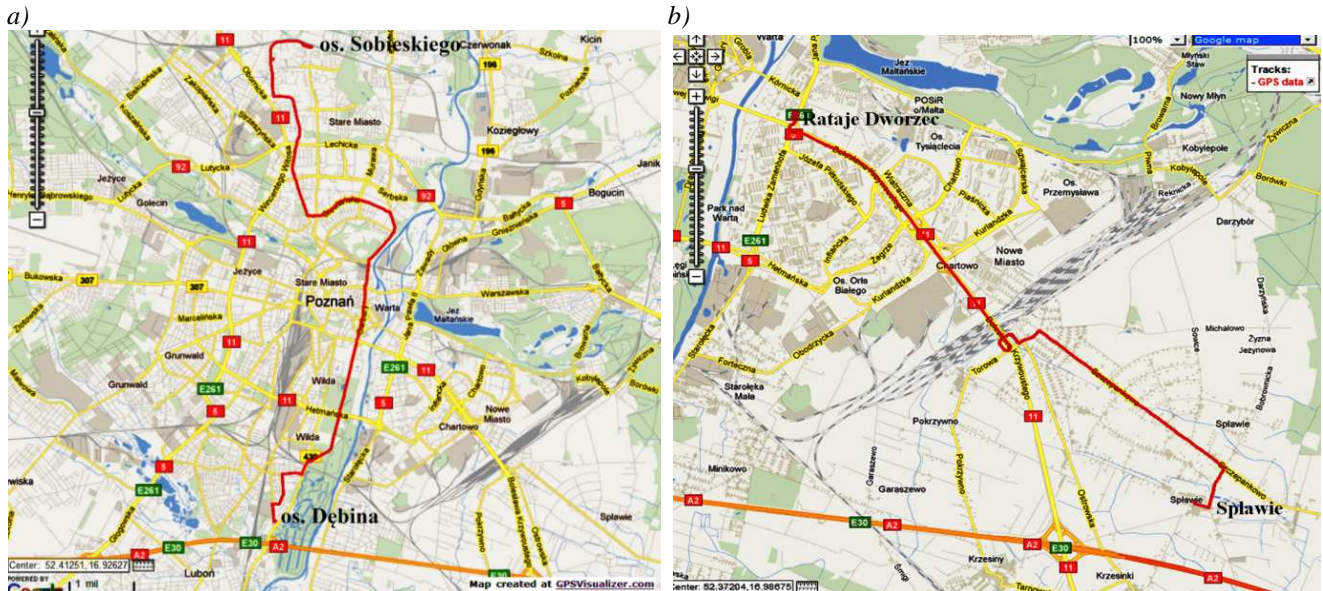
- czas trwania 1089 s;
- prędkość maksymalna 40,9 km/h (25,4 mph);
- średnia prędkość: 11 km/h (6,8 mph);
- droga: 3,3 km.



Rys. 6. Przebieg testu jezdny Manhattan Bus Cycle jako funkcja czasu $V = f(t)$

3. TRASY WYKORZYSTANE DO POMIARÓW

Do wyznaczenia cykli jezdnych pojazdów wybrano dwie linie kursowania autobusów Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Poznaniu. Pierwszą trasą była linia 76, która zaliczana jest to grupy najbardziej obciążonych tras według klasyfikacji MPK (rys. 7a). Zaczyna się w północnej części miasta, następnie przebiega przez ściśle centrum miasta i kończy się nieopodal autostrady A2. Cechuje ją zarówno długi dystans wynoszący 16 km oraz relatywnie duża liczba przystanków (43). Drugą trasą była linia 54, która przebiegała w południowo-wschodniej części miasta. Trasa ta, należy do grup mniej obciążonych ze względu na małą liczbę przystanków (17) oraz niski udział jazdy w kongestiach drogowych (rys. 7b). Przy wyborze tras zdecydowano się przede wszystkim o możliwości wyznaczenia cykli jezdnych w szerokim zakresie prędkości, przyspieszenia pojazdu oraz zróżnicowanym udziale w kongestiach drogowych. Badaniom poddano ten sam pojazd na dwóch trasach.



Rys. 7. Trasy wykorzystane do wyznaczenia cyklu jezdnych

4. POJAZD WYKORZYSTANY DO BADAŃ

Do badań wykorzystano autobus komunikacji miejskiej o długości 18 metrów. Pojazd ten posiadał spalinową jednostkę napędową o pojemności 9,2 dm³ i mocy 231 kW (tab. 3). Autobus ten, według homologacji posiada 174-176 miejsc w tym 34-56 miejsc siedzących. W trakcie badań liczba pasażerów była nieznacznie ograniczona ze względu na wydzielone miejsce na aparaturę pomiarową, gdyż pomiary przeprowadzono podczas regularnych kursów autobusów (rys. 8). Zaobserwowano także, że liczba pasażerów była zbliżona zarówno na linii 76 jak i na linii 54.

Tab.3. Dane techniczne pojazdu wykorzystanego do badań

Parametr	Pojazd A
Rodzaj zapłonu	Samoczynny
Pojemność silnika	9,2 dm ³
Liczba cylindrów	6
Moc maksymalna	231 kW przy 1900 obr/min
Maksymalny moment obrotowy	1275 N·m przy 1100-1710 obr/min
Norma emisji spalin	EEV
Układ oczyszczania spalin	SCR/DPF
Długość	18 000 mm
Wysokość	3 050 mm
Waga	24 000 kg

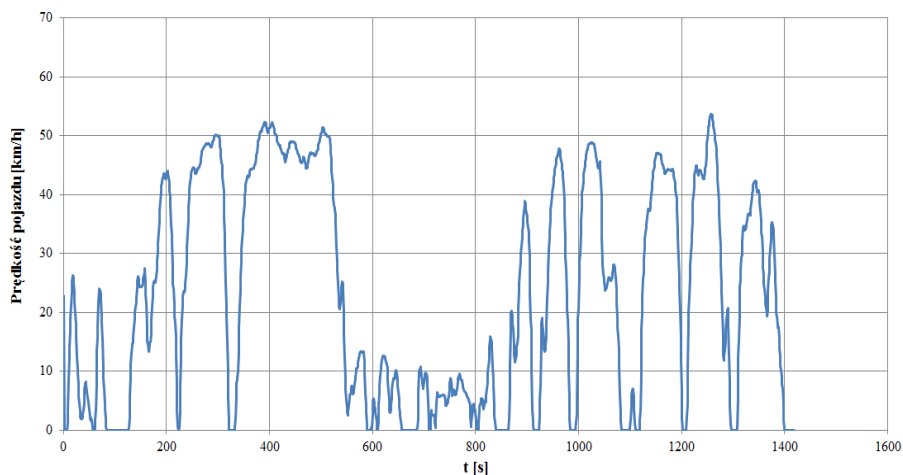


Rys. 8. Oddzielona przestrzeń na aparaturę pomiarową w pojeździe

5. WYZNACZONE CYKLE JEZDNE DLA AGLOMERACJI POZNAŃSKIEJ

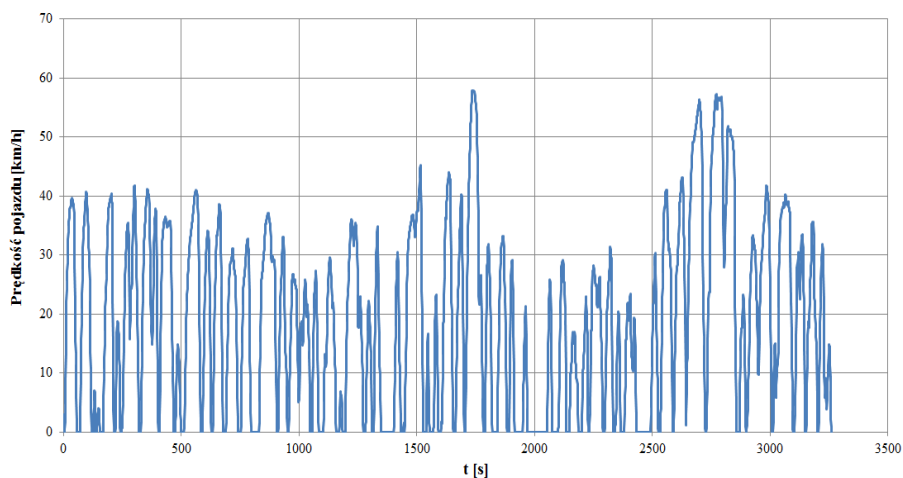
Do wyznaczenia rzeczywistych cykli jezdnych wykorzystano dane zarejestrowane przy użyciu mobilnego analizatora spalin SEMTECH DS amerykańskiej firmy Sensors Inc. Przyrząd ten posiada wbudowany moduł GPS (*Global Positioning System*), który umożliwia rejestrację prędkości i położenia pojazdu. Analizator obsługuje także system diagnostyczny CAN SAE J1939/J2284 (dedykowany dla pojazdów HDV), z którego odczytuje i rejestruje bieżące parametry eksploatacyjne pojazdu m.in. parametry spalinowych jednostek napędowych takie jak: prędkość obrotowa wału korbowego silnika, obciążenie silnika itp. [3].

Na podstawie uzyskanych danych z systemu GPS wyznaczono i opisano funkcją $V = f(t)$ cykl jezdny dla linii 54 (rys. 9). W cyklu tym wyróżniono trzy przedziały prędkości w których poruszał się pojazd: pierwszy 0÷25 km/h w pierwszej części testu (0÷180 s), drugi 0÷55 km/h (190÷570 s i 900÷1400 s) i trzeci 0÷12 km/h w środkowej części testu (570÷900 s). Taki przebieg profilu prędkości uwarunkowany był przebiegiem oraz charakterem trasy badawczej. Uzyskane duże odstępy czasowe między zatrzymaniami pojazdu wynikały z małej liczby przystanków oraz z niskiego udziału kongestii drogowych.



Rys. 9. Cykl jezdny wyznaczony dla linii 54 jako funkcja $V = f(t)$

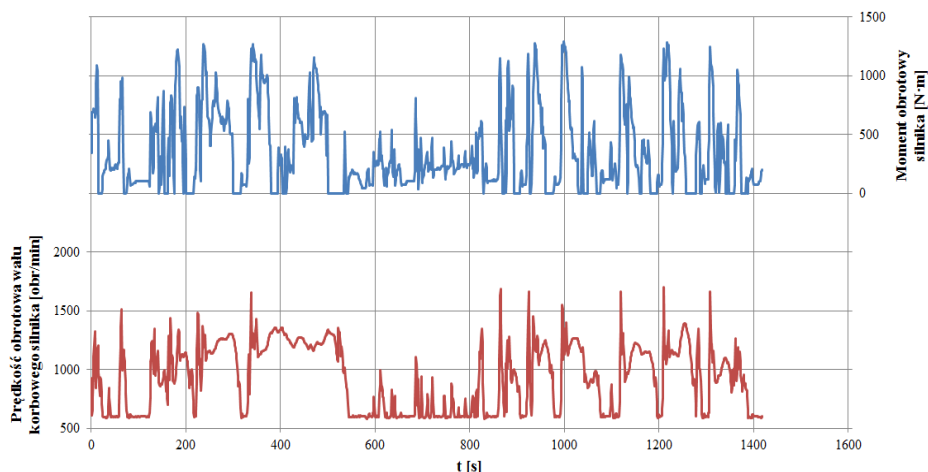
Odmierna sytuacja miała miejsce dla linii 76 (rys. 10). Uzyskano cykl jezdny, który trwał około 3400 s i posiadał większe oscylacje prędkości. Jednoznacznie nie udało się wyznaczyć charakterystycznych obszarów cyklu jezdneho (tak jak w przypadku cyklu dla linii 54). Stwierdzono, że znaczna część cyklu miała zbliżony rozkład prędkości (0÷40 km/h). Wyróżniono także dwa obszary testu, w których pojazd znacząco przekroczył próg 40 km/h – co uwarunkowane było jazdą po jednej z głównych ulic prowadzących bezpośrednio do autostrady A2. Odcinek ten charakteryzował się nie tylko dużą przepustowością, ale również niskimi kongestiami drogowymi w trakcie trwania badań. Stwierdzono również, że wyznaczony cykl jezdny dla linii 76 charakteryzuje się dużą zmiennością przyspieszeń, co znacząco wpływa na zapotrzebowanie energetyczne spalinowej jednostki napędowej.



Rys. 10. Cykl jezdny wyznaczony dla linii 76 jako funkcja $V = f(t)$

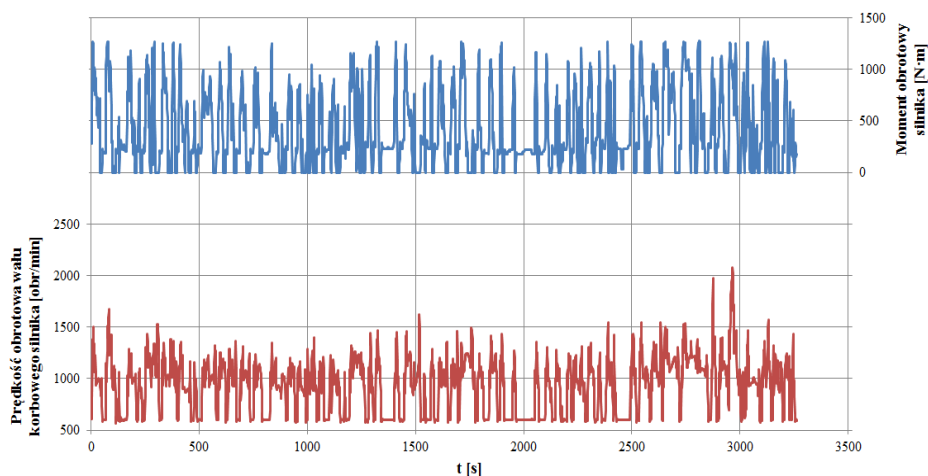
Następnie na podstawie danych zarejestrowanych z systemu CAN (*Controller Area Network*) wyznaczono cykl jezdny odniesiony do pojazdu na linii 54 (rys. 11) i opisano funkcjami $M = f(t)$ i $n = f(t)$. Zauważono, że prędkość obrotowa wału korbowego silnika oscylowała w zakresie 600÷1700 obr/min, a obciążenie silnika oscylowało w zakresie 0÷1400 N·m. Powyższe przebiegi świadczą o zmiennym zapotrzebowaniu energetycznym pojazdu (wzrost momentu obrotowego silnika

spowodowany jest zwiększeniem dawki paliwa), które było najwyższe w momencie wzrostu prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Wzrost prędkości obrotowej wału korbowego silnika wynikał z przebiegu odcinka badawczego - związany był z ruszaniem pojazdu z miejsca zatrzymania.



Rys.11. Cykl jezdny wyznaczony dla linii 54 jako funkcja $M = f(t)$ i $n = f(t)$

Dla linii 76 przebieg prędkości obrotowej wału korbowego silnika wystąpił w zakresie 600÷2200 obr/min (rys. 12). Zwrócono uwagę, że przez większość czasu trwania testu prędkość ta nie przekraczała 1500 obr/min, która dla pojazdów HDV uznawana jest za optymalną (ekonomiczną) ze względu na niskie przebiegowe zużycie paliwa. Zaobserwowano jedynie dwa punkty pracy spalinowej jednostki napędowej, w których prędkość obrotowa wału korbowego silnika przekroczyła znacząco 1500 obr/min. Miało to miejsce w ostatniej fazie cyklu jezdnygo i fakt ten wynikał z uzyskanej dużej prędkości pojazdu (prawdopodobnie w tych dwóch punktach wystąpiło duże przyspieszenie pojazdu przekraczające $2,0 \text{ m/s}^2$). Cykl jezdny opisany funkcją $M = f(t)$ oscylował w zakresie 0÷1400 N·m (tak samo jak w przypadku cyklu dla linii 54). Cykl ten charakteryzował się znaczącym udziałem dużego obciążenia, co uwarunkowane było zwiększonym zapotrzebowaniem energetycznym pojazdu.



Rys. 12. Cykl jezdny wyznaczony dla linii 76 jako funkcja $M = f(t)$ i $n = f(t)$

6. WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych cykli jezdnych odniesionych do warunków eksploatacji stwierdzono, że w aglomeracji poznańskiej prędkość pojazdów oscyluje w zakresie 0÷60 km/h niezależnie od przebiegu trasy badawczej. Różnice między trasami polegały przede wszystkim na dłuższym czasie przejazdu pojazdu (w przypadku linii 76) oraz większymi oscylacjami prędkości, które wynikały z uwarunkowań drogowych (kongestie drogowe, postoje na światłach, liczba przystanków itp.). Zwrócono uwagę, że pojazdy na obu trasach uzyskały zbliżoną średnią prędkość przejazdu, która wyniosła odpowiednio dla linii 54: 23 km/h i dla linii 76: 19 km/h. W przypadku przebiegu zmian prędkości obrotowej wału korbowego i obciążenia zaobserwowano znaczne różnice. Średnia wartość momentu obrotowego silnika na linii 54 wyniosła 344 N·m, a na linii 76 wartość ta wyniosła 403 N·m. Fakt ten nasuwa wniosek, iż dla aglomeracji poznańskiej najbardziej reprezentatywnym cyklem jezdny jest cykl jezdny wyznaczony dla linii 76. Jego przebieg łączy w sobie dwa główne obszary pracy autobusów komunikacji miejskiej – scisle centrum i obszary o charakterystyce podmiejskiej (wyższa średnia prędkość). W cyklu tym przeprowadzając pomiary przebiegowego zużycia paliwa oraz emisji spalin autobusów możliwy będzie optymalny dobór konfiguracji pojazdu do warunków eksploatacji.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Szumanowski A.: Akumulacja energii w samochodach; WKiŁ, Warszawa 1983
- [2] UIPUITP Project SORT Standardised On-Road Tests Cycles Brochure, Brussels 2010
- [3] SEMTECH[®]-DS. On Board, In-Use Emissions Analyzer, Manual, Michigan 2007
- [4] www.bankier.pl
- [5] www.dieselnet.com
- [6] www.infobus.pl