

BAJERLEIN Maciej, RYMANIAK Łukasz

ANALIZA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ HYBRYDOWYCH AUTOBUSÓW MIEJSKICH W ASPEKCIE PROCEDUR NTE I UE 582/2011

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań emisji zanieczyszczeń autobusów miejskich wyposażonych w hybrydowe układy napędowe o konstrukcji szeregowej i równoległej. Obydwa pojazdy miały długość 18 m i były napędzane silnikami ZS o pojemności 6,7 dm³, przy czym jednostki różniły się między sobą wartościami uzyskiwanych mocy maksymalnych. Oprócz informacji o emisyjności pojazdów, zrealizowane badania dostarczyły cennych informacji na temat rzeczywistych parametrów pracy silników spalinowych. Podczas analizy wyników odniesiono się do procedur NTE oraz UE 582/2011, które dotyczą realizacji i obliczania emisji w warunkach rzeczywistej eksploatacji. Badania zrealizowano w ruchu miejskim, na trasach linii autobusowych przewoźnika świadczącego usługi dla aglomeracji poznańskiej. Do pomiaru gazowych składników spalin wykorzystano przyrząd SEMTECH DS, natomiast do określenia zawartości cząstek stałych użyto AVL MSS. Obydwa analizatory należą do grupy PEMS (Portable Emissions Measurement Systems).

WSTĘP

Tendencje rozwoju silników autobusów miejskich, są zdeterminowane podwyższaniem ich jakości oraz spełnianiem coraz to bardziej rygorystycznych norm emisji spalin określonych w przepisach [5, 7]. W obszarze badań zarówno silników spalinowych, jak i całych układów napędowych, coraz większe znaczenie mają pomiary w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Do realizacji tego typu pomiarów konieczne jest wykorzystanie specjalistycznego sprzętu, który musi spełniać wiele wymagań związanych przede wszystkim z energochłonnością, masą, gabarytami, dokładnością pomiarów, częstotliwością próbkowania itp. Oprócz potrzeb homologacyjnych prowadzenie pomiarów w rzeczywistych warunkach ruchu autobusów daje znaczące możliwości poznawcze, niezbędne w diagnozowaniu przyczyn nadmiernej emisji, jeżeli takowa wystąpi. Jest to pomocne w formułowaniu wniosków na temat rozwoju badanych obiektów, zarówno autobusu jak i silnika oraz całego układu napędowego.

Autobusy miejskie poruszające się w aglomeracjach stanowią znaczny udział w produkcji związków toksycznych oddziałujących bezpośrednio na mieszkańców. Coraz większy udział w transporcie stanowią pojazdy hybrydowe. Prognozuje się że ich udział w ciągu najbliższych 20 lat przekroczy 15% w odniesieniu do całej populacji pojazdów, natomiast w grupie autobusów miejskich udział ten będzie jeszcze większy [4]. Konieczne staje się więc prowadzenie prac w zakresie oceny ekologiczności tej grupy pojazdów. Procedury testów UE 582/2011 i NTE podejmują zagadnienie określania emisji w rzeczywistych warunkach eksploatacji. W dziedzinie badań ekologiczności silników spalinowych, dla rozpatrywanej grupy pojazdów, nie istnieją inne wytyczne dotyczące oceny realnej emisji. W związku z tym

przeprowadzono analizę, w której wykorzystano wymienione procedury i określono ich możliwości aplikacyjne w odniesieniu do autobusów miejskich.

1. PROCEDURY WYZNACZANIA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ W RZECZYWISTYCH WARUNKACH EKSPLOATACJI

1.1. Procedura NTE

Emisja jednostkową w warunkach innych niż przewidują testy można wyznaczyć za pomocą metody NTE (*Not-To Exceed Emissions*) zgodnej z GTR 10 [7]. Procedura przewiduje wyznaczenie emisji dla określonego obszaru pracy silnika spalinowego przy spełnieniu pewnych założeń. Pomiary obejmują zarówno warunki statyczne, jak i dynamiczne, pod warunkiem że jednostka pracuje przez co najmniej 30 s w obszarze testu. Graniczne wartości obszaru kontroli na charakterystyce zewnętrznej określa się w następujący sposób [7]:

- minimalna prędkość obrotowa wału korbowego musi być większa o 15% w odniesieniu do testu ESC (*European Stationary Cycle*):

$$n_{10} + 0,15 \cdot (n_{hi} - n_{10}) \quad (1)$$

gdzie: n_{hi} – największą prędkość obrotową silnika na krzywej mocy, przy której 70% maksymalnej mocy silnika jest jeszcze osiągalne; n_{10} – najniższą prędkość obrotową silnika na krzywej mocy, przy której 50% maksymalnej mocy silnika nadal jest osiągalne.

- moment obrotowy jest większy lub równy 30% maksymalnego obciążenia silnika;
- w obszarze testu mogą występować tylko punkty pracy, dla których silnik uzyskuje moc użyteczną większą niż 30% mocy maksymalnej;
- w punktach pracy odnoszących się do jednostkowego zużycia paliwa musi zostać osiągnięty poziom minimalnej wartości 5% BSFC (*Brake Specific Fuel Consumption*) dla danego silnika.

Ponadto na podstawie maksymalnej prędkości obrotowej wału korbowego (większej lub mniejszej niż 2400 obr/min) określa się obszar wyłączony z pomiaru cząstek stałych.

1.2. Procedura UE 582/2011

W procedurze UE 582/2011 przedstawiono sposób określania emisji zanieczyszczeń przy wykorzystaniu metody ruchomego okna uśredniania. Podczas wyznaczenia masowego natężenia emisji z danej próby nie wykorzystuje się całego zbioru danych lecz podzbiory, które określane są na podstawie masy CO₂ lub pracy wykonanej w trakcie badań laboratoryjnych w warunkach nieustalonych. Ruchomą średnią określa się przy przyroście czasowym Δt równym okresowi pobierania próbek danych. Wyznaczone podzbiory będące podstawą do wyznaczenia emisji nazywane są oknami uśredniania [5].

Podczas realizacji obliczeń przyjęto metodę wyznaczenia podzbiorów na podstawie wykonanej całkowitej pracy. Czas ($t_{2,i} - t_{1,i}$) trwania okna uśredniania ustala się na podstawie:

$$W(t_{2,i}) - W(t_{1,i}) \geq W_{ref} \quad (2)$$

gdzie: $W(t_{j,i})$ – praca silnika zmierzona między uruchomieniem i czasem $t_{j,i}$ [kWh]; W_{ref} – praca silnika dla WHTC [kWh]; $t_{2,i}$ określa się ze wzoru:

$$W(t_{2,i} - \Delta t) - W(t_{1,i}) < W_{ref} \leq W(t_{2,i}) - W(t_{1,i}) \quad (3)$$

przy czym Δt musi być krótszy lub równy 1 s.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. Charakterystyka badanych obiektów

Pojazdy hybrydowe cieszą się coraz większą popularnością ze względu na swoją ekologiczność oraz małe koszty eksploatacji. Konstrukcja autobusów sprzyja zabudowie elementów hybrydowego układu napędowego, ponieważ część elementów takich jak akumulatory, kondensatory, czy też systemy chłodzenia można zamontować na dachu pojazdu, nie zmniejszając tym samym przedziału pasażerskiego. Dodatkowa masa tych układów stanowi niewielki udział w masie całkowitej tego typu pojazdów.

Najważniejszymi elementami napędu hybrydowego są: silnik spalinowy, silnik/i elektryczne, przekładnia, magazyny energii (kondensatory, akumulatory) oraz w części rozwiązań prądnice. Ponadto bardzo ważnym elementem jest układ mikroprocesorowy odpowiedzialny za sterowanie i współpracę wszystkich elementów. Wśród hybrydowych autobusów miejskich najczęściej występują konfiguracje szeregowy i równoległy układów napędowych. W rozwiązaniu szeregowym silnik spalinowy połączony jest z generatorem, który przekazuje energię do akumulatorów. Dalej w układzie zabudowane są silnik/i elektryczne oraz przekładnia. W równoległym rozwiązaniu hybrydowym, praca mechaniczna wytwarzana przez silnik spalinowy sumowana jest z pracą mechaniczną silnika elektrycznego w specjalnej przekładni. Silnik elektryczny jest maszyną, która może pracować również jako generator, w przypadku wystąpienia nadwyżki mocy generowanej przez silnik spalinowy.

Badania emisji związków szkodliwych zrealizowano na autobusach miejskich o długości 18 m, wyposażonych w hybrydowe układy napędowe w konfiguracji szeregowy oraz równoległy (rys. 1). W pojazdach zastosowano silniki ZS o pojemności $6,7 \text{ dm}^3$ o różnych wartościach mocy znamionowej: 209 kW przy 2300 obr/min – układ szeregowy i 180,5 kW przy 2300 obr/min – układ równoległy. Jednostki spalinowe pochodziły od jednego producenta i charakteryzowały się bardzo zbliżoną konstrukcją. W obu przypadkach wartość uzyskiwanego momentu maksymalnego wynosiła 1008 N·m przy 1200 obr/min. Zastosowane rozwiązania i układy użytkowe w pojazdach zapewniają niezależność zasilania różnego rodzaju podzespołów od działania silnika spalinowego. Do grupy takich elementów należą między innymi: kompresor powietrza, wentylator chłodnicy, wspomaganie, otwieranie drzwi i klimatyzacja.

a)



b)

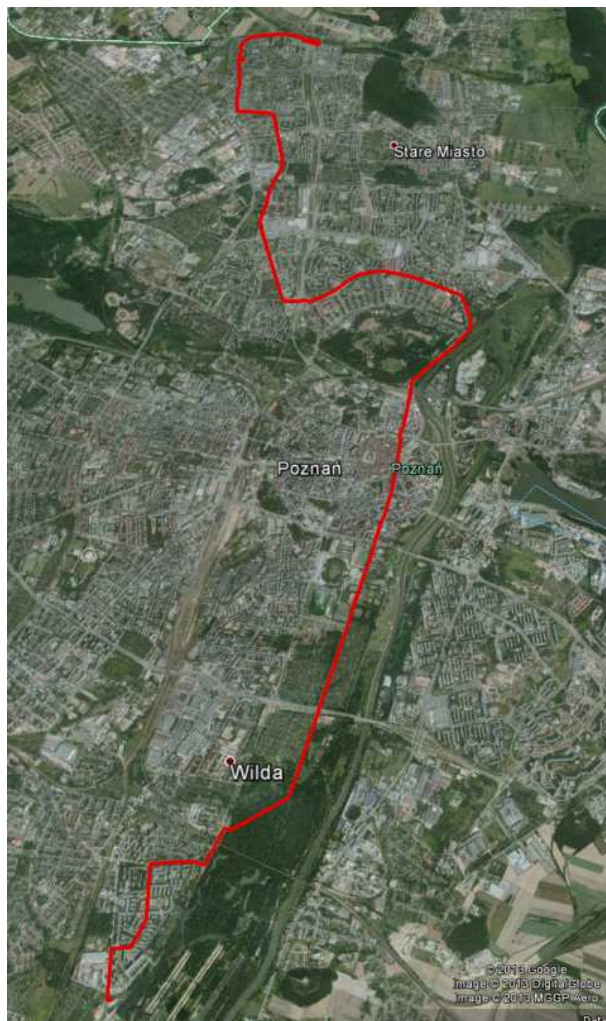


Rys. 1. Autobusy hybrydowe poddane badaniom w rzeczywistych warunkach eksploatacji: a) pojazd z układem w konfiguracji szeregowy, b) pojazd z układem w konfiguracji równoległy.

2.2. Warunki prowadzenia badań

Badania emisji zanieczyszczeń autobusów z hybrydowymi układami napędowymi zrealizowano w ruchu miejskim, na trasach linii autobusowych przewoźnika świadczącego usługi dla aglomeracji poznańskiej. Każdy z cykli badań został wykonany w dzień roboczy,

w czasie szczytu komunikacyjnego (godziny popołudniowe), w porze największej częstotliwości kursów autobusów. Trasa przejazdu na linii nr 76 przedstawiona została na rysunku 2.



Rys. 2. Trasa przejazdu podczas badań w ruchu miejskim na linii 76 [8]

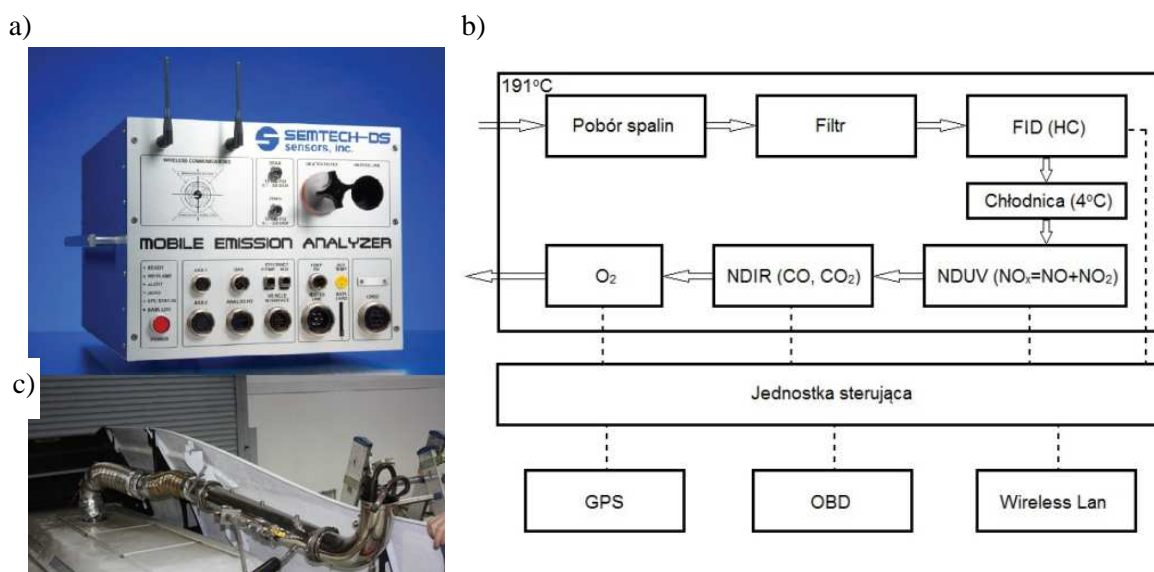
Przystanek początkowy znajduje się w północnej części miasta, następnie trasa biegnie przez ściśle centrum aglomeracji i kończy się w pobliżu autostrady A2 – w południowej części Poznania. Warunki, w których prowadzono badania ustalono tak, aby były takie same dla wszystkich cykli. Uwzględniono także problem jak najwierniejszego odwzorowania pracy autobusu, pojazdy obciążono odpowiednią masą (układ szeregowy – stałe obciążenie odpowiadającą średniemu obciążeniu autobusu liniowego kursującego w aglomeracji poznańskiej; układ hybrydowy – pasażerowie). Całkowita długość trasy wynosiła 16,883 km i uwzględniała 43 przystanki. Uśredniona prędkość przejazdu ukształtowała się na poziomie 17,87 km/h dla autobusu z szeregowym układem napędowym oraz 18,31 km/h dla drugiego rozwiązania.

2.3. Aparatura pomiarowa

Do badań wykorzystywana została wyrafinowana technicznie aparatura z grupy PEMS – systemów pozwalających realizować pomiary w rzeczywistych warunkach ruchu. Przedstawione analizatory mogą być z powodzeniem stosowane w pojazdach różnych kategorii (pojemności silników od 0,05 dm³ do 15 dm³ i więcej) zasilanych różnego rodzaju

paliwami [2, 3]. Urządzenia on-board charakteryzują się dużą częstotliwością próbkowania (min. 1Hz), a także dużą dokładnością pomiaru.

Stężenia gazowych związków szkodliwych mierzono za pomocą mobilnego przyrządu SEMTECH DS, amerykańskiej firmy SENSORS Inc. (rys. 3.). Urządzenie należy do grupy najnowocześniejszych rozwiązań służących do oceny emisji w czasie rzeczywistej eksploatacji pojazdu. Podczas pomiaru współpracuje ono z sondą masowego natężenia przepływu spalin, układem diagnostycznym pojazdu (OBD, CAN), a także systemem GPS. Dzięki temu możliwe jest mierzenie nie tylko samych stężeń składników szkodliwych, ale także emisji drogowej, jednostkowej, określenie okien w teście NTE, wyznaczenie przedziałów zgodnych z procedurą UE 582/2011, a także obliczenie zużycia paliwa na podstawie emisji.

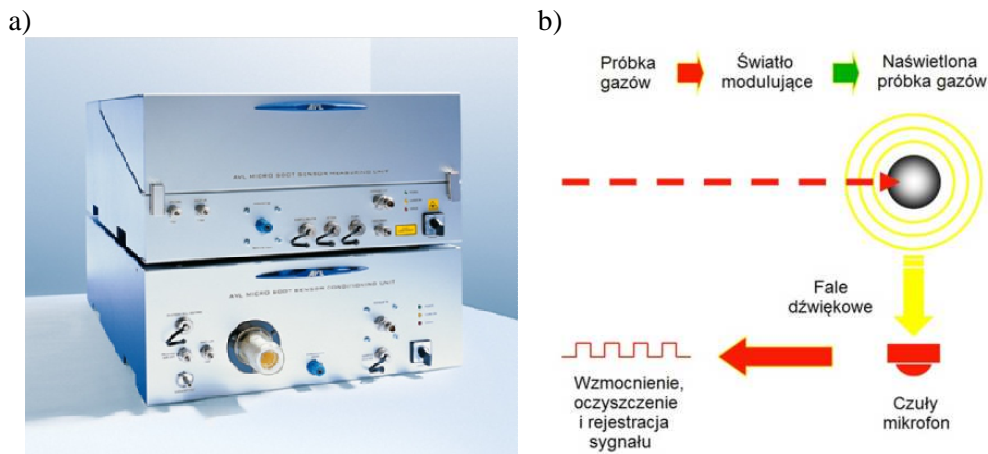


Rys. 3. Mobilny przyrząd SEMTECH DS: a) widok urządzenia, b) schemat działania, c) widok sondy masowego natężenia przepływu [6]

Zaprezentowany schemat budowy urządzenia wyjaśnia zasadę jego działania (rys 3b). Badana objętość spalin pobierana jest w sondzie masowego natężenia przepływu spalin, skąd transportowana jest podgrzewanym przewodem do zestawu analizatorów. Utrzymywanie temperatury na poziomie 191°C podczas transportu spalin zapobiega wykraplaniu się węglowodorów. Dalej badaną objętość gazów poddaje się filtrowaniu, w celu usunięcia cząstek stałych, które mogą wpłynąć na przekłamanie wyników pomiarów, a nawet uszkodzenie analizatorów. Pierwszym analizatorem jest FID (*Flame Ionization Detector*) służący do określania stężeń węglowodorów. Następnie próbka jest schładzana do 4°C i kierowana jest do analizatorów: NDUV (*Non-dyspersive Detector Ultra Violet*) – pomiar tlenek i dwutlenek azotu oraz NDIR (*Non-dyspersive Detector Infra Red*) – pomiar tlenku i dwutlenku węgla. W ostatnim etapie wyznaczana jest zawartość tlenu w spalinach przy użyciu czujnika elektrochemicznego.

W przypadku analizy emisji cząstek stałych konieczne jest wykorzystanie specjalistycznej aparatury umożliwiającej ocenę pod względem ich stężeń. Badania omawianego związku toksycznego stanowią skomplikowany proces ze względu na strukturę cząstek oraz ich wielkości [2, 3]. Pomiar stężenia cząstek stałych realizowano za pomocą mobilnego urządzenia AVL MSS (*Micro Soot Sensor* – rys. 4). Aparatura wykonuje pomiar w sposób ciągły i bada koncentrację cząstek od stężeń na poziomie 5 µg/m³, co pozwala nie tylko wykonywać pomiary silników ZS, ale również jednostek o ZI.

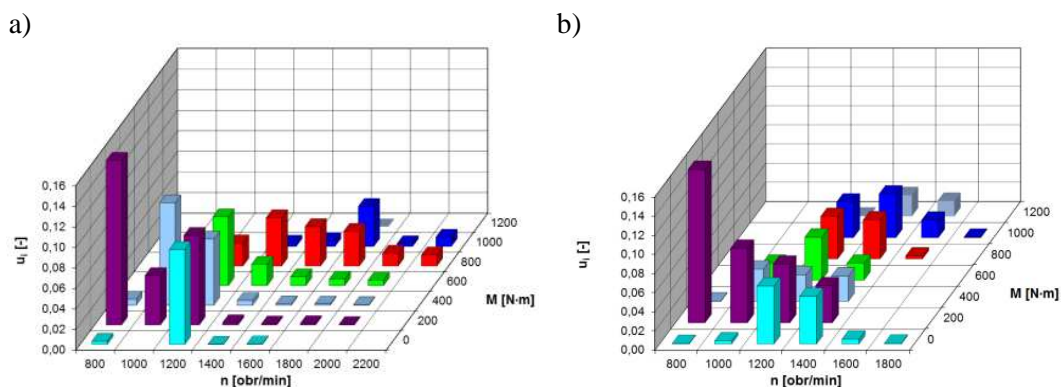
Analizator wykorzystuje fotoakustyczną zasadę pomiaru. Na cząstki stałe zawarte w próbce gazów oddziałuje światło modulowane, które powoduje ich naprzemienne ogrzewanie i schładzanie. W wyniku tego procesu badana próbka zmienia swoją objętość, generując w ten sposób drganie ośrodka – powstaje fala dźwiękowa. Urządzenie wyposażone jest w czułe mikrofony działające w ściśle określonym zakresie amplitud i częstotliwości. Mikrofony rejestrują wytworzone fale dźwiękowe, które są proporcjonalne do zawartości cząstek stałych w badanej próbce.



Rys. 4. Mobilny analizator AVL MSS: a) widok urządzenia, b) schemat działania [1]

3. BADANIA EMISJI ZWIĄZKÓW SZKODLIWYCH SPALIN W ASPEKCIE TESTÓW NTE I UE 582/2011

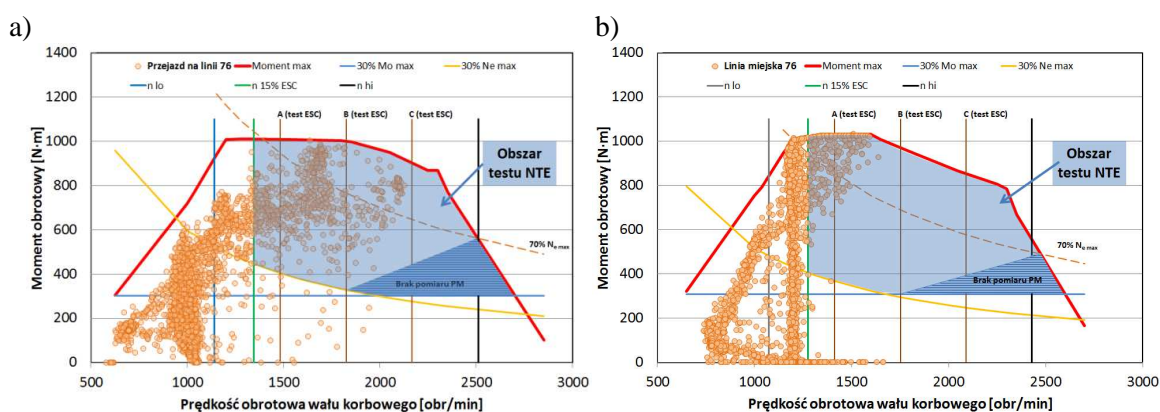
Analizy charakterystyk pracy silników spalinowych wskazuje, że dla autobusu wyposażonego w układ szeregowy prędkość obrotowa wału korbowego najczęściej występowała w zakresach: 600–1200 obr/min przy obciążeniu 0–600 N·m, a także 1200–2000 obr/min przy obciążeniu 600–1000 N·m (rys 5a). Porównanie otrzymanych wartości wskazuje, że silnik spalinowy pracował w 74% w zakresie prędkości obrotowych wału korbowego do 1200 obr/min. W przypadku drugiego badanego rozwiązania najczęściej prędkość obrotowa wału korbowego występowała 600–1200 obr/min przy obciążeniu 0–200 N·m oraz 1000–1400 obr/min przy obciążeniu 0–1000 N·m (rys. 5b). W tym rozwiązaniu udział pracy silnika w przedziale 1000–1400 obr/min stanowił 65%.



Rys. 5. Udział parametrów pracy autobusu oraz silnika spalinowego podczas badań na linii miejskiej 76: a) hybryda szeregową, b) hybrydowy równoległa

Zarejestrowane wartości momentu oraz prędkości obrotowych wału korbowego naniesiono na charakterystyki silnikowe w celu wyznaczenia obszarów testu NTE (rys. 6).

Udział czasu pracy autobusu wyposażonego w szeregowy układ napędowy w obszarze testu NTE wynosił 20,1%. Nie udało się jednak wyznaczyć żadnego okna pomiarowego, ponieważ silnik spalinowy nie pracował przez minimum 30 s w rozpatrywanym zakresie pracy. Podobne zjawisko wystąpiło w przypadku autobusu z układem równoległym. Pomimo udziału na poziomie 8,2% także nie wystąpiły żądane warunki pracy w nieprzerwanym okresie co najmniej 30 s. Ze względu na wysterowanie układów napędowych oraz zastosowanie silników elektrycznych można stwierdzić, że silnik spalinowy w pierwszym z rozpatrywanych rozwiązań pracował w całym obszarze charakterystyki pełnej mocy, w zakresie prędkości obrotowej wału korbowego do 2150 obr/min (prędkość zbliżona do wartości C wyznaczonej zgodnie z testem ESC). Silnik spalinowy hybrydy równoległej pracował w znacznie węższym zakresie charakterystyki i nie przekraczał 1650 obr/min.



Rys. 6. Obszar testu NTE wyznaczony na podstawie badań na linii miejskiej 76 dla autobusów wyposażonych w: a) szeregowy układ napędowy, b) równoległy układ napędowy

Zarówno testy ETC, WHTC, jak i WHSC są cyklami, w których punkty pracy silnika określone są przez znormalizowaną prędkość obrotową wału korbowego n/n_{max} [%] oraz znormalizowany moment obrotowy M/M_{max} [%]. Na podstawie tych danych wyznacza się rzeczywiste parametry pracy jednostki spalinowej. W tym celu przeprowadza się tak zwaną denormalizację (*denormalization*) testu. W pierwszej kolejności wyznacza się charakterystykę pełnej mocy, która zostaje wykorzystana do obliczenia rzeczywistej prędkości obrotowej i momentu obciążającego. Do obliczeń korzysta się z wzorów:

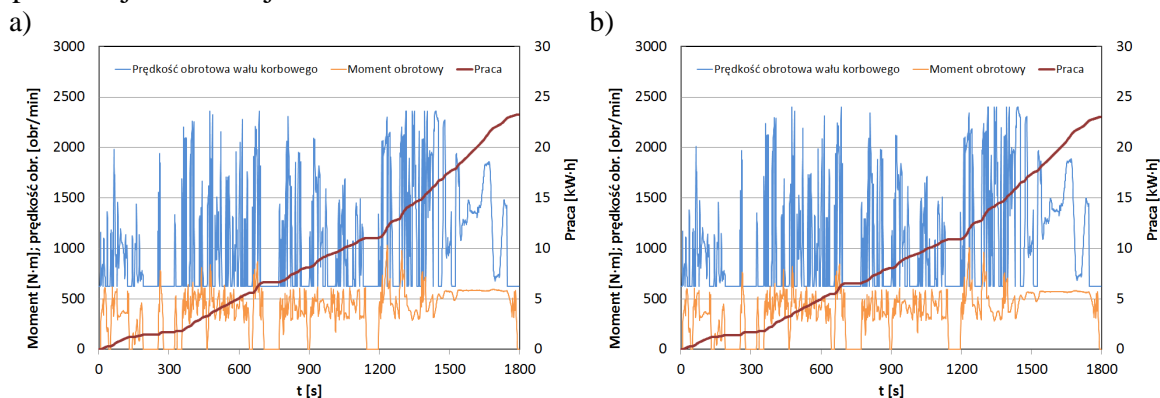
$$n_{rzecz} = n_{norm} \cdot (0,45 \cdot n_{lo} + 0,45 \cdot n_{pref} + 0,1 \cdot n_{hi} - n_{idle}) \cdot 2,0327 + n_{idle} \quad (4)$$

$$M_{rzecz} = (M_{norm} \cdot M_M)/100 \quad (5)$$

gdzie: n_{rzecz} – rzeczywista prędkość obrotowa [obr/min]; n_{norm} – znormalizowana prędkość obrotowa [%]; n_{lo} – najmniejsza prędkość obrotowa, przy której jest osiągane 55% mocy maksymalnej ($N_{e_{max}}$) [obr/min]; n_{hi} – największa prędkość obrotowa, przy której jest osiągane 70% $N_{e_{max}}$ [obr/min]; n_{idle} – prędkość obrotowa biegu jałowego [obr/min]; n_{pref} – prędkość obrotowa, przy której cała momentu obrotowego stanowi 51% całości momentu w przedziale od n_{idle} do n_{95h} [obr/min]; n_{95h} – największa prędkość obrotowa, przy której jest osiągane 95% $N_{e_{max}}$ [obr/min]; M_{rzecz} – rzeczywisty moment obrotowy [N·m]; M_{norm} – znormalizowany moment obrotowy [%]; M_M – maksymalny moment obrotowy [N·m]; $N_{e_{max}}$ – maksymalna moc użyteczna [kW].

Procedurę denormalizacji testu ETC i WHTC przeprowadzono dla silników, które zastosowano w badanych pojazdach hybrydowych (rys. 7). Otrzymane wartości wskazują, że silnik zastosowany w hybrydzie szeregowy wygenerował całkowitą energię na poziomie

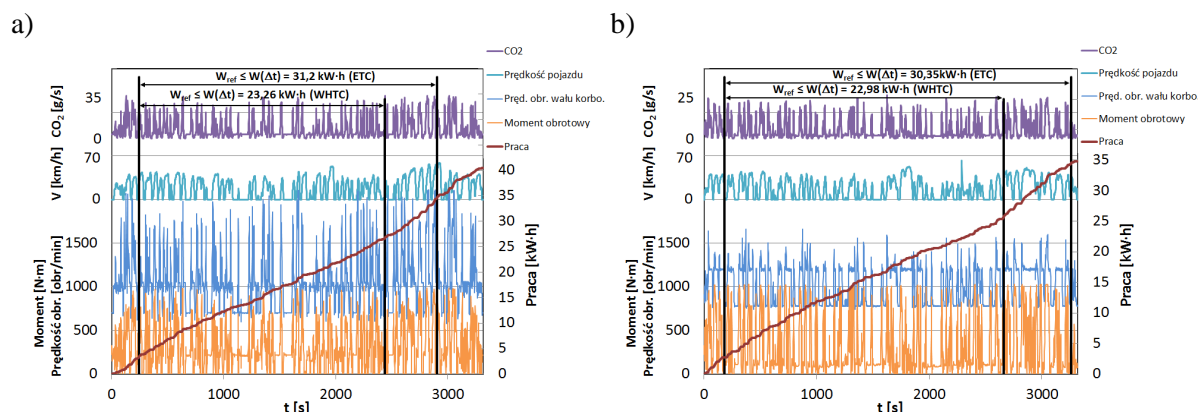
23,26 kW·h. Jednostka spalinowa wykorzystana w drugim pojeździe podczas całego testu WHTC wygenerowała 22,98 kW·h. Zbliżone wartości dla poszczególnych testów wynikają z podobnej konstrukcji silników.



Rys. 7. Prędkość i moment obrotowy silników po denormalizacji testu WHTC: a) silnik zastosowany w hybrydzie szeregowej, b) silnik zastosowany w hybrydzie równoległej

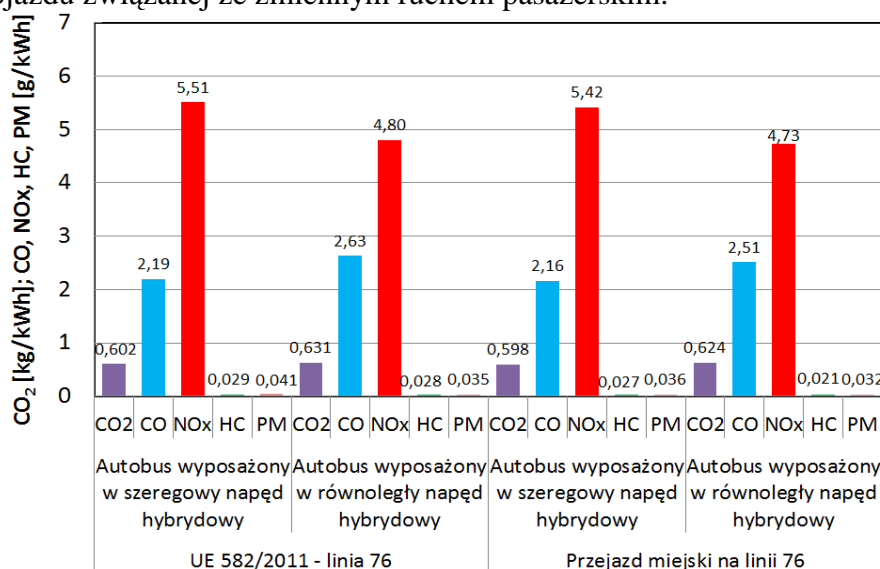
Wyniki denormalizacji zastosowano w metodzie wyznaczania okien uśredniania z wykorzystaniem pracy odniesienia zgodnie z normą UE 582/2011. Z całych przejazdów na linii miejskiej wyznaczono okna dla których: $W(\Delta t) \geq W_{ref}$, przy czym $W(\Delta t)$ jest pracą silnika spalinowego wykonaną pomiędzy rozpoczęciem pracy jednostki i czasem t . W_{ref} jest pracą określoną w wyniku denormalizacji testu WHTC i jest ona indywidualna dla każdego silnika. Ponadto w obliczeniach wykonano denormalizację testu ETC i wyznaczono dla uzyskanych wartości przykładowe okna pomiarowe

Zgodnie z normatywami zawartymi w UE 582/2011 udało się wyznaczyć 714 okien pomiarowych na podstawie testu ETC oraz 1518 okien zgodnie z testem WHTC dla autobusu z szeregowym napędem hybrydowym. Dla drugiego rozwiązania wyszczególniono 491 okien dla testu ETC oraz 1003 okna dla testu WHTC. Tak duża liczba okien w przypadku drugiego z rozpatrywanych testów wynika z mniejszych obostrzeń dotyczących określenia dyskretyzowanych odcinków pomiarowych. W tym przypadku istnieje możliwość wyznaczania obszarów danych, które w pewnym zakresie się pokrywają. Przykładowe okna dla obu pojazdów zaprezentowano na rysunku 8. Dla hybrydy szeregowej przedstawiono okna, które rozpoczęły się w 246 s testu i zakończyły się odpowiednio w 2439 s (WHTC) i 2906 s (ETC) pomiaru. W drugim pojeździe przykładowe okna rozpoczęły się w 183 s i trwały do 2662 s (WHTC) i 3260 s (ETC) przejazdu na badanej linii. Początek okien dobrano w taki sposób, aby pokrywały się zarówno w odniesieniu do testu WHTC, jak i ETC.



Rys. 8. Emisja CO₂, prędkość pojazdu oraz prędkość i moment obrotowy silnika spalinowego podczas badań na linii miejskiej 76: a) autobusu wyposażonego w szeregowy układ napędowy, b) autobusu wyposażonego w równoległy układ napędowy

Jak wynika z przedstawionego porównania wartości uśrednionej emisji z okien pomiarowych oraz emisji z całego testu, wartości uzyskane zgodnie z procedurą UE 582/2011 są wyższe niż rzeczywista emisja jednostkowa w całym przejeździe (rys. 9). W odniesieniu do całych cykli miejskich, emisja wyznaczona w oknach jest większa od 0,2 do 5% w zależności od rozpatrywanego związku szkodliwego. Najmniejsze różnice wystąpiły w przypadku CO₂, natomiast największe dotyczyły PM. Zawyżone wartości pokazują, że zrealizowana procedura UE 582/2011 odzwierciedla w sposób zbliżony rzeczywistą eksploatację pojazdu w warunkach miejskich, ponieważ okna reprezentują duży fragment całkowitego przejazdu, dzięki czemu uwzględnione zostały także postoje pojazdów podczas obsługi przystanków. Całkowita energia wygenerowana w teście przez silnik spalinowy w hybrydzie szeregowy wyniosła 40,46 kWh. W drugim z badanych pojazdów cała energii wytworzonej przez jednostkę spalinową osiągnęła wartość 34,84 kWh. Oznacza to, że silnik wykorzystany w hybrydzie szeregowy był obciążony w mniejszym stopniu, co wynikało z innego wysterowania elementów hybrydowego układu napędowego oraz innej masy całkowitej pojazdu związanej ze zmiennym ruchem pasażerskim.



Rys. 9. Emisja jednostkowa wyznaczona według procedury EU 582/2011 oraz z badań na linii miejskiej 76

PODSUMOWANIE

Autobusy miejskie kwalifikowane są do grupy pojazdów ciężkich, jednak specyfika ich pracy znacząco się różni od przeciętnych warunków eksploatacji innych pojazdów tej grupy. Związane jest to przede wszystkim z charakterystyką realizowanej trasy komunikacyjnej. Należy także zaznaczyć, że na warunki pracy silnika spalinowego istotny wpływ ma rodzaj zastosowanego układu napędowego (konwencjonalny, hybrydowy), jego konfiguracja, zastosowane paliwo, a także skrzynia przekładniowa. W związku z powyższym, koniecznym staje się podjęcie problemu oceny emisji autobusów miejskich w warunkach ich eksploatacji.

Silniki spalinowe autobusów pracują w wąskim zakresie prędkości obrotowych wału korbowego i w szerokim spektrum obciążeń, dotyczy to także pojazdów hybrydowych. Procedura UE 582/2011 nakazuje budowanie okien pomiarowych na podstawie sumarycznej pracy lub emisji CO₂ uzyskanej w teście WHTC. W związku z dużymi wartościami odniesienia, które bezpośrednio związane są z wyznaczaniem okien o długim czasie pomiaru, uzyskane wartości są reprezentatywne dla danego przejazdu. Jednak jeżeli czas samego przejazdu w danym cyklu/na zadanej trasie jest zbyt krótki, to procedura nie może zostać zrealizowana. Natomiast procedura NTE, głównie ze względu na czas pracy silnika w oknie

obszaru i jego ciągłość, rzadko może być w pełni przeprowadzona w warunkach miejskiej eksploatacji.

The research was funded by the National Centre for Research and Development – the LIDER Programme (contract No. LIDER/02/72/L-3/11/NCBR/2012).

Prace sfinansowano ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju – program LIDER (umowa nr LIDER/02/72/L-3/11/NCBR/2012).

BIBLIOGRAFIA

1. AVL, *Emissions Test Instruments. Micro Soot Sensor. Continuous measurement of soot concentration*. Graz 2008.
2. Fuć P., *Studium regeneracji pasywnej filtrów cząstek stałych w silnikach o zapłonie samoczynnym*. Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej (2012),
3. Merkisz J., Fuć P., Lijewski P., *On-road exhaust emission tests from hybrid passenger vehicles*. SAE Paper 2011-01-2053 (JSAE 20119012). Powertrains, Fuels & Lubricants Conference, August 30-September 2, Kyoto 2011.
4. Opracowanie własne na podstawie: www.gus.pl
5. Regulations Commission: Regulation (EU) No 582/2011 of 25 May 2011 implementing and amending Regulation (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council with respect to emissions from heavy duty vehicles and amending Annexes I and III to Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council, 2011.
6. Sensors Inc., *Emissions measurement solutions. SEMTECH®-DS On Board In – Use Emissions Analyzer*, Erkrath 2010.
7. United States Environmental Protection Agency, “Control of Emissions of Air Pollution from 2004 and Later Model Year Heavy-Duty Highway Engines and Vehicles; Revision of Light-duty Truck Definition”, 40 CFR Parts 85 and 86, 1999.
8. Wykonano na podstawie: www.gpswisualizer.com

THE ANALYSIS OF THE EXHAUST EMISSIONS FROM HYBRID CITY BUSES IN THE ASPECT OF THE NTE AND UE 582/2011 PROCEDURES

Abstract

The paper presents the results of investigations related to the exhaust emissions from two city buses fitted with serial and parallel hybrid powertrains. Both vehicles were 18 meters in length and were powered by diesel engines of the capacity of 6.7 dm³, however, the engines differed with their power outputs. Beside the information on the vehicles' exhaust emissions the tests provided invaluable information on the actual conditions of operation of these engines. During the analysis of the results the authors referred them to the NTE and UE 582/2011 procedures regarding the realization and calculation of the exhaust emissions under actual operation of a vehicle. The tests were carried out in city traffic on regular bus routes of the Poznań bus operator. For the measurement of the gaseous exhaust components the authors used SEMTECH DS and for the determination of the PM content - AVL MSS. Both analyzers belong to the PEMS group (Portable Emissions Measurement System).

Autorzy:

dr inż. **Maciej Bajerlein** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o.,
e-mail: maciej.bajerlein@put.poznan.pl

mgr inż. **Łukasz Rymaniak** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: lukasz.m.rymaniak@doctorate.put.poznan.pl