

Krystian Woźniak, Maciej Andrzejewski, Paweł Daszkiewicz, IPS „Tabor”, Poznań
Łukasz Rymaniak, Politechnika Poznańska, Poznań

BADANIA ZUŻYCIA ENERGII PRZEZ POJAZDY W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

RESEARCH ON ENERGY CONSUMPTION BY VEHICLES IN REAL-TIME CONDITIONS

Streszczenie: W artykule przedstawiono elementy składowe systemu CL (Contact Line) pozwalającego na pomiar energii pobranej i oddanej do sieci trakcyjnej pozwalający na precyzyjny pomiar oraz zarządzanie i rozliczanie energii elektrycznej dla pojazdów szynowych. Przywołano najważniejsze normy i wymagania przeprowadzania testów dla pojazdów kolejowych i drogowych pozwalających na transport osób. Zaprezentowano wyniki badań dla elektrycznego autobusu miejskiego przeprowadzone wg autorskiej procedury badawczej opracowanej przez IPS „Tabor”, która wykorzystywana jest w postępowaniach przetargowych na dostawę autobusów elektrycznych do polskich miast. Pozwala ona na wyznaczenie całkowitej energii pobieranej przez autobus, która jest sumą energii pobieranej i energii oddawanej podczas procesu rekuperacji do zasobników energii. Badania przeprowadzono według opracowanego przez stowarzyszenia International Association of Public Transport testu jezdny SORT 2, dla którego definiowana jest średnia prędkość jazdy, długość trasy i czas pokonywania przejazdu, co odzwierciedla warunki eksploatacji występujące dla typowej trasy miejskiej. Podczas badań uwzględniono stan naładowania akumulatorów – zmiana stanu naładowania akumulatorów przed i po teście była bliska 0, zgodnie z SAE J2711.

Abstract: The article presents the components of the CL (Contact Line) system allowing for the measurement of energy collected and given to the traction network allowing for precise measurement and management and electricity accounting for rail vehicles. The most important standards and test requirements for railway and road vehicles allowing for the transport of persons were recalled. The results of tests for the electric city bus carried out according to proprietary research procedure developed by IPS "Tabor", which is used in tender proceedings for the supply of electric buses to Polish cities. It allows you to determine the total energy consumed by the bus, which is the sum of energy consumed and energy returned during the recuperation process to the energy stores. The tests were carried out according to the SORT 2 driving test developed by the communication operator International Association of Public Transport, for which the average speed, route length and time of passing are defined, which reflects the operating conditions of a typical urban route. During the tests, the state of charge of the batteries was taken into account, so that it was the same and the change in the state of charge of the batteries before and after the test was close to 0 according to SAE J2711.

Słowa kluczowe: *zużycie energii, pojazdy elektryczne, energia całkowita, testy jezdne*

Keywords: *energy consumption, electric vehicles, total energy, driving tests*

1. Wstęp

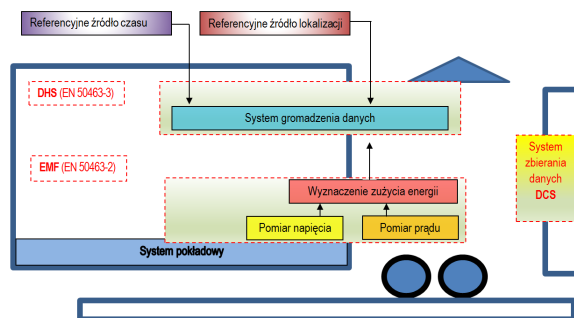
Głównym kryterium brany pod uwagę przez przewoźników przy wyborze taboru jest zużycie energii. Szczególnie podczas eksploatacji pojazdów przeznaczonych do przewozu pasażerów koszty związane z energią mają znaczący wpływ na rentowność przedsięwzięcia i cenę jaką za usługę zapłaci pasażer. W przeważającej części pojazdy zamawiane są w trybie przetargów ogłaszanych przez jednostki samorządowe i spółki z udziałem Skarbu Państwa. W wielu przypadkach postępowanie przetargowe zawiera wymóg określenia przez producenta deklarowanego zużycia energii. Deklarację producenta można najczęściej sprawdzić dopiero

podczas jazd testowych po dostarczeniu pojazdu przewoźnikowi. Podstawową wadą takiego rozwiązania jest fakt, iż w praktyce trudno jest po rozstrzygnięciu przetargu i dostarczeniu pojazdu, unieważnić całe postępowanie. W sytuacji gdy zakup finansowany jest ze środków unijnych, istnieje groźba utraty wsparcia państwowego. Aktualnie oprócz badań homologacyjnych, podczas których badana jest emisja zanieczyszczeń z silnika autobusu wraz z układem oczyszczania gazów wylotowych na silnikowym stanowisku hamulcowym, wykonywane są również badania całych pojazdów na hamowni podwoziowej lub w warunkach dro-

gowych [12]. Opracowanie tego typu testów ma uzasadnienie podczas oceny energochłonności dla danej grupy pojazdów w rzeczywistych warunkach drogowych. W przypadku autobusów miejskich miarą energochłonności układu napędowego jest przebiegowe zużycie paliwa, które stanowi główny koszt eksploatacyjny dla danego operatora [11].

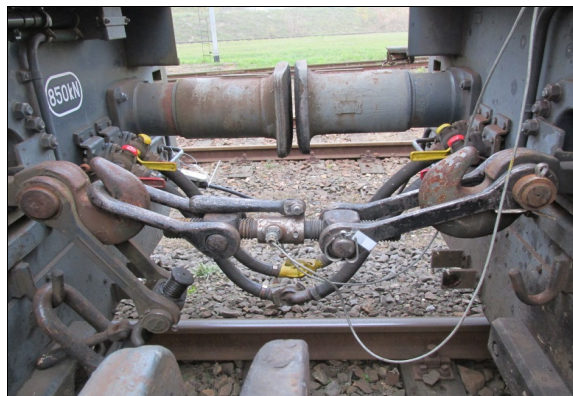
2. Tabor kolejowy

Wymagania związane z wyposażeniem pojazdów w pokładowe urządzenia do pomiaru energii podane są w pkt. 4.2.8.2.8 TSI LOC&PAS (1302/2014) [1], obejmujące tabor kolejowy z wyłączeniem przewozów lokalnych na wydzielonych funkcjonalnie systemach kolei. Podstawowe funkcje, jakie powinien spełniać system zawiera dodatek D. Szczegółowe rozwiązania techniczne w tym zakresie opisane są w normie EN 50463-2:2012 [2], do której odwołuje się dodatek J wspomnianego dokumentu TSI. Cały system pokładowego pomiaru energii EMS (Energy Measurement System) składający się z funkcji pomiaru EMF (Energy Measurement Function), obróbki DHS (Data Handling System), przesyłania i gromadzenia danych DCS (Data Collection Service) opisują pozostałe części norm z serii EN 50463. Założenia systemu EMS przedstawia rys. 1. Zadaniem systemu jest pomiar energii pobranej i oddanej do sieci CL (Contact Line), do celów zarządzania i rozliczeń. System ten nie uwzględnia energii wydzielanej w postaci ciepła na rezystorach hamowania. Taki przypadek może mieć miejsce w procesie hamowania elektrodynamicznego, podczas którego dla określonych parametrów napięcia energia nie może być oddawana do sieci trakcyjnej. W celu określenia dokładnego zużycia energii, układ pomiarowy należy rozbudować o ten element [10, 13, 14].



Rys. 1. Schemat blokowy działania systemu EMS

W praktyce, montowany jest komplet aparatury o wyższej klasie dokładności w szczególności dlatego, że energia oddawana do rezystorów w procesie rekuperacji ma charakter impulsowy i dla precyzyjnych pomiarów niezbędne jest stosowanie wyższych częstotliwości próbkowania. Testy te można wykonać w ramach wyznaczenia parametrów trakcyjnych, podczas których dla lokomotyw, przy pomocy tensometrycznego sprzęgu widocznego na rys. 2, mierzona jest również siła pociągowa na haku.



Rys. 2. Tensometryczny sprzęg do pomiaru siły na haku lokomotywy

Mając już precyzyjnie zaprojektowany układ pomiarowy, można przystąpić do doprecyzowania warunków pomiarów. W tym punkcie pomocne okażą się ogólne wymagania podane w pkt. 9.3 normy EN 50215:2009 [3], które wskazują na konieczność doprecyzowania takich parametrów trasy, jak:

- długość, nachylenie oraz promień łuków linii kolejowej,
- zatrzymania i czasy ich trwania,
- maksymalną dozwoloną prędkość na wyspecyfikowanych odcinkach,
- parametry napięcia zasilania sieci trakcyjnej,
- możliwość hamowania odzyskowego na linii,

oraz konfiguracji pociągu:

- obciążenie pojazdu (lub dla lokomotywy masę brutto haku),
- liczbę osi,
- współczynnik bezwładności dla wirujących mas,
- charakterystyki trakcyjne,
- krzywe siły hamowania;
- maksymalne przyśpieszenie i jego zmiany,
- maksymalną siłę hamowania,
- rodzaj jazdy (manualna lub automatyczna).

Widok wnętrza elektrycznych zespołów trakcyjnych obciążonych balastem w postaci betonowych bloczków i żeliwnych ciężarków podczas wyznaczania parametrów trakcyjnych przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Elektryczne zespoły trakcyjne obciążane balastem podczas badań właściwości trakcyjnych

Norma ta uwzględnia również możliwość realizacji testów zużycia paliwa dla pojazdów spalinowych. W takim przypadku należy określić charakterystykę paliwa oraz materiałów smarowanych.



Rys. 4. Cyfrowy rejestrator do pomiaru parametrów elektrycznych

Powstały również próby ustandaryzowania warunków pomiaru. Gotowe scenariusze jazd testowych znajdziemy w załącznikach do specyfikacji CLC/TS 50591:2013 [4]. Obejmują one

cztery profile jazd dla ruchu pasażerskiego i jeden dla ruchu towarowego.

Główne cechy profili zestawiono w tabeli 1. Specyfikacja ta zawiera również ustandaryzowane tabele służące do precyzyjnego udokumentowania warunków testów, wśród nich między innymi charakterystykę infrastruktury, sieci zasilającej, dane o pociągu podczas jazdy i na postoju oraz strefy klimatycznej, na której położona jest trasa.

W warunkach rzeczywistych realizacja pomiarów zużycia energii według opisanych wyżej programów jest bardzo trudna i wynika z ograniczeń leżących po stronie infrastruktury. Dostępny w Polsce tor doświadczalny w Żmigrodzie umożliwia jazdę z prędkością 160 km/h wyłącznie na krótkim odcinku trasy, a na łukach prędkość ograniczona jest do 120 km/h. Z kolei na infrastrukturze PKP PLK S.A. trudno jest znaleźć odpowiednio długie odcinki linii kolejowych z profilem trasy o niewielkich zmianach nachylenia i odpowiedniej prędkości dopuszczalnej.

3. Badania spalinowego taboru autobusowego

Działania zmierzające do standaryzacji testów zużycia paliwa w autobusach zapoczątkowano w końcu lat 90-tych. W początkowej fazie skupiono się na opracowaniu cykli bazowych i metody pomiaru zużycia paliwa dla autobusów o ZS. W roku 2013 Międzynarodowa Unia Transportu Publicznego UITP (Union Internationale des Transports Public), łącząca organizatorów oraz operatorów transportu publicznego, decydentów politycznych, instytucje naukowe oraz przedstawicieli przemysłu i dostawców usług porozumiała się w tej kwestii i opublikowała dokument: „Projekt UITP SORT Znormalizowane cykle testów jezdnych” [5].

Tabela 1. Cechy profili jazdy według specyfikacji CLC/TS 50591:2013 [4]

Nazwa profilu	Dystans [km]	Czas przejazdu [min]	Prędkość max. [km/h]	Ilość zatrzymań podczas jazdy	Profil trasy, max. wzniesienie [m]
Podmiejski	40	40	120	10	0
Regionalny	70	61	140	13	0
Międzomiastowy	250	159	200	8	0
Wysokiej prędkości	300	107	300	1	0
Towarowy linii głównych	300	253	100	5	340

Oprócz badań homologacyjnych, gdzie badana jest emisja zanieczyszczeń z silnika autobusu wraz z układem oczyszczania gazów wylotowych na silnikowym stanowisku hamulcowym, wykonywane są również badania całych pojazdów na hamowni podwoziowej lub w warunkach drogowych [9]. Opracowanie tego typu testów ma uzasadnienie w możliwości oceny energochłonności dla danej grupy pojazdów w rzeczywistych warunkach drogowych. W przypadku autobusów miejskich miarą energochłonności układu napędowego jest przebiegowe zużycie paliwa, które stanowi główny koszt eksploatacyjny dla danego operatora komunikacyjnego. 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 regularność, prostota i dokładność, przez co 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. Cykle bazowe mają za zadanie odwzo-

rowanie typowego charakteru jazdy, składającego się z fazy ruszania, jazdy ze stałą prędkością, hamowania oraz zatrzymania. Tak zdefiniowany charakter jazdy autobusów przyjmuje kształt trapezów. W zależności od typu trasy zdefiniowano trzy rodzaje cykli:

- SORT 1 – Heavy Urban (odzwierciedlający warunki eksploatacji w centrum dużych miast),
- SORT 2 – Easy Urban (odzwierciedlający warunki eksploatacji występujące dla typowej trasy miejskiej),
- SORT 3 – Suburban (odzwierciedlający warunki eksploatacji autobusów komunikacji zbiorowej na przedmieściach dużych miast i na trasach wewnętrznych mniejszych miast). Odcinek pomiarowy musi być prostoliniowy tak, aby możliwe było wykonanie pełnego cyklu i płaski (maksymalne dopuszczalne nachylenie wynosi 1,5%). Nawierzchnia powinna być sucha i dobrej jakości. Pomiary powinny być wykonane w temperaturze dodatniej 0-30°C przy wilgotności względnej nie przekraczającej 95%. Prędkość wiatru podczas badań nie powinna przekraczać 3 m/s, przy czym dopuszczalne jest przeprowadzenie testu w porywach do 8 m/s.

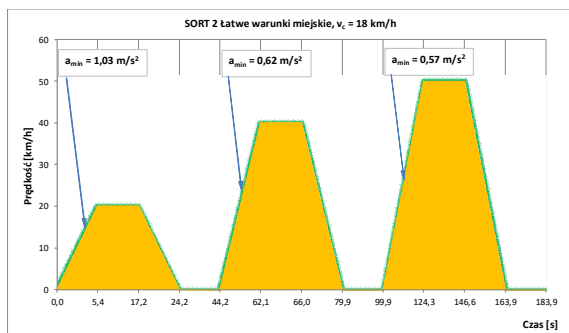
Tabela 2. Podstawowe parametry cykli SORT

Parametr	SORT 1	SORT 2	SORT 3
Prędkość średnia V_c (km/h)	12,1	18	25,3
Liczba zatrzymań na kilometr	5,8	3,3	2,1
Czas zatrzymań [%]	39,7	33,4	20,1
Trapez 1 stała prędkość [km/h] / długość [m]	20/100	20/100	30/200
Minimalne przyśpieszenie [m/s^2]	1,03	1,03	0,77
Trapez 2 stała prędkość [km/h] / długość [m]	30/200	40/220	50/600
Minimalne przyśpieszenie [m/s^2]	0,77	0,62	0,57
Trapez 3 stała prędkość [km/h] / długość [m]	40/220	50/600	60/650
Minimalne przyśpieszenie [m/s^2]	0,62	0,57	0,46
Czasy zatrzymań [s]	20/20/20	20/20/20	20/10/10
Droga całkowita s [m]	520	920	1 450
Opóźnienie hamowania [m/s^2] (dla wszystkich trapezów)	0,8	0,8	0,8
Czas obliczeniowy [s]	154,5	183,9	206,2

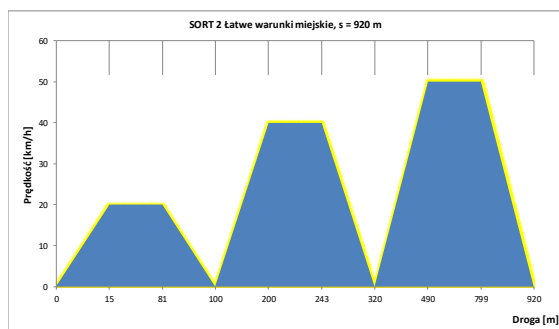
Obiekt badawczy musi być sprawny technicznie oraz wymagane jest, aby płyny eksploatacyjne były uzupełnione do poziomu nominalnego. Ciśnienie w ogumieniu musi mieć wartość zgodną z prawidłową. Pojazd powinien być obciążony ładunkiem, tak by pod względem masy pojazdu było odzwierciedlenie przejazdu z pasażerami. Podczas wykonywania pomiarów układy klimatyzacji i ogrzewania oraz oświe-

lenie wewnętrzne pojazdu powinny być wyłączone. Drzwi powinny być otwierane tylko przy ostatnim postoju. Podstawowe parametry cykli podano w tabeli 2. Dla przykładu podstawowy cykl jezdny dla SORT 2 obejmuje długość 920 metrów, powinien być wykonany 2-krotnie w każdym kierunku dla toru obejmującego prostą ścieżkę testową, natomiast dla toru okrą-

głego próby powinny być minimum 3. Dwukrotne wykonanie testu w dwóch kierunkach na torze prostym daje odcinek pomiarowy jednej próby wynoszący 3 680 metrów. Graficzne zobrazowanie parametrów, na przykładzie cyklu SORT 2, przedstawiono na rys. 5 i 6.



Rys. 5. Cykl SORT 2, wykres prędkości w funkcji czasu



Rys. 6. Cykl SORT 2, wykres prędkości w funkcji drogi

4. Metodyka badawcza autobusu elektrycznego

W roku 2014 ukazało się nowe wydanie Projektu UTIP „SORT” [6] wzbogacone o wymagania dla intensywnie rozwijającej się technologii autobusów hybrydowych. Badania autobusu hybrydowego wymagają spełnienia kilku dodatkowych warunków, tak aby podczas pomiaru zużycia paliwa uwzględnić wpływ urządzeń magazynujących energię ich stan naładowania, tak, by uniknąć zmierzenia wartości bez uwzględnia pracy tych urządzeń. Rozróżniamy dwa główne typy pojazdów hybrydowych uwzględniając sposób naładowania akumulatorów, są to pojazdy hybrydowe, które mogą być ładowane z zewnętrznego źródła zasilania oraz pojazdy, które nie mają możliwości ładowania akumulatorów z zewnątrz. Pierwsza grupa to pojazdy, które mogą poruszać się na dużych dystansach w trybie „czysto elektrycznym”, charakteryzują się dużą wydajnością RESS (Rechargeable Energy Storage System) i przy

obliczaniu całkowitego zużycia paliwa zależność ta musi być brana pod uwagę, jednak grupa tych pojazdów w całkowitej liczbie pojazdów elektrycznych jest stosunkowo mała. Drugą grupę stanowią pojazdy, które nie mogą być ładowane z zewnątrz, a energia niezbędna do przemieszczania jest pozyskiwana z silnika spalinowego zasilanego np.: olejem napędowym bądź CNG. Pojazdy z systemem RESS mogą odzyskiwać energię z fazy hamowania, a w trybie „czysto elektrycznym” poruszają się na krótkich dystansach, dlatego nie sprawdza się ich w trybie „czysto elektrycznym”, tylko w trybie hybrydowym. W przypadku pojazdów hybrydowych i elektrycznych bardzo ważnym parametrem, który należy wziąć pod uwagę jest stan naładowania akumulatorów (lub RESS) przed i po teście, gdyż zbyt duże zróżnicowanie w stanie naładowania akumulatorów ma znaczący wpływ na całkowity wynik zużycia paliwa, który przez rozproszenie może mieć wpływ dodatni lub ujemny wpływ. Pożądane jest zatem zapewnienie na takim samym poziomie stanu naładowania akumulatorów po pomiarze, aby zminimalizować wpływ tej zmiany na zużycie paliwa. Chcąc zachować tę zależność niezbędne jest, aby zmiana stanu naładowania akumulatorów NECVariance (Net Energy Change) po wykonaniu testu była bliska 0 zgodnie z SAE J2711. W tym samym okresie w ofercie producentów zaczęły pojawiać się autobusy w pełni elektryczne. Mimo to, nie wypracowano dla nich jednolitych zasad pomiaru zużycia energii elektrycznej. W związku z pilną potrzebą standaryzacji testów, na potrzeby zamówień publicznych, w maju 2015 IPS „TABOR” opracował procedurę PB-23 [7] Badania zużycia energii elektrycznej autobusów elektrycznych. W kolejnych latach procedura PB-23 [7] została wykorzystana w postępowaniach przetargowych na dostawy autobusów elektrycznych do kilku polskich miast. Podczas testów opisanych w PB-23 [7] wyznaczana jest całkowita E_c pobierana przez autobus, która jest sumą energii pobieranej z baterii E_z i energii E_0 oddawanej podczas procesu rekuperacji zgodnie z niżej wymienioną zależnością:

$$E_c = E_z + \eta * E_0 \quad (1)$$

gdzie:

E_z – energia elektryczna pobierana z baterii [VAs],

E_0 – energia elektryczna oddawana do baterii [VAs],

η – sprawność energetyczna ładowania baterii, wartość podana przez producenta akumulatorów, w przypadku braku danych przyjmuje się wartość 80 %, z podaniem tej informacji w sprawozdaniu z badań.

Energia elektryczna E_z pobierana z baterii obliczana jest z zależności:

$$E_z = \sum_{t=0}^n U_z * I_z * \Delta t \quad (2)$$

gdzie:

U_z – napięcie na wyjściu z baterii [V],

I_z – prąd pobierany z baterii (ze znakiem dodatnim) [A],

Δt – odstęp czasu próbkowania [s],

n – liczba próbek obliczana, jako iloraz czasu przez częstotliwość próbkowania dla prądu wypływającego z baterii (ze znakiem dodatnim).

Energia elektryczna E_0 oddawana do baterii obliczana jest z zależności:

$$E_0 = \sum_{t=0}^n U_0 * I_0 * \Delta t \quad (3)$$

gdzie:

U_0 – napięcie na wyjściu z baterii [V],

I_0 – prąd wpływający do baterii (ze znakiem ujemnym) [A],

Δt – odstęp czasu próbkowania [s],

n – liczba próbek obliczana, jako iloraz czasu przez częstotliwość próbkowania dla prądu wpływającego do baterii (ze znakiem ujemnym).

Wyznaczenie bilansu energii elektrycznej całkowitej E_B oblicza się z poniższej zależności:

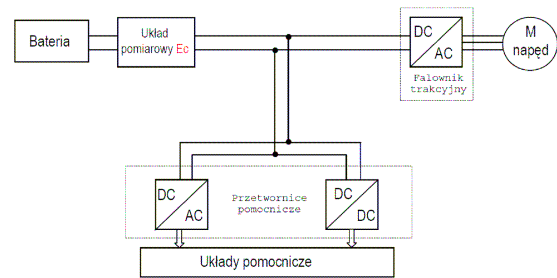
$$E_B = \frac{E_c}{1000 * 3600 * S_n} \quad (4)$$

gdzie:

E_B – bilans energii elektrycznej całkowitej [kWh/km],

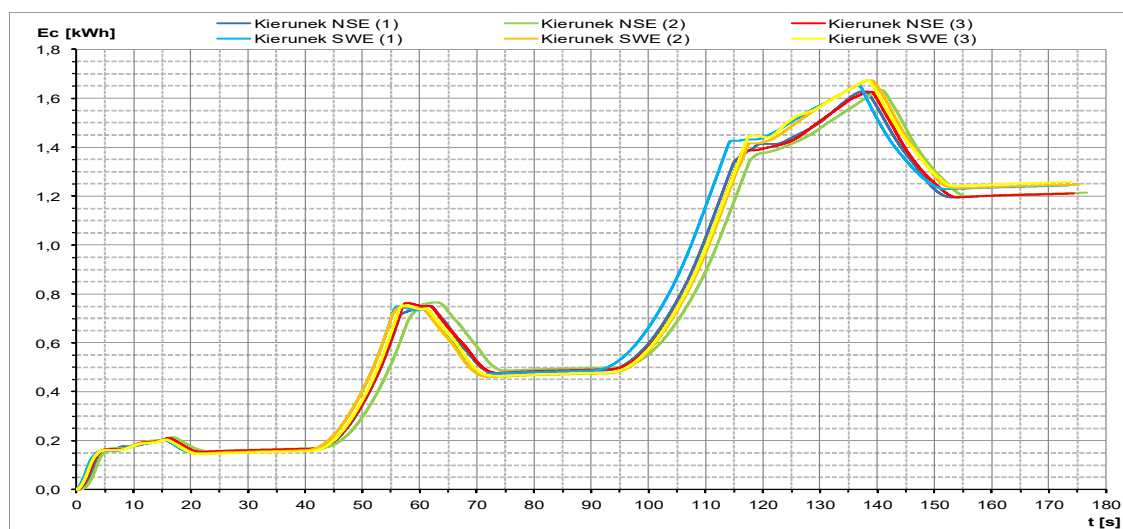
S_n – długość cyklu SORT [km].

Miejsce pomiaru energii E_c pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Miejsce zainstalowania układu pomiarowego do wyznaczenia energii E_c .

Badania przeprowadzono z kierowcą znającym zasady jazdy zgodnej z założeniami testów jedynych oraz dużym doświadczeniem wykonywania takich jazd. Zachowano założenia wymagane dla warunków pogodowych oraz wytyczne związane z eksploatacją i warunkami pomiarów dla pojazdu, pomiary realizowano jednego dnia dla trzech rodzajów cykli SORT. Na rys. 8 przedstawiono przykładowe wykresy zużycia energii E_c wykonanego podczas pomiarów dla dwóch kierunków jazdy zarejestrowanych podczas testów dla cyklu SORT 2.



Rys. 8. Energia E_c w funkcji czasu wyznaczona dla cyklu SORT 2.

Do wyznaczenia całego zużycia energii, która jest niezbędna do przewozów obsługiwanych przez autobusy elektryczne trzeba uwzględnić jeszcze jeden czynnik. Sprawność systemu ładowania. W lipcu 2017 r. opublikowano procedurę UIPT PROJECT E-SORT [8], uzupełnioną o ten właśnie etap. Według tych wymagań proces pomiaru realizowany jest w następujących krokach:

1. Wyznaczenie zużycia energii w danym cyklu SORT_i:

$$c_i \left[\frac{kWh}{100 km} \right] = \frac{100E_i}{d_i} \quad (5)$$

gdzie:

c_i – zużycie energii w cyklu SORT_i [kWh/100 km],

E_i – energia zmierzona w cyklu SORT_i [kWh],

d_i – dystans zmierzony w cyklu SORT_i [km].

2. Wyznaczenie maksymalnego zasięgu w cyklu SORT_i:

$$d_{Max}^i = \frac{100E_c^{Max}}{c_i} = \frac{E_c^{Max}}{E_i} * d_i \quad (6)$$

gdzie:

E_c^{Max} – energia zmierzona na wyjściu stacji ładowania [kWh], (pomiar od minimalnego do maksymalnego stanu naładowania),

d_{Max}^i – maksymalny zasięg w cyklu SORT_i [km].

3. Wyznaczenie sprawności stacji ładowania:

$$\eta_c [\%] = \frac{E_c^{Max}}{E_G^{Max}} \quad (7)$$

gdzie:

E_G^{Max} – energia zmierzona na wejściu stacji ładowania [kWh], (pomiar od minimalnego do maksymalnego stanu naładowania).

4. Wyznaczenia zużycia energii uwzględniającego TCO (Total Cost of Ownership), całkowity koszt pozyskania (przykład):

$$C [€] = \frac{(s_i [kWh/100km] * L [years] * K \left[\frac{km}{year} \right] * p [€/(kW/h)])}{\eta_c [100\%]} \quad (8)$$

gdzie:

L – czas resursu autobusu,

K – średni przebieg autobusu w czasie resursu,

p – średnia cena energii elektrycznej.

Zastosowanie tej metody umożliwia oszacowanie kosztów zużycia energii elektrycznej przez autobus w całym cyklu jego eksploatacji. Trzeba jednak pamiętać, że wyliczone tym sposobem wartości obarczone są znaczną niepewnością. Podczas pomiarów zużycia energii c_i w danym cyklu SORT w autobusie wyłączone są wszystkie odbiorniki za wyjątkiem systemów niezbędnych do sterowania pojazdem. Energia pobierana przez układy ogrzewania, wentylacji, klimatyzacji, monitoringu, obsługi urządzeń - biletomaty, wewnętrzny system informacji pasażerskiej oraz oświetlenia wewnętrznego nie jest uwzględniana. Ponadto procedura E-SORT nie precyzuje zagadnień związanych z optymalizacją układu napędowego w egzemplarzu autobusu dostarczanego na testy, na przykład zwiększeniu histerezy załączania chłodzenia układu napędowego, co może mieć istotny wpływ na wynik pomiaru. Wersje oprogramowania badanego pojazdu i dostarczanego do użytkownika powinny być identyczne.

5. Podsumowanie

Wzrost cen energii, który obserwujemy w ostatnich miesiącach i latach nasuwa niezbyt optymistyczne perspektywy na zmianę tego trendu, wszystko to wpływa na coraz baczniejsze przyglądanie się przez przewoźników zużyciu energii przez tabor i określania parametrów z tym związanych dla nowych zamówień. Weryfikacja danych technicznych zadeklarowanych przez producenta wskazana jest do przeprowadzenia na etapie badań typu i w przypadku elektrycznych zespołów trakcyjnych, przy nieznacznym zwiększeniu nakładów, można ją połączyć z innymi badaniami, na przykład przy wyznaczaniu parametrów trakcyjnych, badań hamulca, czy współpracy odbieraków z siecią. Znormalizowane metody badań opisane w niniejszym opracowaniu, zarówno dla taboru kolejowego jak i autobusów, wymagają doprecyzowania. W warunkach polskich, z uwagi na wymagania dla profilu i prędkości, realizacja części scenariuszy jazd testowych podanych w specyfikacji CLC/TS 50591:2013 [4] byłaby bardzo trudna. Z kolei ogólnie rozumiane procedury SORT, w opisie metody i standardowych arkuszach dokumentujących testy, pomijają bardzo istotną kwestię związaną z udokumentowaniem wersji oprogramowania

układu napędowego i sterownika głównego, które mogą mieć wpływ na zużycie energii przez pojazd.

6. Literatura

- [1]. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) NR 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej,
- [2]. EN-50463-2:2012 Railway applications – Energy measurement on board trains – Part 2: Energy measuring,
- [3]. EN-50215:2009 Railway applications – Rolling stock – Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service,
- [4]. CLC/TS 50591:2013 Specification and verification of energy consumption for railway rolling stock,
- [5]. SORT (D) Projekt UITP „SORT”, Znormalizowane cykle testów jezdnych, UITP, 2013,
- [6]. SORT (D + H) UITP PROJECT ‘SORT’ STANDARDISED ON-ROAD TEST CYCLES, New edition UITP 2014,
- [7]. PB-23 Badania zużycia energii elektrycznej autobusów elektrycznych wydanie 02, IPS „TABOR” Poznań, maj 2015 r.,
- [8]. E-SORT UITP PROJECT E-SORT, Cycles for electric vehicles, July 2017.
- [9]. M. Bajerlein, Ł. Rymaniak, P. Świątek, A. Ziółkowski, P. Daszkiewicz, M. Dobrzyński “Modification of a Hybrid City Bus Powertrain in the Aspect of Lower Fuel Consumption and Exhaust Emissions”, *Applied Mechanics and Materials Vol. 518*, p. 102-107, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.518.108, 2014.
- [10]. P. Daszkiewicz, M. Andrzejewski, J. Merkisz, W. Stawecki, Y. Bolzhelarskyi, Ocena sposobu organizacji prac rozrządowych w aspektach ekologicznych, *AUTOBUSY: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 12/2018, s. 1173 – 1176, DOI: 10.24136/atest.2018.248.
- [11]. IJ. Golda, P. Golebiowski, M. Izdebski, M. Klodawski, R. Jachimowski, E. Szczepanski “The evaluation of the sustainable transport system development with the scenario analyses procedure”, *JOURNAL OF VIBROENGINEERING*, Volume: 19 Issue: 7 Pages: 5627-5638 Published: NOV 2017.
- [12]. J. Merkisz, Ł. Rymaniak "The assessment of vehicle exhaust emissions referred to CO₂ based on the investigations of city buses under actual conditions of operation", *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2017*; 19 (4): 522–529, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2017.4.5>.
- [13]. J. Merkisz, I. Pielecha, M. Andrzejewski, P. Daszkiewicz, W. Stawecki “Legal conditions in the aspect of pollutant emissions from exhaust systems of rail vehicles engines”, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 25, No. 1/2018, pp. 257–264.
- [14]. S. Tomaszewski, F. Tomaszewski, J. Strzemkowski: Influence of selected lubricants on operation of relay valves of braking systems of rail vehicles, *POJAZDY SZYNOWE 2/2018*, ISSN 0138-0370, s. 7-16.

Autorzy

mgr inż. Krystian Woźniak – Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu, k.wozniak@tabor.com.pl

dr inż. Maciej Andrzejewski – Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu, m.andrzejewski@tabor.com.pl

dr inż. Paweł Daszkiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu, p.daszkiewicz@tabor.com.pl

dr inż. Łukasz Rymaniak – Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Transportu, lukasz.rymaniak@put.poznan.pl.