Kamil Pędziwiatr, Marcin Pędziwiatr

Analiza projektu E-Bus Berlin

Solaris Urbino electric w Berlinie. Fot. Solaris

JEL: L94, Q01. DOI: 10.24136/atest.2018.005

Data zgłoszenia: 07.12.2017. Data akceptacji: 06.02.2018

W sierpniu 2015 r. w stolicy Niemiec uruchomiono projekt E-Bus, który przyczynić się powinien do redukcji szkodliwych gazów, ograniczenia hałasu oraz rozwoju rynku autobusów elektrycznych w rejonie Berlina i Brandenburgii. W artykule omówiona została pierwsza elektryczna linia autobusowa stolicy Niemiec, która powstała w oparciu o wykorzystanie różnorodnych rozwiązań technicznych. Uwzględniono 2 zasadnicze grupy tego typu rozwiązań – zastosowanie autobusu elektrycznego Solaris Urbino 12 electric oraz systemu szybkiego ładowania indukcyjnego Primove firmy Bombardier. Podkreślono również zalety wynikające z eksploatacji pojazdów elektrycznych w transporcie publicznym Berlina. Przedstawione zagadnienia zostały oparte o bilans środowiskowy projektu E-Bus Berlin.

Słowa kluczowe: elektrobusey, emisja zanieczyszczeń, napęd elektryczny, system szybkiego ładowania indukcyjnego.

Wstęp

W sierpniu 2015 r. w stolicy Niemiec uruchomiono projekt E-Bus, który przyczynić się powinien do redukcji szkodliwych gazów, ograniczenia hałasu oraz rozwoju rynku autobusów elektrycznych w rejonie Berlina i Brandenburgii. Wzrost elektromobilności (korzystanie z pojazdów elektrycznych, zarówno w indywidualnym transporcie, jak i w środkach transportu publicznego) [11] jest bowiem istotnym czynnikiem realizacji celów europejskiej polityki transportowej w zakresie rozwoju niskoemisyjnego i oszczędniego w zasoby transportu miejskiego pasażerów [1, 4]. Celem nadrzędnym europejskiej polityki transportowej jest stworzenie

systemu stanowiącego podstawę postępu gospodarczego w Europie, wzmacniającego konkurencyjność i oferującego usługi w zakresie mobilności o wysokiej jakości przy jednocześnie oszczędnym gospodarowaniu zasobami. Narzędziem pozwalającym na realizację tego celu jest zwiększone zapotrzebowanie na wykorzystywanie źródeł odnawialnych przez środki transportu. Działania podejmowane w wielu państwach członkowskich Unii Europejskiej wskazują, że priorytetowym kierunkiem rozwoju niskoemisyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu będzie znaczny wzrost liczby wykorzystywanych pojazdów napędzanych energią elektryczną [14].

1. Analiza uwarunkowań techniczno-organizacyjnych dla projektu E-Bus Berlin

Eksploatacja autobusów elektrycznych związana jest z licznymi ograniczeniami. Podstawowym ograniczeniem jest zasięg możliwości do osiągnięcia na jednym cyklu ładowania, który wymaga możliwości doładowania akumulatorów podczas obsługi danej linii (średni dobowy przebieg wynosi około 300 km) [7]. Kolejną barierą jest konieczność zapewnienia minimalnego czasu doładowania akumulatorów na obsługiwanej linii, który musi uwzględniać ograniczenia technologiczne użytych akumulatorów i systemu ładowania oraz rozkład w planie pracy autobusu na obsługiwanej linii, czyli czas potrzebny na wymianę pasażerów na przystankach i pętlach końcowych. Obecnie oferowane warianty doładowania pojazdu elektrycznego w transporcie publicznym to: ładowanie za pomocą pantografu (odbywa się na wybranym przystanku danej linii), ładowanie z gniazdka (stacje ładowania plug-in instalowane na pętlach końcowych i w zajezdniach autobusowych) oraz ładowanie indukcyjne (oparte o technologie

beprzewodowej transmisji energii elektrycznej z wykorzystaniem indukcji elektromagnetycznej [2, 16].

Celem państw członkowskich Unii Europejskiej jest to, aby w 2020 r. po drogach poruszało się od 8 do nawet 9 mln pojazdów elektrycznych [3]. Główne problemy jego realizacji to nadal wysokie koszty zakupu takich środków transportu, budowy, rozbudowy czy przebudowy niezbędnej do tego infrastruktury, koszty eksploatacji, znaczna masa własna akumulatorów, które są jednocześnie największym ograniczeniem zasięgu pojazdów, gdyż zwykle ładowanie trwa aż kilka godzin. W berlińskich pojazdach Solaris Urbino 12 electric zastosowano szybkie ładowanie indukcyjne, które rozwiązuje ten problem. Ulepszenia w technologii produkcji akumulatorów przyczyniły się do realizacji projektu E-Bus Berlin. Największym problemem był jednak brak punktów ładowania na planowanej trasie obsługiwanej przez pojazdy elektryczne. Punkty takie należało zainstalować w miejscach zamieszkania, pracy oraz miejscach publicznych, przy jak najmniejszej ingerencji w architekturę miasta i infrastrukturę punktową wykorzystywaną przez pozostałe środki transportu publicznego. Obecnie większość państw członkowskich Unii Europejskiej nie dysponuje wystarczającą liczbą ogólnie dostępnych punktów ładowania ani nie ogłosiła polityki rozwoju odpowiedniej sieci urządzeń do ładowania [17, 5].

2. Elektryczna linia autobusowa nr 204

Proces planowania układu komunikacyjnego dla przebiegu linii autobusowych oraz obsługi tych linii przez określoną flotę pojazdów jest istotnym zagadnieniem operacyjno-technicznym dla operatora publicznych usług transportowych. Część linii obsługiwana może być przez flotę mieszaną, czyli zarówno autobusami o alternatywnych źródłach napędu, jak i konwencjonalnych [15].

Długość linii, na której kursują berlińskie autobusy elektryczne, wynosi 6,1 km (rys. 1). Prowadzi ona od Berlińskiego Uniwersytetu Technicznego do Dworca Südkreuz. Jej trasa została zaplanowana tak, aby bezemisyjne Solarisy, zatrzymujące się m.in. przy Dworcu ZOO, stanowiły jeden z bardzo ważnych punktów przesiadkowych całej metropolii.

Przyczyną zastosowanego przebiegu linii nr 204 w Berlinie było również ukształtowanie terenu. Linia została tak poprowadzona, aby w jak najwyższym stopniu wyeliminować pochylenia na trasie, zwiększające pobór energii elektrycznej z akumulatorów przez układ napędowy podczas jazdy na wzniesieniu, prowadzącej do skracania zasięgu pojazdu między kolejnymi cyklami doładowania akumulatorów. Pod uwagę wzięto również zwiększoną podatność całego systemu na zakłócenia, spowodowane na przykład awarią systemu zasilania, która nie mogło wpływać na niezawodność funkcjonowania całego systemu transportu miejskiego pasażerów na obszarze aglomeracji Berlina.

Przy projektowaniu linii nie bez znaczenia pozostała struktura potrzeb przewozowych obszaru, przez który to przebiega linia 204. Łączna liczba pasażerów przewożonych na pokładzie pojazdu ma wpływ na pobór energii z akumulatorów. Istotne wówczas staje się dostosowanie częstotliwości kursowania i pojemności taboru do występujących na danym obszarze potoków pasażerskich.

Projekt E-Bus Berlin zakładał także skomunikowanie kursów autobusów elektrycznych z pozostałymi systemami transportowymi (wykorzystującymi w swojej siatce połączeń zintegrowane węzły przesiadkowe) i obsługę obiektów będących źródłem znacznych potoków ruchu, takich jak na przykład centra handlowe, stacje metra U-Bahn i szybkiej kolei miejskiej S-Bahn oraz dworce kolejowe i autobusowe.

3. Autobus elektryczny Solaris Urbino 12 electric

Autobus, jako najbardziej uniwersalny środek transportu miejskiego pasażerów, może w znacznej mierze zastąpić transport indywidualny w dużych aglomeracjach miejskich Europy. Pod warunkiem, że spełnia on wymagania w zakresie bezemisyjnej lub ograniczonej do minimum emisji spalin i hałasu.

Autobusy miejskie coraz częściej są zasilane z tzw. alternatywnych źródeł energii. Ten kierunek zmian konstrukcyjnych w autobusach miejskich wynika z rosnących wymagań ekologicznych, w tym z dążenia do zmniejszenia emisji szkodliwych składników spalin oraz hałasu [18]. Pojazdy elektryczne w Berlinie napędzane są przez wysokosprawne silniki elektryczne, zasilane energią elektryczną z sieci energetycznej, tzn. „zielonym prądem”, czyli energią pochodzącą z odnawialnych źródeł energii. Na takim rozwiązaniu zyskują więc pasażerowie, mieszkańcy, a także środowisko naturalne [6, 13].

Flota E-Bus składa się z 4 pojazdów typu Urbino 12 electric polskiego producenta Solaris Bus & Coach S.A. Pojazdy wyposażono w centralny silnik asynchroniczny o mocy 160 kW (218 PS), który gwarantuje dynamiczne przyspieszanie oraz prędkość maksymalną wymaganą przez zamawiającego 65 km/h (tab. 1).

Autobusy posiadają osprzęt elektryczny firmy Vossloh Kiepe. Parametry pojazdów zostały tak zoptymalizowane, aby podczas jazdy przez zatłoczone centrum Berlina miały zawsze wystarczający zapas energii. Zasięg tych pojazdów zależy od temperatury zewnętrznej, parametrów linii komunikacyjnej, obciążenia pojazdu i sposobu napędu agregatów pomocniczych. Zastosowa-

Linia autobusowa nr 204	6,1 km
Czas przejazdu	24 min
Udział czasu jazdy	80%
Liczba przystanków końcowych	2
Czas ładowania	4–7 min
Liczba przystanków	18
Liczba e-busów	4

Rys. 1. Układ przebiegu linii 204 w Berlinie [9]

Rys. 2. Schemat przebiegu ładowania autobusu Solaris Urbino 12 electric z wbudowanym systemem szybkiego ładowania indukcyjnego [10]

o już eksploatowane pojazdy elektryczne, które charakteryzują się mniejszym zasięgiem i mniejszą liczbą miejsc dla pasażerów.

Największą różnicą w stosunku do pojazdów o konwencjonalnym źródle napędu jest energia potrzebna do jazdy, która nie pochodzi ze zbiornika paliwa, ale z akumulatora litowo-jonowego. Napęd elektryczny ma wiele zalet w porównaniu z silnikiem wysokoprężnym. Do najważniejszych zalicza się:

- ♦ brak emisji spalin;
- ♦ wydłużoną żywotność podzespołów;
- ♦ brak hałasu i wibracji;
- ♦ mniejsze zużycie energii.

Tab. 1. Dane techniczne autobusu Solaris Urbino 12 electric, eksploatowanego przez Zakłady Komunikacyjne BVG w Berlinie [10]

Wyszczególnienie	Dane techniczne
Producent	Solaris
Typ/model	Urbino 12 electric
Długość x szerokość x wysokość	12,0 m x 2,55 m x 3,35 m
Prędkość maksymalna	65 km/h
Liczba pojazdów	4
Pojemność przestrzeni pasażerskiej	70 osób
Miejsca siedzące	33, w tym 19 z niskiej podłogi
Masa własna	13 t
Masa całkowita	18 t
Producent napędu	Vossloh Kiepe GmbH
Rodzaj silnika	Asynchroniczny silnik centralny, moc: 160 kW
Moc silnika	160 kW/218 KM
Typ silnika	TSA TMF 35
Producent systemu baterii	Bombardier Transportation
Baterie trakcyjne	PRIMOVE Batterie 90
Typ baterii	Litowo-jonowe
Pojemność baterii	90 kWh
Napięcie	660 V
Klimatyzacja	Konvekta UL500EM
Ogrzewanie (elektryczne)	Spheros, 20 kW
Oś przednia	ZF RL 82 EC
Oś napędowa	ZF AV 132

4. System szybkiego ładowania indukcyjnego (beprzewodowa transmisja energii elektrycznej z wykorzystaniem indukcji elektromagnetycznej)

Stworzeniem systemu i jego zbadaniem zajął się wydział Przedmiotowych Metod Rozwoju Produktu i Mechatroniki Uniwersytetu Technologicznego w Berlinie. Przeanalizowano różne metody ładowania pojazdów pod względem ich wykonalności technicznej i ekonomicznej. Rezultatem jest system tak zwanej „okazji ładowania”. Baterie autobusów elektrycznych na każdym przystanku końcowym (czyli Hertzsallee i Südkreuz) potrzebują od 4 do 7 min na doładowanie. Schematycznie przedstawiono to na rys. 2.

Autobusy Solaris Urbino 12 electric wyposażone są w system szybkiego ładowania indukcyjnego Primove firmy Bombardier. Moc ładowarek, wynosząca 200 kW, powoduje, że pojazdy potrzebują zaledwie kilku minut na doładowanie baterii (tab. 2). Wykonane przez firmę Bombardier baterie o pojemności 90 kWh umieszczone są na dachu pojazdu. Energia uzupełniana jest za pomocą stacji indukcyjnych, zlokalizowanych w obu końcowych punktach linii [13].

Technologia ładowania indukcyjnego opiera się na bezstykowym i w pełni automatycznym procesie uzupełnienia energii niezbędnej do działania środka transportu (rys. 3). Zaletą technologii ładowania indukcyjnego jest praktycznie niewidoczny dla użytkownika transportu publicznego proces ładowania. Brakuje tu przewodów napowietrznych, które są charakterystycznym elementem w przypadku innych systemów eBus. Elementy takie wpływają nie tylko na panoramę miasta, ale wystawione są na działanie

Tab. 2. Dane techniczne systemu szybkiego ładowania indukcyjnego Primove firmy Bombardier, eksploatowanego przez Zakłady Komunikacyjne BVG w Berlinie [10]

Wyszczególnienie	Dane techniczne
Producent	Bombardier Transportation
Typ/model	Primove 200 (system szybkiego ładowania indukcyjnego)
Moc ładowarek	200 kW
Wydajność systemu ładowania	> 90%
Połączenie zasilające	400 V (prąd przemienny)
Punkty ładowania baterii	Na obsługiwanej linii znajdują się 2 punkty ładowania (Hertzsallee i Südkreuz); 3. Ulokowany jest na zajeżdźni autobusowej (Indira-Ghandi-Str.)
Czas ładowania	Od 4 do 7 min w 2 punktach ładowania na trasie

Rys. 3. Algorytm działania systemu szybkiego ładowania indukcyjnego na przykładzie autobusu Solaris Urbino 12 electric

m.in. warunków atmosferycznych i ataki wandalii. Stacja szybkiego ładowania indukcyjnego jest zakopana w przeważającej części w podłożu (najczęściej betonowym). Gdy pojazd znajduje się nad powierzchnią płyty indukcyjnej, pobór energii umożliwia zamontowany pod pojazdem kolektor prądu. Transfer energii między płytą

indukcyjną a pojazdem odbywa się za pomocą pola elektromagnetycznego (rys. 4) [13].

Po zakończeniu służby pojazdy są dodatkowo ładowane za pomocą konwencjonalnego złącza, aby oszczędzać energię baterii w procesie ogrzewania lub klimatyzowania pojazdu przed rozpoczęciem kolejnej służby. Przedłuża to żywotność baterii i pozwala także na to, by kierowca i pasażerowie mogli wejść bezpośrednio do przyjemnie klimatyzowanego czy ogrzewanego pojazdu.

5. Bilans środowiskowy projektu E-Bus Berlin

Wprowadzenie na linię 4 nowych elektrycznych Solarisów oznacza redukcję emisji dwutlenku węgla o ok. 260 t rocznie (rys. 5). Aby otrzymać podobny efekt, należałoby zelektryfikować około 250 poruszających się po Berlinie samochodów osobowych [13]. Poziom hałasu w stolicy Niemiec został również obniżony, ponieważ 1 Urbino 12 electric emituje hałas nie większy niż samochód osobowy. Dla zachowania ostrożności autobusy zostały wyposażone w głośniki zewnętrzne, przez które kierowca może poinformować osoby stojące na przystanku o nadjeżdżającym elektrobusie. Projekt E-Bus Berlin został dofinansowany przez Niemieckie Federalne Ministerstwo Transportu i Cyfrowej Infrastruktury kwotą 4,1 mln euro. Projektowi udziela naukowego wsparcia Berliński Uniwersytet Techniczny [13].

Oddana do użytku pierwsza elektryczna linia autobusowa, po której indukcyjnie ładowane Solarisy Urbino 12 electric transportują mieszkańców Berlina, stanowi kamień milowy w procesie rozwoju elektromobilności na terenie Berlina i Brandenburgii i przyczynia się do znacznego polepszenia bilansu ekologicznego stolicy Niemiec [12].

Rys. 4. Autobus Solaris Urbino 12 electric z wbudowanym systemem szybkiego ładowania indukcyjnego [13]

Rys. 5. Bilans środowiskowy projektu E-Bus Berlin [10]

Podsumowanie

Projekt E-Bus, będący elementem planu rozwoju elektromobilności na terenie Berlina, bez wątpienia wpisuje się w działania Unii Europejskiej w tworzenie i rozwój niskoemisyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu pasażerów. Sukcesem projektu jest przezwyciężenie barier ograniczających możliwość napędzania autobusów alternatywną energią w stosunku do popularnego diesla dzięki zastosowaniu odpowiednich urządzeń i infrastruktury.

Duże zanieczyszczenie powietrza w stolicy Niemiec wymaga podejmowania radykalnych działań w zakresie ograniczenia emisji spalin i hałasu, zarówno przez środki transportu indywidualnego, jak i zbiorowego. Można jednak przypuszczać, że najbliższe wymiany taboru na pojazdy o emisji zerowej przez Berlińskie Zakłady Komunikacyjne (BVG) zostaną dokonane w oparciu o wyniki analiz obecnie prowadzonego projektu E-Bus Berlin. Związane jest to nie tylko z kosztami zakupu nowych pojazdów, ale także z kosztami towarzyszącymi w zakresie przystosowania infrastruktury zasilania energią i obsługowo-naprawczej.

Ograniczając emisję szkodliwych substancji, bardzo często wprowadza się rozwiązania, które – chociaż poprawiają bilans środowiskowy danego regionu – mogą stwarzać wiele problemów w czasie eksploatacji. Autobusy elektryczne są obecnie innowacją produktową i, jak to bywa w przypadku wprowadzania innowacyjnych rozwiązań w każdej dziedzinie życia, należy liczyć się z niespodziewanymi trudnościami, które nie występowały podczas eksploatacji taboru konwencjonalnego.

Eksploatacja ekologicznych i innowacyjnych środków transportu miejskiego pasażerów wymaga dostosowania organizacji zadań przewozowych do specyfiki omawianych środków transportu. Układ publicznego transportu, oparty na działaniach przyjaznych środowisku, powinien funkcjonować w oparciu o połączenie wszystkich podmiotów biorących udział w obsłudze, zaopatrzeniu i organizacji zintegrowanego transportu miejskiego. Obserwowany obecnie dynamiczny rozwój konstrukcji pojazdów o ekologicznych napędach i systemach wspomagających pozwala przewidywać, iż w najbliższej przyszłości nastąpi szybki ich rozwój.

Bibliografia:

1. Biała Księga Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu, COM (2011) 144.
2. Brenna M., Foadelli F., Zaninelli D., *Integration of recharging infrastructures for electric vehicles in urban transportation system*, Energy Conference and Exhibition, (Energycon), IEE International, 2012.
3. Dyr T., Abramowicz A., *Projekt eBus jako instrument rozwoju transportu publicznego*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 7–8.

4. Dyr T., *Europejska polityka transportowa na pierwszą połowę XXI wieku*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2013, nr 11.
5. Dyr T., *Konkurencyjna i zasobooszczędna mobilność w miastach*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2015, nr 1–2.
6. Filipczyk J., Łazarz B., *Nowoczesne autobusy – obniżenie poziomu emisji zanieczyszczeń i hałasu na przestrzeni lat*, „Komunikacja Publiczna” 2015, nr 2 (59).
7. Grzelec K., Okrój D., *Perspektywy obsługi miast autobusami elektrycznymi na przykładzie Sopotu*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 11.
8. <http://busportal.sk> (dostęp: 20.12.2017 r.).
9. <http://primove.bombardier.com/projects/europe/germany-berlin-primove-e-bus.html> (dostęp: 20.12.2017 r.).
10. <http://www.bvg.de> (dostęp: 09.01.2017 r.).
11. <http://www.dekra.de> (dostęp: 25.01.2017 r.).
12. <http://www.emo-berlin.de> (dostęp: 20.12.2017 r.).
13. https://www.bvg.de/images/content/meldungen/2015/150707_E-BusFAQ.PDF (dostęp: 20.12.2017 r.).
14. https://www.senat.gov.pl/gfx/senat/userfiles/_public/k9/komisje/2016/kgni/materialy/048/2016-09-30_notatka_informacyjna_dla_kgni.pdf (dostęp: 20.12.2017 r.).
15. Janecki R., Karoń G., *The Concept of Smart Cities and Economic Model of Electric Buses Implementation*, [in:] Mikulski J. (ed.), *Telematics – support for transport*, Springer, Katowice 2014.
16. Karoń G., *Czy autobus elektryczny może być czynnikiem rozwoju transportu publicznego?*, „Komunikacja Publiczna” 2015, nr 2 (59).
17. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów *Czysta energia dla transportu: europejska strategia w zakresie paliw alternatywnych*, COM (2013) 17.
18. Prochowski L., Żuchowski A., *Samochody ciężarowe i autobusy*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
19. Rusak Z., *Bus Euro Test 2016 w Brukseli, czyli „Umarł Diesel. Niech żyje elektryczność”*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 6.

Analysis of the E-Bus Berlin project

The E-Bus project was launched in August 2015 in Berlin should contribute to reduction of harmful emissions, noise reduction and development of the electric bus market in the area of Berlin and Brandenburg. This article discusses the first electric bus line in the capital of Germany, which was based on the use of various technical solutions. Two basic groups of such solutions were taken into account – the use of the Solaris Urbino 12 electric bus and the Bombardier Primove inductive charging system. The advantages of using electric vehicles in public transport in Berlin were also discussed. The presented issues were based on the environmental balance of the E-Bus Berlin project.

Keywords: electric buses, emission, electric propulsion, inductive charging system.

Autorzy:

inż. **Kamil Pędziwiatr** – Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Inżynieryjno-Ekonomiczny Transportu

Marcin Pędziwiatr – Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska