

Dr hab. Krzysztof Grzelec
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Drogowej
Politechnika Gdańska

UWARUNKOWANIA OBSŁUGI TRANSPORTOWEJ MIAST ELEKTROBUSA- MI NA PRZYKŁADZIE SOPOTU

Streszczenie

Pojazdy o napędzie elektrycznym stanowią jeden z filarów realizacji polityki zrównoważonej mobilności w miastach i aglomeracjach. Ponad stuletnie doświadczenia w eksploatacji tramwajów, trolejbusów i miejskich kolei elektrycznych zdeterminowały kierunki rozwoju technologicznego tych środków transportu oraz zakres ich wykorzystania w realizacji potrzeb przewozowych mieszkańców obszarów zurbanizowanych. Rozwój nowoczesnych technologii magazynowania energii elektrycznej stworzył nowe możliwości wykorzystania pojazdów elektrycznych – elektrobusów – w obsłudze transportowej miast i aglomeracji miejskich. Aspekty ekologiczne, brak konieczności budowy sieci trakcyjnej wzdłuż tras elektrobusów i większa elastyczność obsługi w porównaniu z tramwajami i trolejbusami, są najczęściej wymienianymi determinantami wprowadzenia tego nowego rodzaju pojazdów elektrycznych do eksploatacji.

Sopot jako miasto uzdrowiskowe jest w szczególnym stopniu predestynowany do obsługi pojazdami elektrycznymi. Jednocześnie funkcjonująca na obszarze tego miasta komunikacja trolejbusowa stwarza określone warunki dla funkcjonowania i rozwoju elektrobusów. Z drugiej strony rozwijająca się, lecz wciąż pozbawiona długoletnich doświadczeń eksploatacyjnych technologia napędów bateryjnych, wskazuje na szereg uwarunkowań i zagrożeń dla pewności obsługi komunikacyjnej miast, zwłaszcza przy intensywnej eksploatacji w zróżnicowanych warunkach terenowych i klimatycznych. Celem niniejszego referatu jest analiza uwarunkowań techniczno-technologicznych, eksploatacyjnych, ekonomicznych i ekologicznych wprowadzenia elektrobusów do obsługi komunikacyjnej Sopotu. Jest także próbą odpowiedzi na pytanie o efektywne wykorzystanie istniejących rozwiązań technicznych i organizacyjnych przy wprowadzaniu do obsługi elektrobusów w tym mieście.

Słowa kluczowe: autobus elektryczny, elektrobus, uwarunkowania, transport publiczny

Wprowadzenie

Wprowadzanie pojazdów elektrycznych jest jednym z filarów zrównoważonej mobilności, ochrony środowiska i dywersyfikacji energetycznej. Równoważenie mobilności oznacza takie zaspokajanie potrzeb transportowych, które rozpoczyna się na etapie planowania przestrzennego, a kończy na wpływaniu za zachowania transportowe mieszkańców. Wzrost udziału pojazdów elektrycznych w realizacji zadań przewozowych w miastach ma szczególne znaczenie, w związku z niewydziałaniem szkodliwych substancji do środowiska w miejscu realizacji procesów przemieszczania, w tym emisji CO₂ i hałasu.

Przewidywany rozwój pojazdów elektrycznych będzie miał istotny wpływ nie tylko na funkcjonowanie miast, ale także systemu elektroenergetycznego. Z jednej strony będzie wymagana budowa odpowiedniej infrastruktury i rozbudowa sieci dystrybucyjnych, a z drugiej, pojawią się dla branży elektroenergetycznej i odbiorców energii elektrycznej nowe możliwości jej magazynowania. Wzrost popytu na energię elektryczną powinien być wykorzystany przez odbiorców i dostawców krajowego systemu elektroenergetycznego do poprawy efektywności produkcji i wykorzystania energii, podniesienia niezawodności dostaw i obniżenia kosztów dostaw energii.

Elektrobusy jako pojazdy komunikacji miejskiej

Pierwsze, prototypowe autobusy elektryczne pojawiły się na polskim rynku w 2011 r. Firma Solaris Bus&Coach przedstawiła model Solaris Urbino 8,9LE electric. Do napędu tego autobusu wykorzystano centralnie usytuowany czteropolowy silnik asynchroniczny o mocy 120kW (163KM). Silnik zasilany był z dwóch 600V baterii litowo-jonowych o energii 120kWh, co pozwalało na pokonanie odległości do 100 km bez konieczności ich doładowania. Pojazd wyposażony był w urządzenie do odzyskiwania energii w trakcie hamowania, a jego prędkość maksymalną ograniczono do 50 km/h. Maksymalny czas ładowania baterii nie przekraczał 4 godz.

Wyniki testów pierwszych autobusów z napędem elektrycznym z fabryki w Bolechowie wykorzystano przy konstrukcji modelu Solaris Urbino 12 electric. Montując silnik z poprzedniego modelu, zwiększono wielkość energii akumulatorów do 230 kWh i deklarowany zasięg do 150 km. Skrócono też czas ładowania do około 2 godz. Firma SB&C wprowadziła też odmianę 18 m autobusu elektrycznego, wyposażono w ogniwo wodorowe o mocy 101 kW wspomagające baterię o pojemności 120 kWh.

Na rynku krajowym poza firmą SB&C autobusy elektryczne oferuje m.in. firma AMZ Kutno, specjalizująca się w zabudowywaniu specjalnych pojazdów użytkowych. W modelu

AMZ City Smile 10E zamontowano silnik o mocy 120 kW, zasilanych z baterii o dostępnej energii 230 kWh, co wg producenta pozwala na pokonanie odległości do 240 km. Całkowity czas ładowania baterii wynosi około 8 godz. przy prądzie ładowania 36A i ok. 2,5 godz., przy prądzie ładowania 250 A.¹

Podawane przez producentów parametry, zwłaszcza w zakresie zasięgu, są obecnie weryfikowane w wielu miastach w ramach testów. Testy w Warszawie wykazały, że zasięg testowanych pojazdów jest nieco niższy niż deklarowany przez producenta (ok. 130 km zamiast 150 km).² Będzie się on zmniejszał wraz ze wzrostem zapotrzebowania na energię w trakcie eksploatacji w określonych warunkach.

Z punktu widzenia stosowanych obecnie technologii można wyróżnić trzy systemy ładowania:

- poprzez podłączenie baterii do urządzenia ładującego wtyczką (najczęściej w zajezdni po zakończeniu pracy pojazdu);
- indukcyjne – pod powierzchnią przystanku wbudowana jest pętla indukcyjna, która ładuje baterie za pośrednictwem urządzenia (tzw. pick-up'a) umieszczonego pod podłogą pojazdu i opuszczanego na czas ładowania;
- poprzez platformę ładowania (montowaną np. do słupa na przystanku lub pętli) i pantograf z głowicą wielostykową.

Szybkie ładowanie elektrobusów na trasie wymaga zapewnienia zasilania o znacznej mocy. Korzystnym rozwiązaniem w takim przypadku jest wykorzystanie już istniejącej sieci trakcyjnej (np. trolejbusowej) i „wpięcie” do niej urządzeń ładowania. Zwraca się przy tym uwagę na brak separacji galwanicznej pomiędzy siecią trakcyjną, a układem elektrycznym elektrobusu. Autobusy elektryczne, w odróżnieniu od trolejbusów, są wyposażone instalację elektryczną wykonaną z jednostopniową izolacją. W trakcie ładowania autobusu elektrycznego z sieci trolejbusowej istnieje niebezpieczeństwo porażenia pasażerów w przypadku wystąpienia uszkodzenia izolacji. W związku z tym, ładowanie elektrobusów z sieci może się odbywać tylko na pętlach końcowych, bez pasażerów i wymaga wyposażenia pojazdów w przekształtnik zapewniający separację instalacji pojazdu od sieci energetycznej.³

¹ A. Maciejczyk: Autobusy komunikacji miejskiej o napędzie elektrycznym w Polsce. Logistyka 3/2015, s. 2958.

² J. Kuźmiński: Ekologiczna rewolucja w stołecznych autobusach. „Biuletyn Komunikacji Miejskiej” nr 138. IGKM Warszawa, s.44.

³ Trolejbus czy elektrobus na przykładzie Gdyni. Analiza porównawcza. Gdańsk 2015, s. 31.

Zwiększenie zasięgu elektrobusego wymaga zwiększenia wartości energetycznej baterii, co z kolei prowadzi (szczególnie gdy wartość energetyczna przekracza 250 kWh) do szybkiego przyrostu ich masy. Powoduje to nie tylko wzrost ciężaru pojazdu, który skutkuje zwiększeniem zużycia energii, ale także niesie za sobą określone problemy konstrukcyjne. Testy laboratoryjne i terenowe wskazują, że wydajność baterii, po 5-6 latach spada wraz z liczbą ładowań do 85% i o następne 10% w kolejnych 5 latach. Zmniejszenie sprawności akumulatorów musi być brane pod uwagę przy planowaniu alokacji pojazdów na trasach o określonych parametrach. Nowoczesne baterie wyposażone są w specjalne obudowy zapewniające im niezależenie sprawności energetycznej od temperatury zewnętrznej. Jest to szczególnie istotne w zimie przy niskich temperaturach.

Wzrost ciężaru pojazdu następuje także w rezultacie zwiększania się liczby pasażerów. Na trasach śródmiejskich o relatywnie wyższym wykorzystaniu zdolności przewozowej należy liczyć się z wyższym zapotrzebowaniem na energię i w związku z tym z wyższym od przeciętnego w sieci zużyciem jednostkowym energii w przeliczeniu na 1 km trasy.

Kolejnym uwarunkowaniem wykorzystania elektrobusego w transporcie miejskim jest zapotrzebowanie na energię do celów niezwiązanych z napędzaniem pojazdu. Nowoczesne pojazdy komunikacji miejskiej wyposażane w urządzenia o określonym zapotrzebowaniu energetycznym. Należą do nich: system obsługi kasowników (kasowniki, urządzenia sterujące kasownikami), system obsługi tablic informacyjnych (tablice, urządzenia sterujące tablicami), oświetlenie wewnętrzne i zewnętrzne pojazdu, system audio, klimatyzacja, komputery sterujące pracą silnika i urządzenia kontrolujące pracę pojazdu, monitoring, urządzenia otwierania drzwi, inne (np. gniazda ładowarek urządzeń mobilnych). Zużycie energii przez odbiorniki wzrasta w okresie zimowym. Szacuje się, że moc wykorzystywana do obsługi wszystkich urządzeń elektrycznych i elektronicznych może dochodzić do 10kW.

Zmiana zużycia energii występuje przy określonym ukształtowaniu terenu. Podjazdy na wzniesienia wpływają na zwiększenie zużycia energii. Co prawda w pojazdach wyposażonych w system rekuperacji w kursach powrotnych (o ile przebiegają tą samą trasą) następuje „oddanie” nadwyżki energii przez zjeżdżanie i hamowanie, jednak z technicznego punktu widzenia, zmienne ukształtowanie terenu może stanowić ograniczenie w wykorzystaniu elektrobusego w związku z koniecznością częstszego ładowania baterii.

Elektrobusy eksploatowane w warunkach kongestii także będą narażone na ponadprzeciętne zużycie energii. Ponieważ występowanie kongestii jest często zdeterminowane czynnikami losowymi (wypadki, awarie), jej uwzględnienie w rozkładzie jazdy nie zawsze jest moż-

liwe. Należy więc unikać planowania rozkładów jazdy „na styk”, przewidując utrzymanie odpowiednio dużego zapasu energii w bateriach. Kongestia wpływając na opóźnienia pojazdów powoduje skrócenie, a w niektórych przypadkach niewystępowanie postoju na pętłach. Taka sytuacja wyklucza możliwość doładowania baterii. Problem ten nie będzie występował w sytuacji, gdyby elektrobuses poruszał się na części trasy narażonej na kongestię ładując baterie z sieci, analogicznie jak trolejbusy wyposażone w dodatkowy napęd bateryjny. Występowanie kongestii w przypadku eksploatacji elektrobusesów można uznać za dodatkowy czynnik przemawiający za wydzieleniem buspasów i wprowadzaniu priorytetów dla pojazdów transportu zbiorowego przy wjeździe na skrzyżowania i włączaniu się do ruchu.

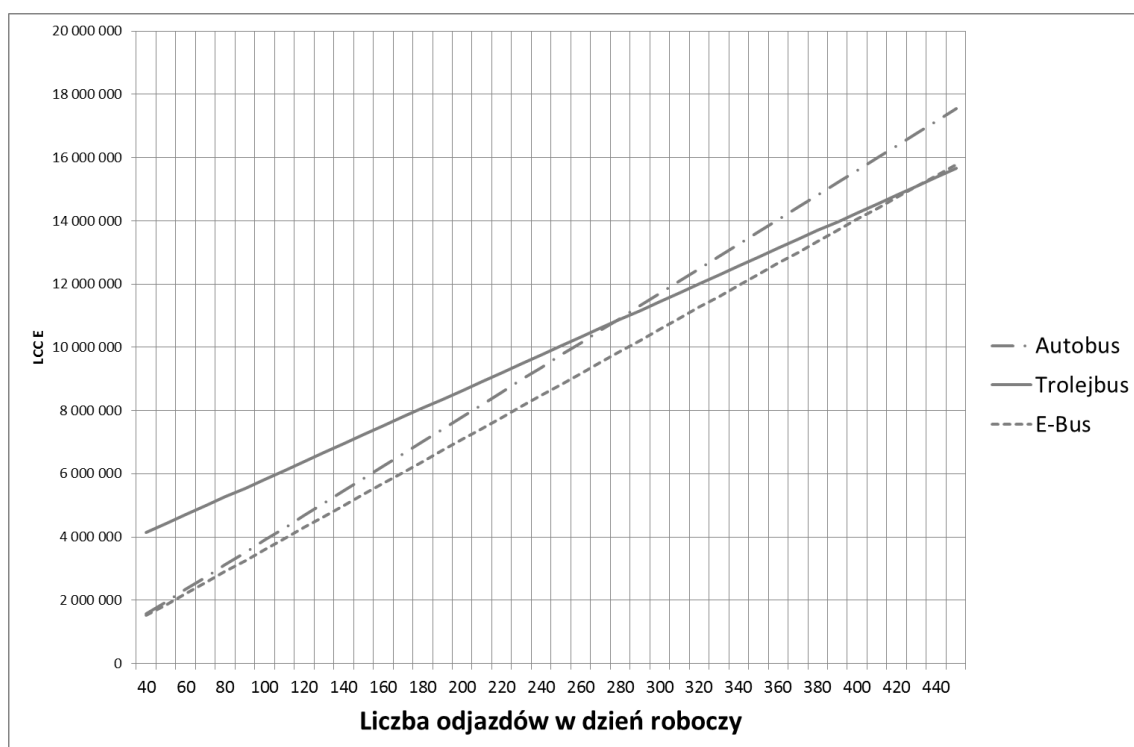
Słabą stroną trakcji elektrycznej jest jej podatność na paraliż komunikacyjny w rezultacie awarii zasilania energetycznego. Elektrobusesy korzystające z własnych baterii są niezależne od zasilania sieciowego tylko w granicach określonych ich zasięgiem. Dłuższa awaria systemów zasilania (zwłaszcza na mniejszych obszarach obsługiwanych przez jedną podstację) może prowadzić do poważnych perturbacji w realizacji oferty przewozowej. Rezygnacja z dywersyfikacji taboru wg kryterium stosowanego napędu może być w wielu przypadkach bardzo ryzykowna.

Wprowadzając elektrobusesy do eksploatacji operatorzy muszą liczyć się z dodatkowymi kosztami, wynikającymi z konieczności przekwalifikowania części pracowników i przeprowadzania szkoleń, zwłaszcza w sytuacji, w której przedsiębiorstwo specjalizowało się wyłącznie w obsłudze trakcji spalinowej. W wydatkach należy także uwzględnić koszty odpowiedniego wyposażenia zaplecza technicznego do obsługi pojazdów elektrycznych.

Głównymi argumentami przemawiającymi za wprowadzeniem elektrobusesów do eksploatacji w miastach są, poza niższymi kosztami eksploatacji (niższymi cenami energii w przeliczeniu na 1 km), względy ekologiczne. Wskazuje się przede wszystkim na zmniejszenie praktycznie do zera emisji zanieczyszczeń (zwłaszcza CO₂) w miejscu świadczenia usług. Zanieczyszczenia te, wynikające z technologii produkcji energii elektrycznej, w przypadku krajów takich jak Polska, w której ok. 84% energii elektrycznej wytwarzanej jest z węgla kamiennego i brunatnego⁴ występują w skali ponadlokalnej. Neutralizowanie zanieczyszczeń jest łatwiejsze w stacjonarnych źródłach emisji, niż w przypadku wieku źródeł mobilnych.

⁴ <http://www.rynek-energii-elektrycznej.cire.pl/st.33.207.tr.75.0.0.0.0.0.podstawowe-dane.html>. Dostęp w dn. 19.02.2016 r.

Opracowany przez M. Wolańskiego model ekonomiczny wskazujący na zakres opłacalności eksploatacji trolejbusów i autobusów w warunkach krajowych⁵, w zależności od intensywności obsługi (liczby kursów), został dla celów niniejszego referatu poszerzony o parametry ekonomiczno-eksploatacyjne elektrobusów. Obliczony próg rentowności dla poszczególnych rodzajów taboru uwzględnia nakłady inwestycyjne, koszty eksploatacyjne i społeczne. Dane na rys. 1 wskazują, że jedynie w zakresie bardzo dużej liczby kursów w sieci (ponad 420) elektrobusy stają się mniej opłacalne od trolejbusów. Charakteryzują się natomiast wyższą opłacalnością od autobusów niezależnie od intensywności obsługi.



Rys. 1

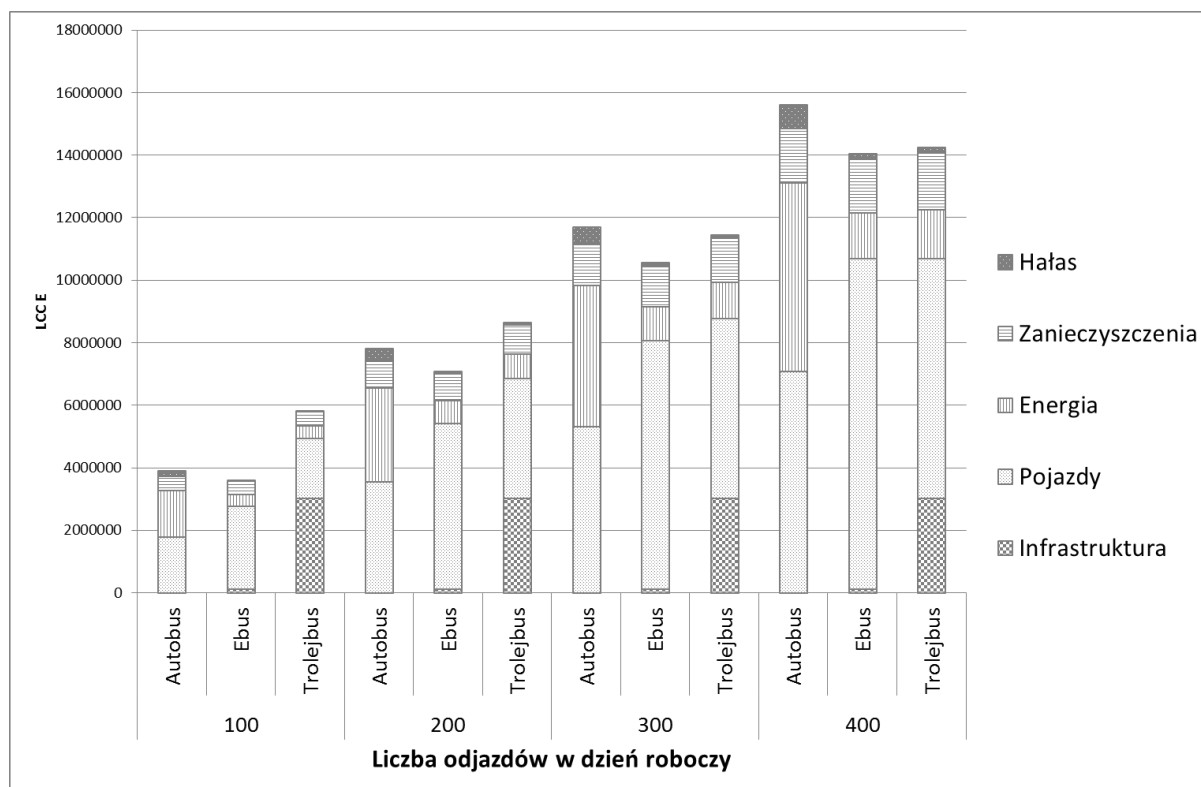
Próg opłacalności eksploatacji autobusów, trolejbusów i elektrobusów w zależności od liczby kursów w dniu powszednim w warunkach krajowych

Źródło: Model M. Wolańskiego na podstawie: Red. Wołek M., Wyszomirski O, Trolleybus as a Mean of Transport in the Light of The Trolley Project. Gdańsk 2013, s. 110-114.

Na rys. 2 przedstawiono strukturę kosztów elektrobusów i dla porównania także autobusów i trolejbusów w przekroju zakresu obsługi dla warunków krajowych. O opłacalności eksploatacji elektrobusów, pomimo ich wyższych cen zakupu, decydują przede wszystkim niższe koszty eksploatacyjne w porównaniu do autobusów i niewielkie koszty infrastruktury w porównaniu z trolejbusami.

⁵ Red. Wołek M., Wyszomirski O, Trolleybus as a Mean of Transport in the Light of The Trolley Project. Gdańsk 2013, s. 110-114.

W warunkach polskich relatywnie niewielkie są korzyści ekonomiczne elektrobusów, a także trolejbusów związane z emisją szkodliwych substancji środowiska. Poza strukturą produkcji energii elektrycznej w warunkach krajowych, wpływ na relatywnie niskie korzyści ekologiczne mają także coraz bardziej restrykcyjne normy emisji spalin dla autobusów i zdecydowana poprawa jakości taboru transportu miejskiego eksploatowanego w Polsce. Należy także pamiętać, że upowszechnienie napędu elektrycznego spowoduje wzrost kosztów recyklingu zużytych i wyeksploatowanych baterii.



Rys. 2

Struktura kosztów autobusów, trolejbusów i elektrobusów w zależności od intensywności obsługi.

Źródło: Ibidem, s. 110-114.

Korzyścią społeczną wynikającą z eksploatacji elektrobusów są także niższe koszty hałasu. W tym zakresie elektrobusy można uznać za konkurencyjne zwłaszcza w porównaniu z autobusami. Należy przy tym pamiętać, że wszystkie elektryczne pojazdy drogowe, emitując znacznie mniej hałasu niż spalinowe mogą w określonych sytuacjach stanowić zagrożenie dla uczestników ruchu, zwłaszcza osób starszych i niepełnosprawnych.

Obsługa komunikacyjna Sopotu elektrobusami

Sopot jest miastem uzdrowiskowym o powierzchni 17,3 km² i liczbie mieszkańców wynoszącej 39 tys. Miasto położone jest wzdłuż głównego ciągu komunikacji drogowej i kolejowej aglomeracji gdańskiej w jej centralnym paśmie, pełniąc przede wszystkim funkcje ośrodka rekreacji, turystyki, mieszkalnictwa i usług.

Układ sieci transportu pasażerskiego odzwierciedla pasmowe położenie miast metropolii. W Sopocie duże skupiska realizujące funkcję mieszkaniową położone są w tzw. Górnym Sopocie (osiedla Kamienny Potok, Brodwinno i Mickiewicza). Dolny Sopot w części południowej tworzą obszary rozproszonej zabudowy mieszkaniowej, usług i drobnej wytwórczości, w środkowej handlowo-usługowej, natomiast w północnej turystyczno-rekreacyjnej. Górny i Dolny Sopot rozdziela linia Szybkiej Kolei Miejskiej.

Transport miejski w Sopocie funkcjonuje w oparciu o ofertę SKM w Trójmieście (przewozy kolejowe organizuje Urząd Marszałkowski Województwa Pomorskiego), komunikację autobusową i trolejbusową organizowaną przez Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni oraz komunikację autobusową organizowaną przez Zarząd Transportu Miejskiego w Gdańsku.

Planując obsługę komunikacyjną Sopotu elektrobusem należy uwzględnić m.in.: liczbę pasażerów w przekroju poszczególnych linii i kursów, przebieg trasy poszczególnych linii, w tym udział tras z określonym nachyleniem, częstotliwość kursowania pojazdów na danej linii, czasy rozkładowych postojów na pętlach i możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury do zasilania elektrobusem.

Dla celów niniejszego referatu przeprowadzono analizę celowości i możliwości zastąpienia autobusów elektrobusem na liniach Zarządu Komunikacji Miejskiej w Gdyni, obsługujących linie wewnętrzne w Sopocie, których trasy nie przekraczają granicy miasta. Przedstawione poniżej dane mogą więc charakteryzować sytuację, w której władze miasta Sopotu mogą podjąć samodzielną decyzję finansową o zastąpieniu komunikacji autobusowej funkcjonującej na obszarze miasta elektrobusem⁶. W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę wewnętrznych linii autobusowych w Sopocie w dniu powszednim, który determinuje zakres i intensywność obsługi komunikacyjnej tego miasta.

⁶ Wyjątkiem jest obsługa linii 244, która obecnie jest obsługiwana przez autobus funkcjonujący także na linii 181 (z Sopotu do Gdyni Kaczych Buków) w godz. do 7 i po 15. Przyjęto założenie, że linię 244 będzie obsługiwał elektrobusem, który wykorzystany zostanie w godzinach porannych i popołudniowych na linii trolejbusowej 26.

Tab. 1

**Parametry eksploatacyjne wewnętrznych linii sopockiej komunikacji miejskiej
w dniu powszednim (stan marzec 2016)**

Li- nia	Trasa	Mak- sy- malna liczba pojaz- dów [szt.]	Prze- ciężna prędkość komu- nika- cyjna Vk [km/h]	Maksy- malna długość trasy* [km]	Czas postojów na przy- stan- kach krańco- wych* [min]	Dzienna praca eks- ploatacyjna na 1 pojazd [wozokm]
144	Osiedle Mickiewicza – Rynek Non Stop – Osiedle Mickiewicza (linia okrężna)	1	17,07	6,542	3-37	149
185	Kamienny Potok Kujawska – Rynek Non Stop - Kamienny Potok Kujawska	1	17,81	11,859	5-49	140-164
177 /187	Kamienny Potok SKM – Haffnera – Kamienny Potok SKM	4	20,33	8,432	1-17	149-236
244	Sanatorium Leśnik – Brodwinio - Sanatorium Leśnik (linia okrężna)	1	22,36	10,664	26-91	79

*na liniach okrężnych przyjęto tylko jeden przystanek krańcowy i podano maksymalną długość trasy jednego okrążenia

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZKM w Gdyni

W przeprowadzonej analizie efektywności uwzględniono rzeczywiste warunki ekonomiczno-eksploatacyjne komunikacji miejskiej w Sopocie. Wariantem porównawczym jest obecny (2016 r.) zakres obsługi komunikacyjnej i odpowiadające mu parametry eksploatacyjno-ekonomiczne oraz poziom czystości ekologicznej eksploatowanych autobusów. Uwzględniono także specyfikę układania rozkładów jazdy przez ZKM, polegającą na kierowaniu określonych pojazdów do obsługi zadań na różnych liniach, w celu zwiększenia efektywnego wykorzystania czasu pracy pojazdów i kierowców.

Porównano dla Sopotu trzy warianty obsługi: obecnej, elektrobusem i autobusami z silnikami Euro 6, zakładając, dla analizy kosztów DGC (Dynamic Generation Cost), 10-letni okres kontraktów. Dla wariantu obsługi autobusami elektrycznymi przyjęto założenie jej realizowania przez Przedsiębiorstwo Komunikacji Trolejbusowej w Gdyni. Operator ten charakteryzuje się co prawda wyższymi kosztami wynagrodzeń w stosunku do firm prywatnych, które mogą być potencjalnymi oferentami przewozów elektrobusem, ale jednocześnie skala

działania i wyspecjalizowanie się tej firmy w eksploatacji pojazdów trakcji elektrycznej umożliwiają PKT nieponoszenie części kosztów (np. szkolenia pracowników w zakresie specyfiki obsługi pojazdów elektrycznych) i uwzględnianie w większym stopniu w rachunku ekonomicznym kosztów krańcowych.

Przy obliczeniu efektów ekologicznych uwzględniono dwa warianty: lokalny, przyjmując założenie „zerowej” emisji w przypadku trakcji elektrycznej i regionalny, obliczając jednostkową emisję zanieczyszczeń dla elektrobusów proporcjonalnie do udziału poszczególnych metod jej wytwarzania w produkcji krajowej.

Tab. 2

Porównanie rocznych kosztów i korzyści ekologicznych wariantów obsługi Sopotu na wewnętrznych liniach autobusowych organizowanych przez ZKM w Gdyni

Wyszczególnienie	Obecna obsługa	Autobusy elektryczne	Autobusy Euro 6
Roczne koszty eksploatacji uwzględniające amortyzację pojazdów i punktów ładowania (obecny wariant = 100%)	100,0	148,9	124,0
Efekt ekologiczny - roczna zmiana emisji szkodliwych substancji do środowiska - w skali regionalnej (obecna obsługa = 100%)			
CO ₂	100,0	40,7	78,1
NO _x	100,0	359,2	16,0
PM	100,0	373,9	10,0
Hałas	100,0	17,2	85,9
Efekt ekologiczny – roczna zmiana emisji szkodliwych substancji do środowiska - w skali lokalnej (obecna obsługa = 100%)			
CO ₂	100,0	0,0	78,1
NO _x	100,0	0,0	16,0
PM	100,0	0,0	10,0
Hałas	100,0	17,2	85,9

Źródło: Opracowanie własne

Wyniki analizy przedstawione w tabeli 2 wskazują, że wprowadzenie w Sopocie elektrobusów do obsługi wewnętrznych linii autobusowych spowoduje 50% wzrost kosztów eksploatacyjnych w stosunku do warunków charakterystycznych dla 2016 r. Alternatywne wprowadzenie na analizowanych liniach nowych autobusów z silnikami Euro 6, spowodowałoby 24% wzrost kosztów. W praktyce wprowadzenie elektrobusów na liniach obecnie obsługiwanych przez autobusy oznaczałoby konieczność zwiększenia dopłaty budżetowej miasta Sopotu o 40%. Wprowadzenie na tych liniach autobusów z silnikami Euro 6 wymagałoby zwiększenia dopłaty miasta Sopotu o 20%.

Analiza efektu ekologicznego wskazuje, że eksploatacja elektrobusów w skali lokalnej przynosi wymierne korzyści wynikające ze zmniejszenia (zgodnie z założeniami do zera) szkodliwych substancji do środowiska. W wariantcie zakładającym obsługę autobusami z silnikami Euro 6 emisja gazów i pyłów zmniejszy się od 22% (CO₂) do 90% (PM).

Wprowadzenie elektrobusów radykalnie zmniejszy hałas o 83%. W sytuacji wprowadzenia nowych autobusów z silnikami Euro 6 redukcja hałasu wyniesie tylko 14%.

Uwzględniając jednak ekologiczny efekt regionalny w powiązaniu ze strukturą produkcji energii elektrycznej w Polsce, wariant wprowadzenia elektrobusów jest korzystniejszy w porównaniu z wprowadzeniem nowych autobusów tylko z punktu widzenia emisji CO₂ (zmniejszenie emisji o 59%) i hałasu o 83%.

Dla omawianych wariantów obliczono także techniczny koszt uzyskania efektu ekologicznego DGC. Dla warunków lokalnych wprowadzenie elektrobusów wskaźnik DGC jest niższy niż autobusów z silnikami Euro 6 w przekroju: CO₂, NO_x i PM odpowiednio: 3-, 1,2- i 1,1-krotnie. Dla warunków regionalnych wskaźnik DGC dla CO₂ jest niższy dla elektrobusów w porównaniu z autobusami Euro 6 2,7-krotnie i w przypadku hałasu prawie 6-krotnie.

Wyniki obliczeń potwierdzają przedstawione w referacie założenia o konieczności jednoczesnej redukcji emisji zanieczyszczeń w procesie wytwarzania energii elektrycznej w Polsce wraz upowszechnianiem napędu elektrycznego w transporcie. Jest to warunek zdyskontowania rezultatów ekologicznych poza miejscem świadczenia usług przewozowych. Przeprowadzone dla Sopotu symulacje wskazują ponadto, że uzyskując średnią emisję zanieczyszczeń przy produkcji energii elektrycznej na poziomie elektrociepłowni gazowych, w sytuacji wprowadzenia elektrobusów, emisja CO₂ będzie 4 razy mniejsza, w porównaniu do sytuacji, w której obsługę realizowałyby autobusy z silnikami Euro 6 (w obecnych warunkach wytwarzania energii elektrycznej ta relacja dla trakcji elektrycznej jest korzystniejsza niespełna 2-krotnie), natomiast PM zmniejszą 2,5-krotnie (w obecnych warunkach emisja pyłów zawieszonych dla trakcji elektrycznej jest wyższa ponad 30-krotnie w przeliczeniu na km). Wpływ na efektywność obsługi Sopotu elektrobusami ma relatywnie mały zakres obsługi komunikacyjnej (zgodnie z modelem przedstawionym na rys. 1, korzyści te wzrastają wraz z zakresem obsługi) i niskie ceny paliwa (2016 r.).

Podsumowanie

Funkcjonowanie autobusów elektrycznych w miastach i aglomeracjach wpisane zostało w politykę zrównoważonej mobilności. O ich efektywności decyduje szereg czynników, które powinny być brane pod uwagę przy podejmowaniu decyzji o wprowadzeniu autobusów elek-

trycznych i zakresie obsługi transportowej. Do najważniejszych należą: zasięg pojazdów, sposób ładowania baterii, wydajność baterii, specyfika trasy (długość, ukształtowanie terenu, warunki ruchu), popyt, zakres wyposażenia pojazdów w odbiorniki elektryczne, stopień dywersyfikacji obsługi wg kryterium napędu.

Uwzględniając uzdrowski charakter Sopotu i jednoznacznie pozytywne lokalne efekty ekologiczne, można stwierdzić, że wprowadzenie elektrobusów do obsługi linii wewnętrznych w Sopocie jest uzasadnione już na obecnym etapie funkcjonowania komunikacji miejskiej w tym mieście. Jednocześnie zakładając, zgodnie z ustaleniami strategicznych dokumentów krajowych i unijnych, zmianę struktury źródeł energii w Polsce w kolejnych latach na bardziej „czystą” ekologicznie, ich wprowadzenie przyniesie także określone korzyści w skali regionalnej i krajowej.

Literatura:

1. Kuźmiński, J. Ekologiczna rewolucja w stołecznych autobusach. „Biuletyn Komunikacji Miejskiej” nr 138. IGKM Warszawa 2015.
2. Maciejczyk A: Autobusy komunikacji miejskiej o napędzie elektrycznym w Polsce. Logistyka 3/2015.
3. Trolejbus czy elektrobus na przykładzie Gdyni. Analiza porównawcza. Gdańsk 2015.
4. Red. Wołek M., Wyszomirski O, Trolleybus as a Mean of Transport in the Light of The Trolley Project. Gdańsk 2013, s. 110-114.
5. <http://www.rynek-energii-elektrycznej.cire.pl/st,33,207,tr,75,0,0,0,0,0,podstawowe-dane.html>.

CONDITIONS FOR THE INTRODUCTION OF ELECTRIC BUSES IN PUBLIC TRANSPORT – SOPOT EXAMPLE

Abstract

Electric vehicles are one of the pillars of the sustainable mobility policy in cities and agglomerations. More than a century of experience in operation of trams, trolleybuses and urban electric railway determined the directions of technological development of the means of transport and the scope of their use. The development of modern technology of charging batteries created new possibilities for the use of electric vehicles (electric bus) in transport services in cities. Ecological aspects, the lack of need for the construction of the overhead line along the routes and greater flexibility of use in comparison with trams and trolleybuses are the most frequently cited determinants of the operating of this new mean of electric vehicles.

Sopot as spa town has a special conditions for use electric vehicles. Trolleybuses in Sopot also create good conditions for the introduction of electric buses. Developing of battery technology, but still without long-term experience shows many conditions and risks for public transport services in cities, especially for the intensive exploitation in a variety of terrain and climate conditions.

The paper presents technical and technological, operational, economic and environmental analysis of introduction electric bus to public transport system in Sopot. It is also an attempt to answer the question about the effective use of existing technical and organizational solutions of the introduction of electric buses in this city.

Key words: electric bus, conditions, public transport