

Rozwój autobusów elektrycznych w oparciu o istniejące sieci tramwajowe

Adam Molecki

W Polsce elektryczny transport miejski sprowadza się głównie do kilkunastu sieci tramwajowych, trzech sieci trolejbusowych i jednej sieci metra. Nie należy oczywiście zapominać o szybkiej kolei miejskiej, jednakże te systemy stanowią odrębne zagadnienia ze względu na specyfikę wykorzystywanej infrastruktury. Sieci tramwajowe, nie licząc wątpliwie uzasadnionej likwidacji tras w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym [2, 5], są rozwijane, modernizowane [6] bądź, jak w przypadku Olsztyna, budowane. Polskie miasta posiadające komunikację trolejbusową również rozbudowują bądź planują rozbudowę swoich sieci. W tym artykule nacisk położono na możliwość wprowadzenia do ruchu autobusów elektrycznych w oparciu o istniejącą infrastrukturę tramwajową.

Słowa kluczowe: transport publiczny, autobusy elektryczne.

Wstęp

W artykule [3] przedstawiono przesłanki, jakie mogą przemawiać za budową nowych tras czy nawet sieci trolejbusowych w Polsce. Inwestycje tego typu są kosztowne, a efekt, jaki przynoszą, jest oczywiście mniej spektakularny niż w przypadku tras tramwajowych. Nie oznacza to jednak, że inwestycje te nie przynoszą widocznych efektów. Mimo iż koszty tworzenia sieci trolejbusowej od podstaw i tak są relatywnie niewysokie, należy poszukiwać możliwości ich obniżenia.

Wsparcie stanowią oczywiście środki unijne, jednakże nie należy zapominać, iż te nie są nieograniczone, a ich źródłem są podatki. Zatem nie należy do nich podchodzić bezkrytycznie, natomiast trzeba w jak największym stopniu dbać o ich racjonalne wydatkowanie. Naprzeciw podejściu kosztowemu wyszły technologie, których gwałtowny rozwój w ostatnim dziesięcioleciu spowodował, iż zasilanie autobusów, trolejbusów czy nawet tramwajów i lokomotyw z zasobników energii elektrycznej stało się uzasadnione. Na chwilę obecną zasięgi autobusów w pełni elektrycznych są jednak relatywnie niewielkie – wynoszą ok. 100 km. W większości przypadków nie pozwala to na całodzienną obsługę bez doładowań, które to doładowania – mimo istotnego postępu – nadal trwają na tyle długo, że eksploatacja poza liniami bądź brygadami szczytowymi staje się niezbyt racjonalna.

Istnieją możliwości doładowywania na przystankach poprzez wykorzystanie, specjalnie wytwarzanych, pól elektromagnetycznych, jednak efektywność tego rozwiązania jest relatywnie niska w porównaniu z bezpośrednim podłączeniem do sieci. Podłączenie do sieci trakcyjnej pozwala na ładowanie zasobników energii w czasie jazdy, co znacznie zwiększa efektywność prowadzenia komunikacji dzięki ograniczeniu koniecznych przestojów na pętlach.

Powiązanie trolejbusu i tramwaju

Obecnie w Polsce nie ma sieci trolejbusowej bezpośrednio powiązanej z siecią tramwajową. Przecinanie się takich sieci nie stanowi, co prawda, wielkiego problemu technicznego, aczkolwiek w pewnym stopniu utrudnia eksploatację. O ile w kilku krajach europejskich można natrafić na przenikające i przecinające się dość gęsto sieci trakcyjne tych dwóch systemów, o tyle – jeśli jest to możliwe – warto unikać takich rozwiązań.

Wychodząc z założenia, iż główne potoki ruchu należy obsłużyć transportem szynowym, zasadność eksploatacji sieci trolejbu-

sowych w miastach z siecią tramwajową jest wątpliwa. Prowadzenie długich odcinków równoległych obu trakcji zwiększa znacznie koszty stałe, zatem korzystniejsze – z ekonomicznego punktu widzenia – było budowanie krótkich odcinków torowisk rozszerzających sieć tramwajową, a przez to jej dociążanie.

Przy takich założeniach pozostaje wciąż nierozwiązany problem komunikacji na terenach o niższej gęstości zaludnienia. W większych miastach dąży się do wyprowadzenia komunikacji autobusowej z centrów miast jako bardziej podatnej na kongestję ruchową oraz zwiększającej hałas i emisję toksycznych substancji. Przemawiają za tym również wspomniane względy dociążania sieci tramwajowych, a przez to obniżania udziału kosztów stałych w prowadzeniu transportu zbiorowego.

W efekcie przyjmuje się rozwiązania przesiadkowe. Za ich stosowaniem przemawia wiele argumentów. Przede wszystkim prowadzenie bezpośrednich połączeń często jest nieefektywne, gdy autobusy nie korzystają z wydzielonych pasów ruchu. Wydzielanie osobnych pasów autobusowych przy wydzielonym torowisku tramwajowym jest również niezasadne. Jeżeli nawet łączy się obydwie formy, tworząc pasy czy jezdnie autobusowo-tramwajowe, pojawia się sprzeczność interesów poszczególnych mieszkańców. Potencjalni pasażerowie z okolic śródmieścia chcą korzystać z pełnej oferty komunikacyjnej, zwiększając popyt na miejsca w przedmiotowych autobusach. W efekcie odcinki, gdzie autobusy te kursują samodzielnie, cechuje relatywnie niewielka frekwencja, a więc nadpodaż. Nie można ograniczyć liczby miejsc w autobusie do faktycznie niezbędnych dla mieszkańców rejonów nieobsługiwanych komunikacją tramwajową, gdyż nie sposób zagwarantować wówczas wszystkim pasażerom miejsca w pojeździe. Takie rozwiązanie cechuje niska efektywność.

Rozwiązanie wykorzystujące przesiadki pozwala na dużo lepsze dopasowanie taboru do potrzeb przewozowych w dzielnicach o mniejszym zaludnieniu. Pozwala przy tym, przy relatywnie niskich kosztach prowadzenia komunikacji, tworzyć korzystną ofertę opartą o wysokie częstotliwości kursowania. Rozwiązanie takie ma jednak bardzo znaczącą wadę (z punktu widzenia mieszkańców terenów, dla których jest przeznaczony): zmusza się pasażerów do przesiadek, niewiele oferując im w zamian. Krótszy czas przejazdu do centrum wiąże się często z kłopotliwą i czasochłonną przesiadką, co grozi niwelowaniem zysku. Jednocześnie w miejscu zamieszkania pasażerów nadal kursują klasyczne autobusy ze wszystkimi tego konsekwencjami.

Wprowadzenie na rynek autobusów elektrycznych zmieniło tę sytuację. Autobusy penetrujące przedmieścia mogą być ciche i mogą nie przyczyniać się do powstawania emisji. Tym samym dzielnice o rzadszej zabudowie mogą oferować komfort zamieszkania wśród zieleni i transport publiczny na wysokim poziomie.

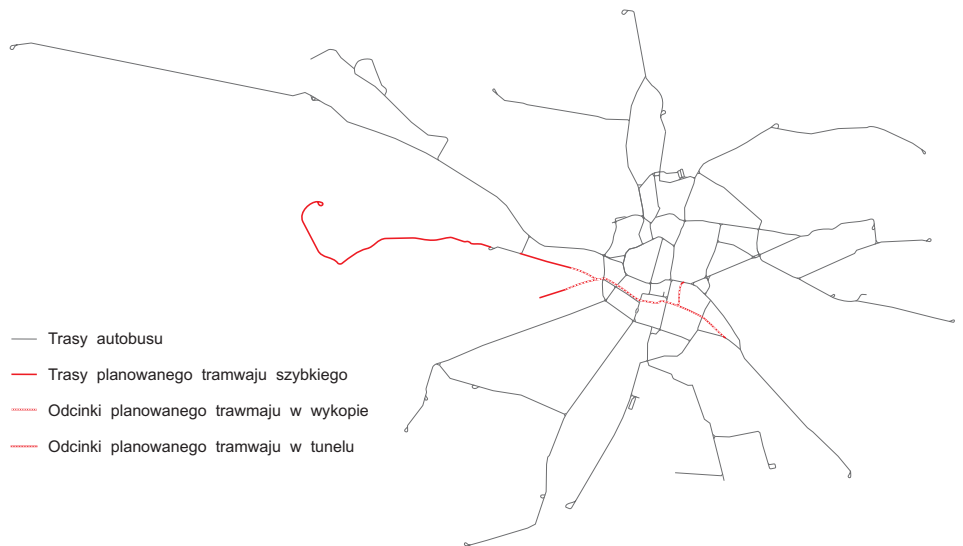
W tym świetle wykorzystanie sieci trolejbusowej do doładowywania zasobników energii autobusów elektrycznych ma dodatkową zaletę ekonomiczną – jest nią możliwość wykorzystania wspólnego układu zasilania z tramwajami, głównie podstacji trakcyjnych.

Praktyczne możliwości zastosowania

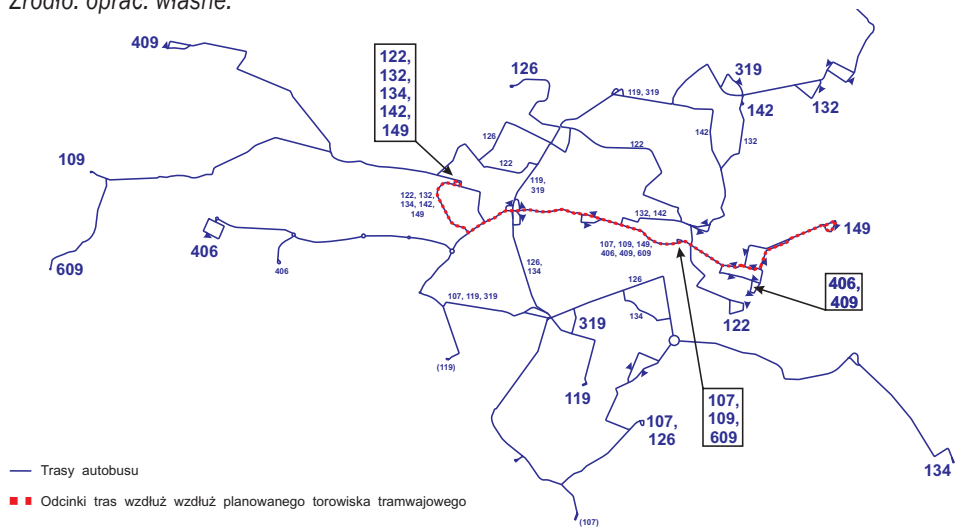
W artykule postanowiono przedstawić możliwość wykorzystania autobusów elektrycznych we Wrocławiu. Za idealny poligon doświadczalny mogą służyć zachodnie dzielnice – głównie Nowy Dwór i tereny położone dalej na zachód i południe od centrum. Od wielu lat planuje się budowę trasy tramwajowej do tej dzielnicy. W ostatnim okresie pojawił się co prawda projekt konkurencyjny, bazujący zasadniczo na idei BRT (wydzielonych jezdni autobusowych), lecz, jak wskazują sondaże, nie znajduje on szerokiego poparcia społecznego. Zgodnie z przykładową koncepcją przedstawioną w artykule [4] trasa tramwajowa mogłaby łączyć się z trasą tramwaju szybkiego, przebiegającego w centrum miasta w głębokim wykopie obecnej fosy miejskiej (rys. 1).

Rozwiązanie takie jest o tyle korzystne, że wszystkie linie komunikacyjne obsługujące przemieszczenia ze śródmieściem wykorzystują jeden korytarz (rys. 2). Zatem przeniesienie potoków pasażerskich na linie tramwajowe nie stanowiłoby problemu. W dość prosty sposób można stworzyć miejsca dogodnych przesiadek do dzielnic położonych dalej od centrum. Właśnie te tereny mogłyby zostać obsłużone autobusami elektrycznymi. Sieć trakcyjna powinna być zainstalowana na odcinkach wykorzystywanych przez wiele linii. Tam zaś, gdzie trasy są rozbieżne, bądź istnieją inne przeszkody w budowie sieci trakcyjnej, autobusy poruszałyby się, wykorzystując energię z zasobników.

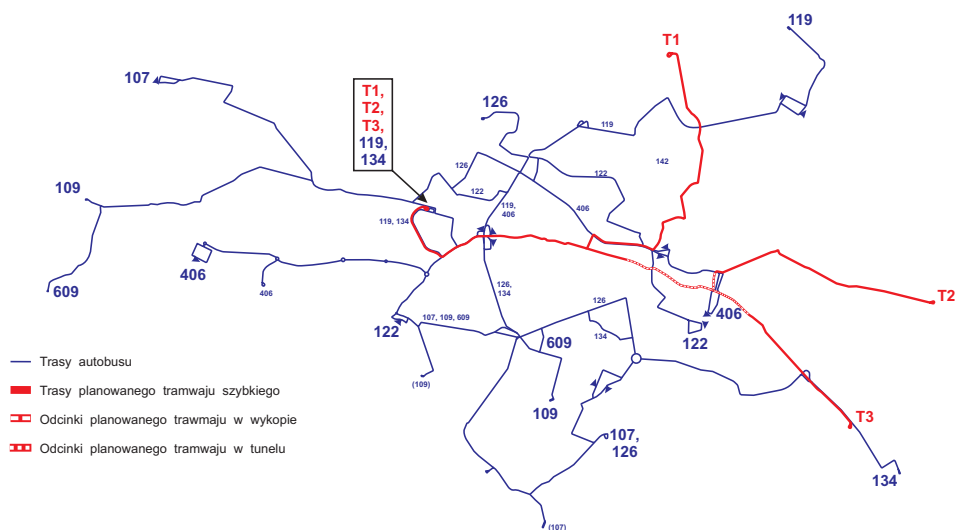
Analizując obecny układ tras, warto zwrócić uwagę na to, iż na głównym korytarzu transportowym łączącym Nowy Dwór z centrum miasta linie komunikacyjne całkowicie się pokrywają. Są to linie 107, 109, 149, 406, 409 i 609. Dodatkowo istnieją 2 linie częściowo wykorzystujące ten korytarz: 132 i 142. Z uwagi na fakt, iż 3 z tych linii (132, 142 i 149) mają przebieg niemal całkowicie pokrywający się z ciągami tramwajowymi, a obecnie kończą swój bieg w miejscu, gdzie kończyłaby się również planowana trasa tramwajowa, przewozy przejęłyby nowo powstałe linie tramwajowe. Pozostałe z wymienionych linii zostałyby wycofane z tego



Rys. 1. Układ tras tramwajowych we Wrocławiu z zaznaczoną koncepcją trasy tramwaju szybkiego do dzielnicy Nowy Dwór
Źródło: oprac. własne.



Rys. 2. Obecny układ linii autobusowych obsługujących dzielnicę Nowy Dwór
Źródło: oprac. własne.



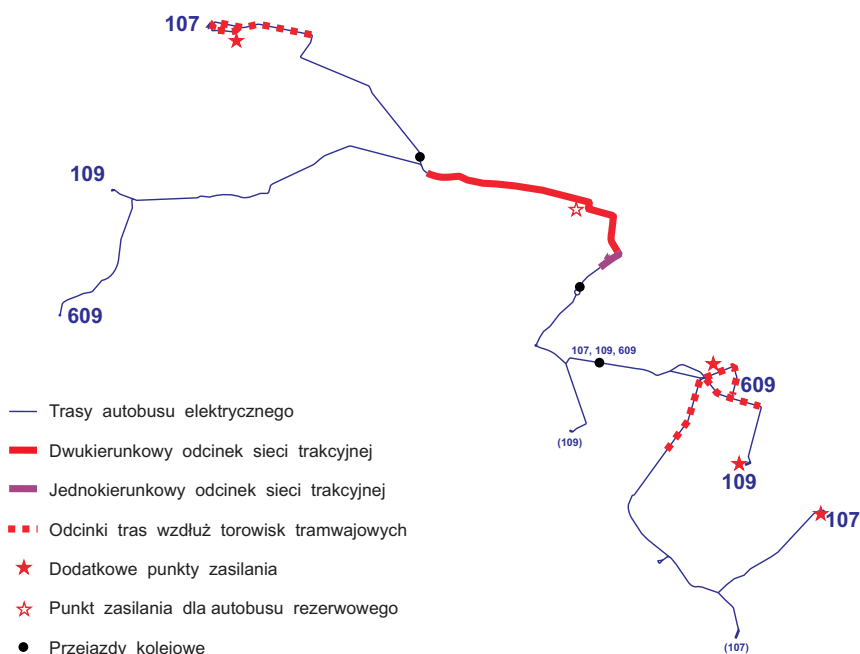
Rys. 3. Układ linii autobusowych i tramwajowych obsługujących dzielnicę Nowy Dwór po ewentualnej realizacji projektu szybkiego tramwaju
Źródło: oprac. własne.

korytarza. Następowaloby to poprzez połączenie ich przebiegów w zachodniej i południowej części miasta. Hipotetyczny układ tras po zmianach uwzględniono na rys. 3.

W sposób wyjątkowy potraktowano linię 406, przekierowując jej bieg na sąsiedni ciąg uliczny. Zmiana ta była podyktowana charakterem trasy. Obsługuje ona port lotniczy i w założeniu powinna stanowić bezpośrednie połączenie lotniska z centrum miasta. Jednakże ograniczono rolę tej linii głównie do obsługi właśnie ruchu lotniskowego.

Trasę linii 107 połączono z trasą przyspieszonej linii 409. Linie 109 i 609 skierowano, zamiast do centrum, wzdłuż trasy linii 119 i skróconego jej wariantu (319), na południe. Sama linia 319 uległaby likwidacji, a jej kursy wpisane zostałyby w rozkład jazdy linii 119. Dzięki temu uzupełniona by była luka na odcinku nieobsługiwanej przez tramwaje na północy miasta, powstała na skutek likwidacji linii 132. Obsługę odcinków na zachód i południe od dzielnicy Nowy Dwór obydwu obecnie działających linii (119 i 319) przejęłyby autobusy elektryczne wspomnianych linii 109 i 609. Tym samym nie byłoby przeszkód, by obsługę pozostałej części przejęła właśnie linia 119 (do pewnego stopnia upraszczając układ komunikacyjny).

Ogółem omawiane zmiany tras nie uderzają w pasażera, gdyż we wspomnianej dzielnicy Nowy Dwór następuje obecnie niemal całkowita wymiana pasażerów. Pozostali klienci odczuli by korzyści, które wynikałyby z dużych częstotliwości kursowania autobusów (założono, że rozkłady jazdy linii 107, 109 oraz 609 zostałyby zsynchronizowane, by uzyskać regularne interwały międzykursowe na wspólnym odcinku). Regularność kursowania podwyższona by była poprzez wycofanie tych linii z korytarza najsilniej podatnych na zakłócenia związane z kongestią ruchową. Ich przebieg przedstawiono dodatkowo na rys. 4. Biorąc pod uwagę fakt, iż planowana trasa tramwajowa byłaby wykonana w standardzie szybkiego tramwaju w przebiegu do śródmieścia oraz w samym śródmieściu, podróż i tak byłaby korzystniejsza od obecnego przejazdu bezpośrednimi autobusami.



Rys. 4. Układ linii autobusu elektrycznego wraz z zaznaczeniem miejsc dostępu do sieci trakcyjnej i punktów ładowania

Źródło: oprac. własne.

Ponadto założono, że linie 126 i 134 nie zmienią swojego przebiegu, gdyż powstanie linii tramwajowej nie będzie miało na nie większego wpływu. Do rozważenia pozostaje nieznaczna korekta przebiegu linii 122, gdyż obecnie objężdża ona dzielnicę dookoła, co ogranicza jej efektywność na końcowym fragmencie trasy.

Jak wspomniano, wszystkie przedstawione zmiany skutkowałyby likwidacją tras autobusowych wzdłuż korytarza tramwajowego. Nie byłaby konieczna (ani pożądana) zatem budowa nawierzchni drogowej dla autobusów na torowisku tramwajowym, co przełożyłoby się na ograniczenie kosztów całej inwestycji.

Jezdnie autobusowo-tramwajowa powstałaby natomiast na odcinku o długości ok. 850 m w miejsce obecnej jezdni autobusowej. Tu na wspólnych przystankach autobusowo-tramwajowych odbywałyby się przesiadki. Takie rozwiązanie zminimalizowałoby uciążliwości związane ze zmianą środka transportu.

Kwestie zasilania

W koncepcji założono wykorzystanie do zasilania typowej trolejbusowej sieci trakcyjnej. Przekraczając przejazdy kolejowe ze skrzyżowaniami sieci trakcyjnych – trolejbusowej i kolejowej – kolejowe pojazdy trakcyjne są zmuszone opuszczać odbieraki prądu. Z tego względu, a także dla maksymalizacji niezawodności, założono, że skoro tylko jest to możliwe, należy unikać skrzyżowania obydwu trakcji. Na trasach przewidzianych do obsługi autobusami elektrycznymi znajdują się 3 zelektryfikowane przejazdy kolejowe, z czego 2 na odcinku wspólnym dla wszystkich przewidzianych linii.

Ze względu na bliskość jednego z tych przejazdów z miejscem krzyżowania linii tramwajowej i autobusu elektrycznego (400 m) w tym miejscu również założono brak trakcji trolejbusowej. Dla podniesienia efektywności rozwiązania założono również, że sieć trakcyjna powinna powstać w pobliżu sieci tramwajowej, tak by – w miarę możliwości – optymalnie wykorzystać infrastrukturę zasilającą.

Uwzględniając te uwarunkowania, uznano, że sieć trakcyjna powinna zostać rozwieszona na odcinkach wspólnych dla wszystkich tras z ograniczeniem do ich odcinków centralnych. Od strony zachodniej sieć trakcyjna zaczynałaby swój bieg nieopodal rozgałęzienia obsługiwanych tras – na najbliższym przystanku. Prowadzona byłaby aż do jezdni autobusowo-tramwajowej w dzielnicy Nowy Dwór. Tu, wykorzystując słupy trakcyjne wraz z odciągami, rozwieszona byłaby sieć trakcyjna dla autobusów w kierunku zachodnim (rys. 4). W kierunku przeciwnym sieć trakcyjna rozpoczynałaby się dalej (dla uniknięcia przecinania z tramwajową). Kolejnym argumentem przemawiającym za brakiem sieci trakcyjnej w omawianym kierunku jest konieczność włączania odbieraków. Jak wskazano na rys. 5, sieć tramwajowa – ze względu na stosowane odbieraki prądu – musi przebiegać nad torem. Z oczywistych względów sieć przeznaczona dla autobusów wykorzystujących ten sam pas ruchu byłaby odsunięta. Zatem automatyczne podnoszenie odbieraków i włączanie się do sieci byłoby problematyczne, a podnoszenie ręczne – zarówno nieefektywne, jak i niebezpieczne dla samych kierowców (wiązałoby się z opuszczaniem pojazdu). Wyznaczenie miejsca włączenia do sieci trakcyjnej na odcinku poprzedzającym jezdnię autobusowo-tramwajową wymagałoby dodatkowego zatrzymania poza przystankiem na kilkadziesiąt sekund. Należy zatem uznać, iż skrócenie przebiegu o niecały kilometr pokonywany w czasie około 1 minuty znajduje uzasadnienie.

Poza odcinkami wyposażonymi w sieć trakcyjną przewidziano dodatkowe miejsca ładowania. Zlokalizowano

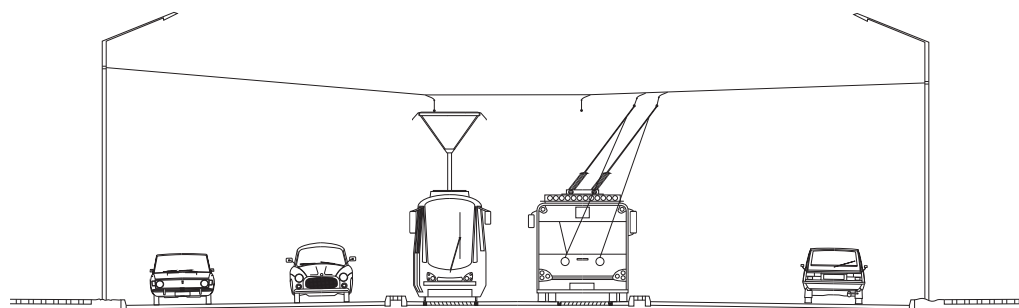
je na końcówkach linii, które znajdują się bądź bezpośrednio przy trasach tramwajowych, bądź w ich pobliżu. Dzięki temu koszty doprowadzenia zasilania można obniżyć, a przy okazji wykorzystać potencjał, jaki daje powiązanie obydwu systemów. Wykorzystując elementy infrastruktury tramwajowej, możliwa jest również niskokosztowa zabudowa sieci trakcyjnej w innych niż podstawowe częściach tras.

Jeden punkt ładowania usytuowano przy pętli autobusowej i tramwajowej w dzielnicy Nowy Dwór. Lokalizacja ta odpowiada mniej więcej centralnym punktom tras. Jest zatem bardzo korzystna dla postępu pojazdu rezerwowego. Pomimo ograniczeń związanych z budową tramwaju pozwoliłaby ona w razie potrzeby wykorzystać ów pojazd również na innych liniach komunikacyjnych.

Podsumowanie analizy możliwości zasilania zamieszczono w tabeli 1.

Podsumowanie

Jak zaznaczono we wstępie, jednym z głównych atutów wykorzystania sieci o charakterze trolejbusowym jest możliwość znacznego zwiększenia zasięgu autobusu elektrycznego. Można się spodziewać, iż w przeciągu kilkunastu lat rozwój technologii spowoduje naturalne zwiększenie tegoż zasięgu, zatem można by było przypuszczać, iż wykorzystanie, podobnie jak budowa sieci trakcyjnej, jest bezzasadne. Należy jednak w tym przypadku wziąć pod uwagę, że doładowywanie z sieci trakcyjnej spowodują możliwość ograniczenia wagi i przestrzeni przeznaczonej na zasobniki energii. Wiąże się to z osiągnięciem większej efektywności ekono-



Rys. 5. Przekrój ul. Strzegomskiej na fragmencie ze wspólną jezdnią autobusu elektrycznego i tramwaju

Źródło: oprac. własne.

micznej całego przedsięwzięcia. Dotyczy to zarówno strat wynikających z przechowywania energii, niższej masy akumulatorów i superkondensatorów [1], jak i kosztów ich wymiany i konserwacji. Obniżeniu uległaby oczywiście również masa samej konstrukcji pojazdu dzięki ograniczeniu przedziału zasobników energii oraz zmniejszeniu obciążenia kratownicy stanowiącej ostoję pojazdu.

Zebrane doświadczenia i zbudowane fragmenty sieci mogą posłużyć jako podstawa do rozwijania systemu w przyszłości, tak by za kilkanaście lat cały transport zbiorowy był w pełni ekologiczny.

Zasilanie z sieci trakcyjnej pozwala na znacznie większy (w porównaniu do akumulatorów) pobór energii. We wrocławskiej sieci komunikacji miejskiej, o której mowa w tym artykule, ma to relatywnie niewielkie znaczenie. Jednakże w miastach, w których występują podjazdy o dużych nachyleniach podłużnych, instalacja sieci trakcyjnej w takich właśnie miejscach może w istotny sposób poprawić nie tylko charakterystykę eksploatacyjną, lecz również przyczynić się do wydłużenia żywotności zasobników energii.

Bibliografia:

1. Bartłomiejczyk M., Połom M., *Perspektywy wykorzystania napełnienia alternatywnego w lubelskiej komunikacji trolejbusowej*, „Technika Transportu Szynowego” 2013, nr 9–10.
2. Halor J., *Problem rachunku ekonomicznego w komunikacji tramwajowej i autobusowej w obszarze KZK GOP*, [w:] *Systemy Transportowe. Teoria i Praktyka*. VI konferencja naukowo-techniczna, 22 września 2009. Materiały konferencyjne, Katowice 2009.
3. Molecki A., *Perspektywy dla komunikacji trolejbusowej*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2011, nr 4.
4. Molecki A., *Szybkie środki transportu miejskiego dla Wrocławia*, „Infrastruktura Transportu” 2013, nr 5.
5. Rechlówcz M., *Wojkowiec Koniec Jazdy. Historia linii tramwajowej nr 25*, Forum Transportu Pasażerskiego, Gliwice 2007.
6. Wojcieszak J., *Rozwój komunikacji tramwajowej w Polsce*, „Technika Transportu Szynowego” 2013, nr 7–8.

Tab. 1. Sieć trakcyjna dla zespołu linii autobusu elektrycznego

Linia nr					
107	109	609			
Kierunek					
Leśnica	Krzyki	Jarnołtów	Blacharska	Samotwór	FAT
Początkowy stacjonarny punkt ładowania					
Nie	Tak	Tak	Nie	Tak	Nie
Łączna długość trasy [km]					
22,4	23,1	17,6	17,6	18,9	17,0
Łączny czas przejazdu [min]					
48	52	51	53	47	36
Przebieg z zasilaniem trakcyjnym (E) / z potencjalnym zasilaniem trakcyjnym (P) / bez trakcji (B)					
7,4 km (B)	2,2 km (P)	1,0 km (B)	5,4 km (B)	2,0 km (P)	7,6 km (B)
1,1 km (P)	3,3 km (B)	1,0 km (P)	4,2 km (E)	5,5 km (B)	4,2 km (E)
5,5 km (B)	4,2 km (E)	6,4 km (B)	6,0 km (B)	3,8 km (E)	5,2 km (B)
3,8 km (E)	4,9 km (B)	3,8 km (E)	1,0 km (P)	7,6 km (B)	
3,3 km (B)	1,1 km (P)	5,4 km (B)	1,0 km (B)		
1,3 km (P)	7,4 km (B)				
Udział trasy wyposażonej w podstawową sieć trakcyjną [%]					
17,0	18,2	21,6	23,9	20,1	24,7
Udział trasy wyposażonej w podstawową i potencjalną sieć trakcyjną [%]					
27,7	32,5	27,3	29,5	30,7	24,7
Najdłuższy odcinek bez sieci trakcyjnej [km]					
7,4		16,8			15,2

Expansion of electric buses basing on existing tram networks

This article presents, basing on Wrocław city, abilities of the introduction the new solution for public transport – electric bus – in the way as effective as possible. There are described methods of supplement the energy in batteries and ultra-capacitors using linear overhead wires and local charging points. To increase the efficiency of the entire project was assumed connection supply components with the tram network. This solution could be the best test for the future expansion plans of ecological public transport to the suburbs.

Keywords: public transport, electric buses.