

Adam Molecki

# Zasilanie liniowe w aspekcie rozwoju branży autobusów elektrycznych

JEL: Q01. DOI: 10.24136/atest.2018.269.

Data zgłoszenia: 01.05.2018. Data akceptacji: 16.07.2018.

*Przez ostatni rok pojawiło się wiele doniesień dotyczących chęci przystąpienia polskich miast do programu elektryfikacji taboru autobusowego. Nadarzyła się ku temu okazja dzięki wprowadzeniu programu rozwoju elektromobilności. Najprostszym i promowanym przez wiele środowisk rozwiązaniem jest wprowadzenie do eksploatacji autobusów elektrycznych z wykorzystaniem zasilania punktowego typu plug-in. W artykule, na przykładzie realnej sieci komunikacyjnej, przedstawiono możliwość zastosowania rozwiązania alternatywnego, w którym wykorzystuje się ładowanie liniowe z wykorzystaniem sieci typu trolejbusowego.*

**Słowa kluczowe:** elektromobilność, trolejbus, ładowanie liniowe.

## Wstęp

Przyjęta w styczniu br. ustawa o rozwoju elektromobilności i paliwach alternatywnych [11] wdraża dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych [4]. Jest także istotnym instrumentem urzeczywistniania celów aktualnej polityki gospodarczej w Polsce [3]. Określa ona m.in. zasady rozwoju i funkcjonowania infrastruktury służącej do wykorzystania paliw alternatywnych w transporcie, w tym wymagania techniczne, jakie ma spełniać ta infrastruktura. W ustawie tej nałożone zostały na gminy liczne obowiązki. Jednym z nich jest wprowadzanie do użytkowania w komunikacji zbiorowej autobusów zeroemisyjnych. Kilka miast w Polsce nie będzie miało z tym problemu, gdyż od dawna dysponują siecią trolejbusową. Przytłaczająca większość miast – przy podejmowaniu decyzji o kierunku modernizacji taboru – będzie zmuszona rozważyć, jaki rodzaj zasilania i trakcji najlepiej rokują w ich przypadku.

Co ważne, o ile ustawa zrównuje trolejbus i autobus elektryczny, o tyle nie odnosi się w żaden sposób do tramwajów. Zatem za relatywnie pokrzywdzone można uznać miasta z rozwiniętą siecią tramwajową, w których autobusami obsługiwane są rozproszone linie o niewielkich częstotliwościach kursowania. W takim przypadku każda inwestycja infrastrukturalna (np. stacje ładowania) cechuje się ograniczoną efektywnością. Należy mieć jedynie nadzieję, że nie przyniesie to skutków przeciwnych do zamierzonych i że z powodu niekorzystnych narzędzi finansowych nie ulegną likwidacji kolejne trasy ani nie zostaną zaniechane plany budowy nowych tras tramwajowych w kraju. Istnieje realne zagrożenie tego typu krokami, jeżeli budżet danego miasta nie będzie pozwalał na równoległe inwestycje.

We wspomnianej ustawie największy nacisk kładzie się na autobusy elektryczne i zasilane z ogniw paliwowych. Jak wspomniano, zamiennie z autobusami elektrycznymi wskazuje się również trolejbusy. Ten środek transportu, mimo szeregu zalet, w Polsce nie cieszy się wielkim poparciem wśród władz miejskich, niezaznajomionych w większości z ich walorami. Przyczyn może być wiele.

W ubiegłych dziesięcioleciach większość sieci trolejbusowych została zlikwidowana z uwagi na trudności związane z pozyskaniem

taboru. Do lat 90. ubiegłego wieku trolejbusy nie były seryjnie produkowane w kraju. Pozyskanie taboru importowanego wiązało się z szeregiem trudności wynikających z zakupów dewizowych (nawet jeśli dotyczyło to pierwszego obszaru płatniczego) i większym nakładem finansowym. Już w latach 80. relatywnie nowoczesne pojazdy produkcji czechosłowackiej w ogóle nie były sprowadzane, a tabor radziecki (ZiU 9B / 682) cechował się przestarzałą konstrukcją i sprawiał wiele trudności eksploatacyjnych. W efekcie utrwaliło się w powszechnej świadomości, iż trolejbus to środek transportu odstający od standardów, jakich należy obecnie wymagać. Co więcej, rzadko wówczas stosowano nowoczesne rozwiązania trakcyjne, jak niezawodne rozjazdy czy łukowe prowadnice odbieraków prądu.

Przeciwnie (bardzo pozytywne) zdanie prezentują mieszkańcy i władze miast, w których sieci trolejbusowe przetrwały transformację ustrojową i przeszły modernizację. Niestety ich doświadczenia nie są powszechnie znane, a koszt zakupu trolejbusu, wciąż znacząco wyższy niż odpowiednika autobusowego, zniechęca inne samorządy do zasięgania szerszej wiedzy w tym temacie.

W tym przypadku wprowadzona ustawa o rozwoju elektromobilności i paliwach alternatywnych może zainicjować pozytywny zwrot. O ile o wiele prostsze wydaje się wprowadzenie do eksploatacji autobusów elektrycznych, ich koszt zakupu, a szczególnie koszt cyklu życia, jest na tyle wysoki, że alternatywa wprowadzenia trolejbusów rysuje się nader obiecująco. Według niektórych szacunków, w zależności od długości trasy między punktami ładowania, koszt baterii może stanowić nawet 30–50% kosztu całego pojazdu, a ich żywotność o połowę krótsza od czasu eksploatacji autobusu (najczęściej producenci taboru deklarują utrzymanie się ich parametrów do 6 lub 7 lat). Co prawda producenci czasem deklarują dłuższą żywotność baterii, ale tym samym przenoszą na siebie ryzyko ich wymiany [7], co musi znaleźć odzwierciedlenie w cenie jednostkowej pojazdu. Postęp w dziedzinie jest szybki i być może niedługo będą dostępne również trwalsze baterie. Niestety nie sposób tego zweryfikować obecnie.

W artykule zaprezentowano, na przykładzie sieci komunikacyjnej Legnicy, jakie czynniki mogą stanowić o długookresowych korzyściach płynących z wdrożenia komunikacji trolejbusowej.

## Trasy predestynowane do budowy sieci trakcyjnej

Podobnie jak w przypadku komunikacji tramwajowej, w przypadku sieci trolejbusowej znaczną część kosztów eksploatacji stanowią koszty stałe. Zatem ważne jest, by odcinki wyposażone w taką sieć charakteryzowało znaczne wykorzystanie. Najkorzystniejszym przypadkiem jest taki, w którym warunek intensywnej eksploatacji uda się uzyskać od początku, niemniej cel ten należy przeciwstawić stopniowemu wprowadzaniu nowego taboru. Skumulowany koszt jednoczesnej budowy sieci trakcyjnej i zakupu wielu jednostek taborowych mógłby być trudny do przyjęcia przez władze samorządowe, a przy tym po upływie resursu mógłby przysporzyć dodatkowych problemów.

Za najbardziej interesujący model kształtowania finansowania można uznać taki, w którym w pierwszym okresie inwestuje się w elektryfikację jednej wybranej trasy autobusowej, która charak-

teryzuje się wysoką intensywnością eksploatacyjną. W tym modelu korzyści wynikają z kilku czynników:

- ♦ od początku istnienia częstotliwość kursowania pojazdów elektrycznych jest dość wysoka, a więc udział kosztów stałych nie stanowi bariery dyskwalifikującej całą inwestycję;
- ♦ duża część mieszkańców może skorzystać na wprowadzeniu elektrycznego środka transportu i poznać jego zalety przytoczone w dalszej części.

Samodzielnie gminy mogą mieć trudności z udźwignięciem sporych nakładów w relatywnie krótkim okresie inwestycji (jednoczesny zakup taboru i budowa infrastruktury zasilającej). Jeżeli jednak powiąże się to ze współfinansowaniem z programu rządowego lub odpowiednich programów wsparcia Unii Europejskiej, realizacja projektu staje się w pełni realna.

Poza powszechnie uznawanymi zaletami, takimi jak eliminacja emisji związków zanieczyszczających powietrze w miejscu prowadzenia komunikacji, drastyczne obniżenie emisji hałasu, warto wspomnieć również o braku podatności na przeciążenia ruchowe (zbliżenie się do maksymalnych napełnień pojazdu). Oczywiście bezsprzecznym pozostaje bezproblemowe pokonywanie wzniesień o dużych pochyleniach. W tym zakresie trolejbusy są bezkonkurencyjne zarówno w odniesieniu do tramwajów (ze względu na ograniczenia układu jezdnego), jak i autobusów z napędem tradycyjnym (ze względu na niewydolność napędu). Autobusom elektrycznym, choć niewątpliwie nie można im odmówić korzystnych współczynników dynamicznych, również na chwilę obecną towarzyszą kontrowersje w zakresie w długotrwałej eksploatacji. Producenci nie prezentują jednoznacznych danych dotyczących trwałości zespołów akumulatorowych w warunkach eksploatacji w terenie znacznie pofalowanym (cykliczny pobór energii o bardzo wysokim natężeniu prądu).

W oparciu o zbudowaną pierwszą trasę wyposażoną w sieć trakcyjną można rozszerzać sieć elektrycznego transportu w dwojaki sposób. Można dobudowywać kolejne odcinki sieci trakcyjnej, lecz również inwestować w tabor trolejbusowy z zabudowanymi zasobnikami energii elektrycznej. Bardzo korzystny jest fakt, iż oba te kierunki rozwoju mogą być stosowane jednocześnie, tudzież się uzupełniać.

Trolejbusy, wyposażone we wspomniane układy, przemierzając odcinki wyposażone w sieć trakcyjną, korzystają z niej, jednocześnie doładowując akumulatory i superkondensatory. Poza tymi odcinkami korzystają ze zgromadzonej energii w sposób identyczny do autobusów elektrycznych. Jako podstawową zaletę tego rozwiązania można podać fakt, iż ładowanie zasobników energii odbywa się na trasie, a więc w czasie jazdy, a nie tylko przy postojach. Nie wymusza się zatem dłuższych postojów wyrównawczych na pętlach końcowych. Tę właśnie cechę podnosi się jako jedną z większych wad autobusów elektrycznych, pociągających za sobą konieczność wprowadzenia do eksploatacji większej liczby jednostek taboru [6].

Włączanie do sieci trakcyjnej na trasie jest bardzo proste i szybkie, mimo że nie wymaga skomplikowanych urządzeń technicznych [1] (fot. 1). Cała operacja może odbywać się swobodnie podczas zwykłego postoju na przystanku. Oczywiście odbywa się to półautomatycznie – bez konieczności opuszczania kabiny przez kierowcę – i z punktu widzenia pasażera jest praktycznie nieodczuwalne w żaden sposób (w tym czasowo). Oczywiście przy zastosowaniu sieci trakcyjnej nie ma sztywnych ograniczeń dotyczących liczby stanowisk i jednocześnie korzystających z sieci jednostek, jak ma to miejsce w przypadku miejsc ładowania autobusów elektrycznych. Nawet największe zakłócenia w realizacji rozkładu jazdy nie wywołają powstania kolejki do stacji ładowania. Przy koszcie budowy samej sieci trakcyjnej jest to mniej istotna cecha.



**Fot. 1.** Umieszczone na sieci trakcyjnej urządzenie wprowadzające palące odbieraki prądu na sieć trakcyjną (Tychy, 2017 r.). Fot. A. Molecki

Ograniczenie długości odcinków jazdy bez dostępu do sieci trakcyjnej umożliwia ograniczenie ciężaru i gabarytów baterii akumulatorowych. W konsekwencji korzystniejszy stosunek masy własnej pojazdu do dopuszczalnej masy całkowitej powoduje mniejszy pobór energii i efektywniejszą pracę. Zatem redukcja pojemności zasobników energii jest nieco wyższa niż wynika to bezpośrednio z udziału odcinków bez dostępu do ładowania.

Rozbudowa sieci trakcyjnej o kolejne odcinki może umożliwić zastępowanie trolejbusów z zasobnikami energii dużych pojemności takimi, które posiadają zasobniki służące jedynie rekuperacji (tj. odzyskowi energii w czasie hamowania) i przejazdom krótkich odcinków w sytuacjach awaryjnych. „Uwolnione” jednostki mogą zaś być wprowadzane na trasy, na których – dzięki rozbudowie – pojawiają się możliwości i zasadność ich stosowania.

### Przykład korzystnych uwarunkowań w Legnicy

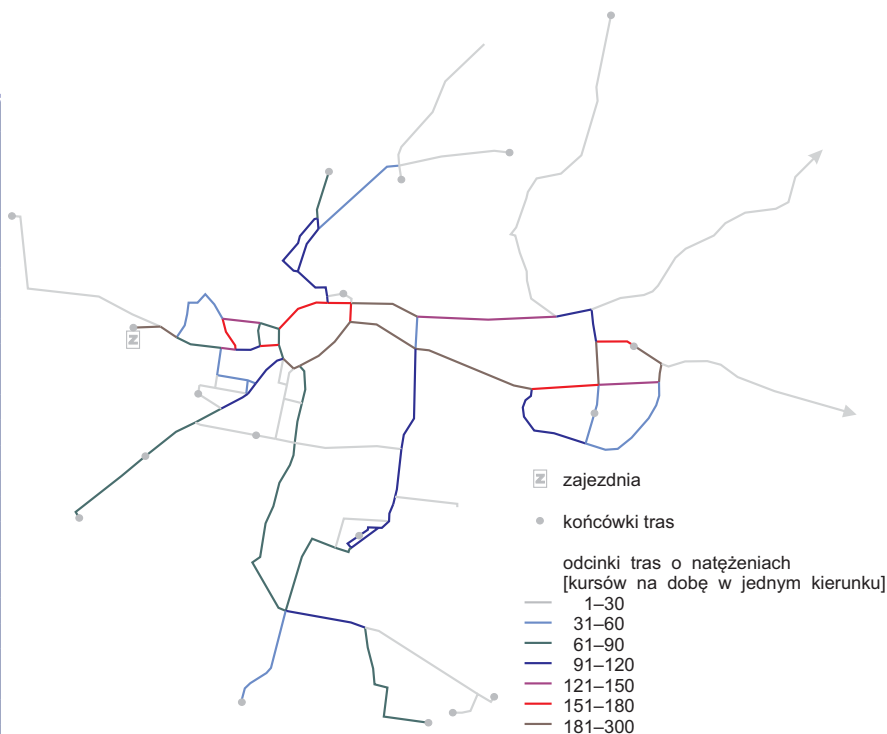
Legnica jest jednym z większych ośrodków miejskich (liczącym około 100 tys. mieszkańców) w województwie dolnośląskim. Charakterystyczną cechą tego miasta jest duża gęstość zaludnienia zurbanizowanej części gminy. Przekłada się to na sieć komunikacyjną, w której na niewielu ciągach komunikacyjnych funkcjonuje wiele linii, w tym linii o relatywnie wysokich częstotliwościach (tab. 1). Stary układ drogowy ścisłego centrum Legnicy nie predestynuje miasta do budowy linii tramwajowej nawet dla najbardziej popularnej relacji. W kluczowych miejscach tramwaje musiałyby funkcjonować w ruchu mieszanym, co zniweczyłoby w znacznej mierze korzyści płynące z wykorzystania tego środka komunikacji na innych odcinkach.

Wprowadzenie trakcji trolejbusowej wydaje się w tym przypadku dużo korzystniejsze. Nie uzyskuje się, co prawda, przeskoku jakościowego, o jakim można myśleć w kontekście tramwaju, nie-

**Tab. 1.** Zestawienie kursowania linii komunikacyjnych w dni robocze

Nr linii	Charakter linii	Trasa zasadnicza	
		Liczba kursów w godzinie szczytu w każdym z kierunków	Liczba kursów w dniu roboczym w każdym z kierunków
1	miejska	1	16
2	miejska	2	34
3	miejska	4	49
4	miejska	2	10
5	miejska	4	62
6	miejska	3	25
8	miejska	4	47
10	podmiejska	1	16
11	miejska	1	8
15	miejska	7	63
16	miejska	-	18
18	miejska	2	31
23	wariant miejski	3	35
	wariant podmiejski	1	12
24	miejska	4	61
26	miejska	1	3
27	podmiejska	1	9
28	miejska	1	3
29	miejska	1	3
N1	nocna	-	7
N2	nocna	-	5

Źródło: oprac. własne na podst. [9].



**Rys. 1.** Schemat sieci komunikacji miejskiej w Legnicy ze wskazaniem natężeń ruchu autobusów

Źródło: oprac. własne.

mniej osiągnięcie wysokich częstotliwości kursowania (rys. 1) jest bez wątpienia korzystne przy rozważaniu wdrożenia rozwiązań trolejbusowych.

Dość naturalny wybór trasy, która mogłaby podlegać elektryfikacji, pada na trasę linii 15, która w godzinach szczytu przewożonego osiąga 6÷7 kursów na godzinę w każdym z kierunków. Jedynie kilka kursów na dobę odbywa się w wariantie skróconym. Dodatkowo poza godzinami szczytu komunikacyjnego funkcjonuje uzupełniająca linia 16, która w 92% pokrywa się z linią 15, a odrębną trasę ma jedynie na około 1 100 m pętli ulicznej. Ponadto 4,3 km omawianej trasy wykorzystuje również linia 6. Na obydwu jej końcach odcinki ok. 1 100–1 200 m pozostają poza wspólnym korytarzem, niemniej ta długość nie wyklucza włączenia obsługi trolejbusami od początku wdrożenia. Należy przy tym brać pod uwagę, iż 2 relatywnie krótkie odcinki pozbawione zasilania są o wiele mniej wymagające od 1 dłuższego [2].

W efekcie wysoka częstotliwość kursowania jest utrzymywana przez cały dzień niemal na całej trasie. Niezbyt duża odległość trasy od eksploatowanej zajezdni autobusowej pozwala na rozważenie dojazdu do trasy bez sieci trakcyjnej. Oczywiście nawet w takim przypadku na terenie samej zajezdni powinien znajdować się „tor” ładowania akumulatorów trolejbusu. Już na tym etapie inwestycji można zakładać wiele form jej rozłożenia w czasie.

Założono wstępnie, że w przypadku trolejbusów wielkość i masa własnych zasobników energii elektrycznej (udział w dopuszczalnej masie całkowitej) powinny pozwalać na przejazd 3 km bez sieci trakcyjnej, stanowiącej do 20% trasy. Oczywiście rozwiązania techniczne nie stawiają takich ograniczeń, lecz przytoczone założenie określa punkt wyjścia do dalszych analiz. Dla uruchomienia komunikacji trolejbusowej na wskazanych liniach wystarczyłaby instalacja sieci trakcyjnej na wspólnym odcinku linii 15 i 16 oraz nad stanowiskiem przystankowym na jednej z pętli (rys. 2a). Takie rozwiązanie byłoby jednak zbliżone funkcjonalnie do wykorzystywanego w autobusach elektrycznych zasilania typu *plug-in*. Co więcej, rozwiązanie takie

wymagałoby użycia tzw. szybkiego ładowania, co w dużej mierze ogranicza żywotność akumulatorów.

Lepszym rozwiązaniem – ze względu na efektywność ruchową i perspektywę wolniejszego zużycia zasobników energii elektrycznej – wydaje się wybudowanie sieci trakcyjnej na dłuższym odcinku trasy (7,9 km – rys. 2b). Wówczas zasilanie liniowe w całości pokryłoby istniejące potrzeby na tej trasie.

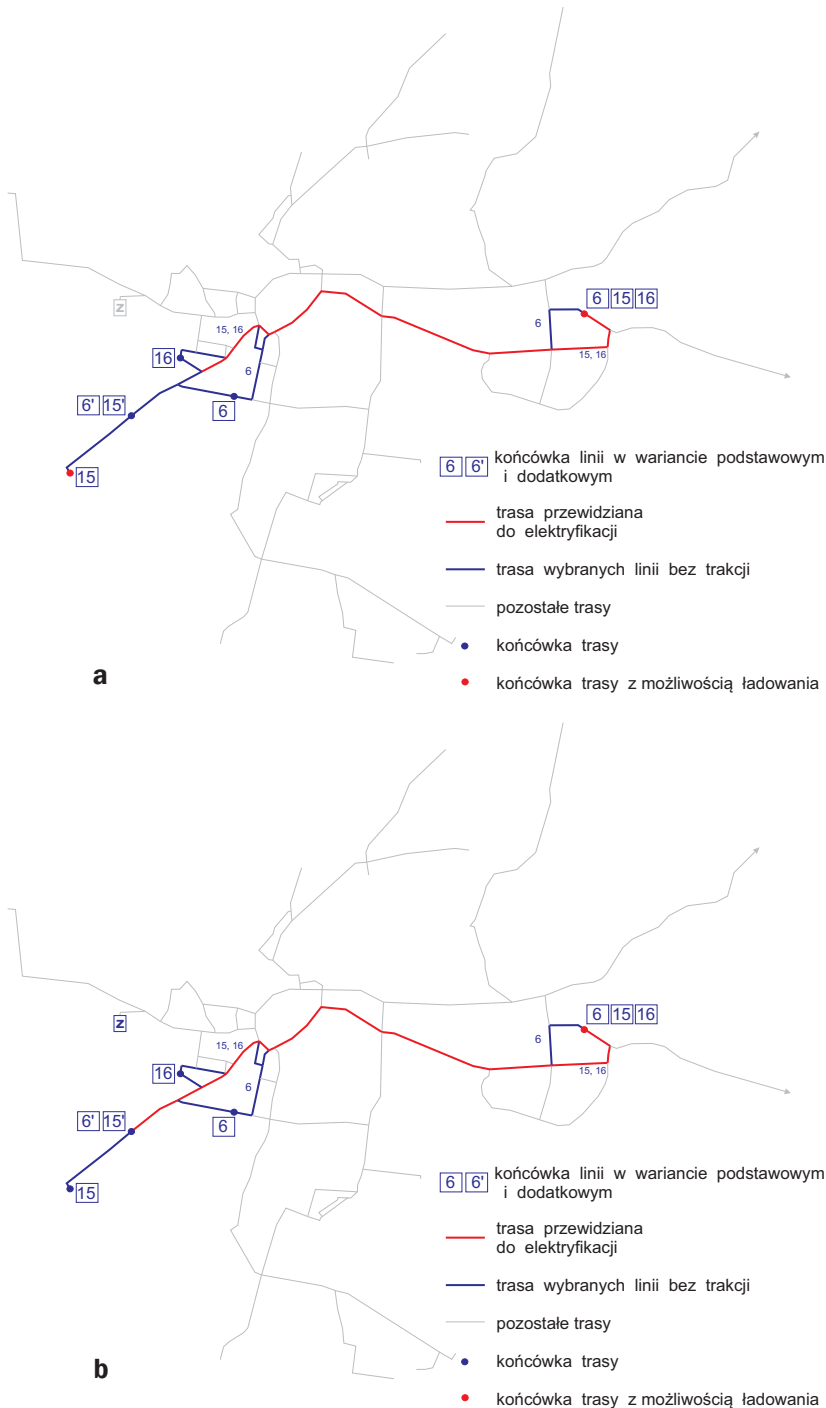
Naturalnie kolejnym etapem wydaje się elektryfikacja całej trasy linii 15. W celu rozszerzenia zasięgu tras zelektryfikowanych można by włączyć do obsługi trolejbusami kolejne linie w analogiczny sposób. Postępując konsekwentnie, w kolejnych iteracjach procesu (patrz tab. 2) możliwe byłoby przeniesienie większości pracy eksploatacyjnej na pojazdy elektryczne. Docelowy układ tras zelektryfikowanych przedstawiono na rys. 3. Elektryfikacja w przedstawionym kształcie sprawiłaby, że na głównych ciągach komunikacyjnych, gdzie natężenia kursowania sięgają nawet ponad 270 kursów na dobę w każdym z kierunków, około 95% pracy eksploatacyjnej odbywałaby się trolejbusami. Oczywiście udział autobusów zeroemisyjnych w takim przypadku przekraczałby kilkukrotnie wymogi nałożone przez ustawę.

**Tab. 2.** Potencjalne etapowanie elektryfikacji sieci komunikacyjnej

Etap	Linie w pełni zelektryfikowane (na trasie zasadniczej)	Linie włączone do obsługi elektrycznymi pojazdami
I	–	6, 15, 16
II	15	6, 16
III	3, 15	6, 16, 18
IV	3, 8, 15	2, 4, 6, 16, 18
V	2, 3, 8, 15	4, 6, 16, 18, 24
VI	2, 3, 8, 15, 24	4, 6, 16, 18, N1
VII	2, 3, 5, 8, 15, 18, 24	4, 6, 16, 23*, 26, 28, N1, N2
VIII	2, 3, 4, 5, 8, 15, 18, 23*, 24	1, 6, 11, 16, 26, 28, N1, N2

\*kursy wariantu miejskiego

Źródło: oprac. własne.



**Rys. 2.** Schemat sieci komunikacyjnej Legnicy z wyróżnieniem tras linii 6, 15 i 16 oraz proponowanym zakresem elektryfikacji w pierwszym etapie w 2 wariantach  
Źródło: oprac. własne.

Po realizacji zadania w przedstawionym wymiarze nawet 2 z linii o niewielkiej częstotliwości kursowania (3 kursy na dobę) mogłyby być obsługiwane taborom elektrycznym, gdyż ich trasy niemal w całości pokrywają się z przedstawionym zasięgiem sieci trakcyjnej. W takim przypadku włączenie ich do obsługi trolejbusami powinno zależeć ściśle od chwilowych możliwości taborowych. Jeśli we właściwych godzinach przedsiębiorstwo dysponowałoby rezerwą taboru elektrycznego, powinna ona służyć obsłudze tych linii. Jednakże inwestowanie w dedykowane jednostki nie byłoby korzystne.

Biorąc pod uwagę fakt, iż w wielu systemach autobusy elektryczne i elektryczne hybrydowe zasilane są z układów ładowania o na-

pięciu 600 V, nie należy wykluczać, iż docelowo nawet linie podmiejskie, na których budowa sieci trakcyjnej nie miałyby uzasadnienia ekonomicznego, mogłyby być obsługiwane autobusami elektrycznymi. Wspólny układ podstacji trakcyjnych z istniejącą już wówczas infrastrukturą trolejbusową stałyby się w tym przypadku istotnym czynnikiem obniżającym koszty, niemniej takie rozwiązanie wymagałoby głębokiej analizy zasadności. Obecnie na zbliżone rozwiązanie zdecydowano się w Lublinie [8].

Przedstawiona powyżej analiza ma charakter wstępny i ma na celu określenie możliwości, jakie zyskuje się dzięki obecnej technice. Dotyczy to zarówno zakresu budowy pojazdów komunikacji miejskiej, jak i zasobników energii w kontekście modelu zasilania. Prezentowany opis nie stanowi zaś części studium wykonalności, stąd nie przytoczono tu wyników analiz ekonomiczno-finansowych prezentowanego przedsięwzięcia.

## Podsumowanie

Spoglądając na zainteresowanie samorządów programem rozwoju elektromobilności, można przypuszczać, że jego realizacja stanie się jednym z istotniejszych momentów w historii komunikacji miejskiej w Polsce. Można zaryzykować stwierdzenie, iż wiele przedsiębiorstw komunikacyjnych czekało kilka dziesięcioleci na pojawienie się odpowiednich możliwości technicznych i wsparcia rządowego.

Większość miast z pewnością skłoni się ku zakupowi taboru autobusowego zasilanego energią elektryczną. Trend ten niewątpliwie przyniesie wiele korzyści mieszkańcom. Niemniej rozważając różne możliwości działań proekologicznych, w każdym przypadku warto wziąć pod uwagę, czy miejscowa sieć komunikacyjna nie jest predestynowana właśnie do zasilania liniowego. Z pewnością nie w każdym mieście byłoby to korzystnym rozwiązaniem. Jednakże tam, gdzie trzon sieci stanowią relatywnie długie korytarze o dużym natężeniu ruchu, zasilanie typu trolejbusowego może w dłuższej perspektywie przynieść o wiele więcej korzyści. Należą do nich m.in. ograniczenie ilości odpadów niebezpiecznych i ich utylizacji. Ogólne podsumowanie wad i zalet systemów ładowania punktowego i liniowego zawarto w tab. 3.

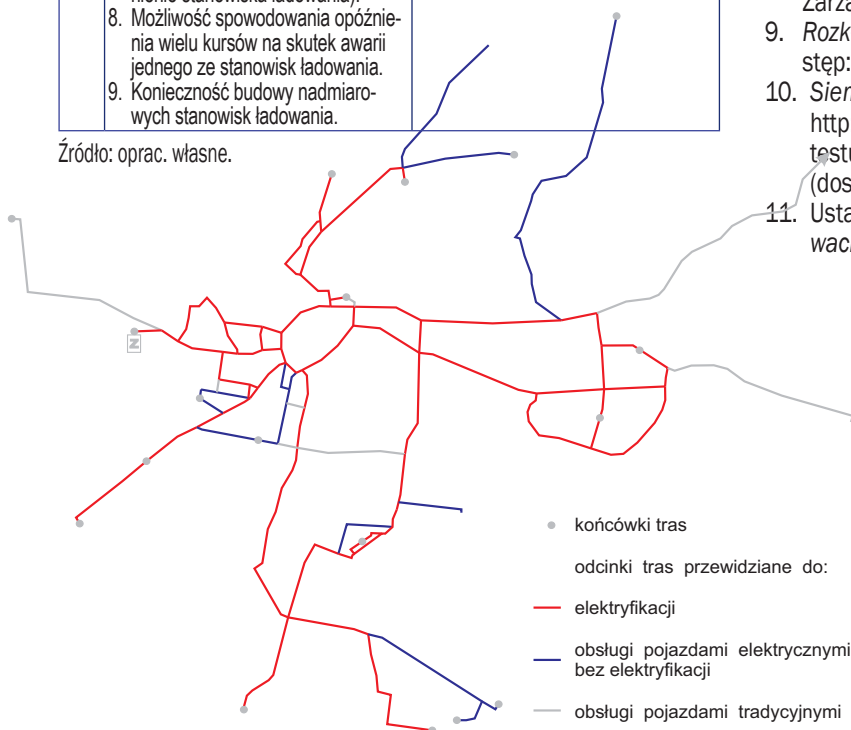
Warto w tym miejscu wspomnieć, iż mimo notowanego dynamicznego rozwoju pojazdów zasilanych elektrycznie z akumulatorów, obecnie równolegle w różnych częściach globu testuje się tzw. autostrady elektryczne, czyli właśnie zasilanie liniowe dedykowane – co interesujące – drogowemu transportowi towarów [5, 10]. Obrazuje to dobitnie, iż nie istnieją rozwiązania „jedynie słuszne”.

Oczywiście istnieją również inne formy zasilania i ładowania, jak np. ładowanie indukcyjne w czasie jazdy. Jedyne, co jest pewne w ich przypadku, to fakt, iż infrastruktura im służąca jest wielokrotnie droższa. Trudno przesądzać na obecnym etapie o efektywności tego typu ładowania, lecz niewielkie jest prawdopodobieństwo, iż kiedykolwiek zostanie ona zbliżona do efektywności zasilania stykowego. Pojawiają się również innowacyjne rozwiązania w postaci zasilania „pojazdów autobusowych” ze specjalnych szyn prowadzących, niemniej rozwiązania te nie są jeszcze na tyle spopularyzowane, by koszt zakupu pojazdu był atrakcyjny. W konsekwencji realne jest zagrożenie, iż wdrożenie tego typu środka transportu skończyłoby się wraz z koniecznością wymiany wyeksploatowanego taboru.

**Tab. 3. Zestawienie cech ładowania liniowego i punktowego**

	Ładowanie punktowe z ładowarek	Ładowanie liniowe z wykorzystaniem sieci trolejbusowej
Zalety	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Niski koszt i krótszy okres inwestycyjny.</li> <li>2. Pełna niezależność od sieci trakcyjnej i swoboda prowadzenia objazdów.</li> <li>3. Większa swoboda rozwoju sieci komunikacyjnej w oparciu o pojazdy elektryczne.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mniejsza wymagana pojemność baterii.</li> <li>2. Niższy koszt pojazdu wynikający z ograniczenia pojemności baterii.</li> <li>3. Mniejsza waga i mniejsze gabaryty baterii.</li> <li>4. Mniejsze zużycie energii podczas jazdy, wynikające z ograniczenia wagi baterii.</li> <li>5. Wolniejsze zużywanie baterii i dłuższa jej żywotność.</li> <li>6. Brak ograniczeń liczby jednostek taborowych ładowanych równolegle.</li> <li>7. Na odcinkach objętych siecią brak wpływu kongestii ruchowej na zasięg pojazdu.</li> <li>8. Mniejsze straty energii przy rozładowywaniu i ładowaniu zasobników energii.</li> </ol>
Wady	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wysoki koszt cyklu życia (LCC) pojazdu.</li> <li>2. Bardzo wysoka tara pojazdu.</li> <li>3. Krótka żywotność baterii akumulatorowych (znacznie krótsza niż pojazdu), wynikająca z wykorzystania tzw. szybkiego ładowania.</li> <li>4. Ograniczenie zasięgu pojazdu wraz z postępującym zużyciem baterii akumulatorowych.</li> <li>5. Problematyka utylizacji bardzo dużej ilości baterii akumulatorowych.</li> <li>6. Wydłużenie postojów wyrównawczych na potrzeby ładowania.</li> <li>7. Potencjalna konieczność oczekiwania na możliwość ładowania (zwolnienie stanowiska ładowania).</li> <li>8. Możliwość spowodowania opóźnienia wielu kursów na skutek awarii jednego ze stanowisk ładowania.</li> <li>9. Konieczność budowy nadmiarowych stanowisk ładowania.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Konieczność budowy sieci trakcyjnej.</li> <li>2. Szpecenie krajobrazu siecią trakcyjną.</li> <li>3. Podatność na szczególnie gwałtowne zjawiska atmosferyczne (huragany, wiatr).</li> <li>4. Różnice napięć zasilania wzdłuż odcinka, wynikające z oddalenia od podstacji trakcyjnej.</li> <li>5. Wysoki koszt jednostkowy utrzymania sieci trakcyjnej przy niewielkich natężeniach ruchu trolejbusów.</li> </ol>

Źródło: oprac. własne.



**Rys. 3. Schemat sieci komunikacyjnej Legnicy z wyróżnieniem tras całkowicie zelektryfikowanych, przewidzianych do obsługi taboru elektrycznego i pozostających poza obsługą taboru elektrycznego**

Źródło: oprac. własne.

Choć obydwa sposoby zasilania mają charakter liniowy, w perspektywie kilku lat, jakie narzuca Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych, realnie rozważać można jedynie sieć trolejbusową.

### Bibliografia:

1. Bartłomiejczyk M., Połom M., *Uwagi na marginesie artykułu Adama Moleckiego Rozwój autobusów elektrycznych w oparciu o istniejące sieci tramwajowe*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2015, nr 1–2.
2. Bartłomiejczyk M., *Trolejbusy z baterijnym źródłem zasilania trakcyjnego prekursorem dynamicznego ładowania pojazdów elektrycznych*, „Wiadomości Elektrotechniczne” 2018, nr 3.
3. Dyr T., Abramowicz A., *Projekt eBus jako instrument rozwoju transportu publicznego*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 7–8.
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych: Dz. Urz. WE L 307 z 28.10.2014 r., s. 1.
5. *Elektryczna autostrada*: <http://www.rynekelektryczny.pl/2017/08/28/elektryczna-autostrada/> (dostęp: 28.04.2018 r.).
6. Jak Kraków rozwija swoją flotę autobusów elektrycznych: <http://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/jak-krakow-rozwija-swoja-flote-autobusow-elektrycznych-58387.html> (dostęp: 28.04.2018 r.).
7. Molecki A., *Prezentacja rozwiązań z zakresu elektromobilności w fabryce Volvo*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2017, nr 10.
8. Przetarg nieograniczony na dostawę pod nazwą Zakup i dostawa autobusów elektrycznych wraz z infrastrukturą do ładowania wolnego na zajezdni oraz ładowania szybkiego na przystankach końcowych – Ogłoszenie o zamówieniu 2018/S 080-178496, Zarząd Transportu Miejskiego w Lublinie.
9. *Rozkłady jazdy MPK Legnica*: <http://www.mpk.legnica.pl/#> (dostęp: 28.04.2018 r.).
10. *Siemens testuje elektryczną autostradę. Tym razem w USA*: <http://www.rynekinfrastruktury.pl/wiadomosci/drogi/siemens-testuje-elektryczna-autostrade-tym-razem-w-usa-60839.html> (dostęp: 28.04.2018 r.).
11. Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych: Dz. U. 2018, poz. 317.

### Linear power supply in the aspect of the development of the electric bus industry

There were a lot of information about polish cities interested in electrification of bus units, last year. The opportunity to do so was the introduction of the electromobility development program. The simplest solution promoted by many environments is the introduction of electric buses of „plug-in” type into operation using point charging. The article, based on the example of a real urban transport network, presents the possibilities of an alternative solution – linear (in motion) charging using a trolleybus-type overhead lines.

**Keywords:** electromobility, trolleybus, in motion charging.

### Autor:

dr **Adam Molecki** – Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium”