



Trolejbus Škoda 30Tr SOR zjeżdża z góry od przystanku Kelerka w kierunku przystanku Kundratka podczasjazd testowych na linii 58, 26 maja 2018 r.
Fot. M. Bartłomiejczyk

Mikołaj Bartłomiejczyk, Marcin Połom

Droga do rozwoju elektromobilności w czeskiej Pradze: od autobusów elektrycznych do... trolejbusów?

JEL: O18, O33, R41, R42. DOI: 10.24136/atest.2019.119.
Data zgłoszenia: 4.12.2018. Data akceptacji: 27.06.2019.

W artykule podjęto próbę przedstawienia rozwiązania pośredniego pomiędzy klasycznymi autobusami elektrycznymi i trolejbusami – pojazdów z dynamicznym systemem ładowania – w ruchu (In Motion Charging – IMC). Jest to system, który wiąże się z budową napowietrznej sieci trakcyjnej „typu trolejbusowego” na wybranym fragmencie trasy. Infrastruktura trakcyjna pokrywa wówczas ok. 30–40% długości trasy, co pozwala na doładowanie w ruchu baterii trakcyjnych zamontowanych w pojazdach. Takie rozwiązanie umożliwi ograniczenie pojemności, a więc także masy własnej baterii o ponad 60%. Testowane w Pradze rozwiązanie jest szczególnie wartościowe dla miast o zróżnicowanej topografii i dużych deniwelacjach terenu, gdzie klasyczne autobusy elektryczne nie spełniają oczekiwań. Ponadto system IMC jest atrakcyjny dla większości ośrodków miejskich, ze względu na powszechnie występującą kongestję ruchu. Hybrydowy system IMC pozwala na wyeliminowanie najsłabszych cech trolejbusów, czyniąc rozwiązanie także efektywnym ekonomicznie.

Słowa kluczowe: elektromobilność, autobus elektryczny, elektrobus, trolejbus, Praga.

Wstęp

Sektor transportu, w tym transport pasażerski z komunikacją miejską włącznie, jest jednym z głównych obszarów emisji zanieczyszczeń do środowiska. Generuje on wysokie koszty zewnętrzne [5]. Z tego powodu Unia Europejska od pierwszej dekady XXI w. poważnie zmieniła cele polityki klimatycznej, ukierunkowując rozwój transportu na nisko- i zeroemisyjne technologie. Jednym z fundamentów rozwoju całego sektora transportowego ma być elektromobilność. Transport zelektryfikowany dzięki swym zaletom ekologicznym i eksploatacyjnym spełnia wiele postulatów nowoczesnej komunikacji i wpisuje się w różne koncepcje, np. „smart city” – tzw. inteligentnego miasta, które efektywnie gospodaruje swoimi zasobami w oparciu o ideę zrównoważonego rozwoju [6, 10].

Rozwój elektromobilności jest jednym z priorytetów obecnej polityki gospodarczej w Polsce. Istotnym jego instrumentem jest ogłoszony w 2016 r. Plan rozwoju elektromobilności [8]. Zakłada on stworzenie warunków do rozwoju produkcji oraz upowszechnienia pojazdów o napędzie elektrycznym. Wsparcie, w tym finansowe, kierowane będzie m.in. na rozwój autobusów elektrycznych. Ich szerokie zastosowanie w komunikacji miejskiej polskich

miast przyczyni się do poprawy jakości życia dzięki zmniejszeniu zanieczyszczenia powietrza i hałasu. Będzie także ważnym czynnikiem rozwoju w Polsce nowego rynku o długofalowym potencjale wzrostu, zbudowanego na długoletnich tradycjach produkcji autobusów i wykorzystującego innowacyjne technologie [4]. W Polsce skonstruowany i wyprodukowany został autobus, który jako pierwszy pojazd z napędem elektrycznym uzyskał tytuł „Bus of the Year” [9].

Miejski transport elektryczny odgrywa jedną z wiodących ról w kreowaniu komunikacyjnych zachowań proekologicznych wśród mieszkańców. Ograniczenia finansowe budżetów miast nie pozwalają jednak często na szeroko zakrojone inwestycje w tego typu środki transportu ze względu na kosztocioną infrastrukturę towarzyszącą (w szczególności sieć trakcyjną i układ zasilania). W związku z tym jednym z filarów rozwoju miejskiego transportu elektrycznego miałyby się stać autobusy elektryczne (tzw. elektrobusy). Kraje członkowskie Unii Europejskiej zostały zobowiązane do wdrożenia zapisów nowej wspólnotowej polityki klimatycznej, a drogą do realizacji jej celów ma być m.in. przekierowanie rozwoju transportu miejskiego na środki elektryczne (tramwaje, trolejbusy, metro i autobusy elektryczne). Wydaje się, że najłatwiejszym z nich do implementacji jest system oparty na autobusach elektrycznych. Dotychczas jednak stosunkowo niewielkie doświadczenia w eksploatacji takich pojazdów, a przede wszystkim brak pewności co do żywotności źródła zasilania (baterii trakcyjnych), czyni to rozwiązanie ryzykownym, np. w stosunku do sprawdzonych w eksploatacji trolejbusów, w tym z bateriami pomocniczymi.

W artykule przedstawiono rozwiązanie pośrednie pomiędzy klasycznym trolejbusem a autobusem elektrycznym; głównym celem rozwiązania jest wyeliminowanie najsłabszych cech obu typów pojazdów. Autobusy elektryczne (trolejbusy) eksploatowane w systemie In Motion Charging (IMC) pozwalają na ograniczenie kosztów inwestycji infrastrukturalnych, a jednocześnie umożliwiają montowanie baterii o mniejszej pojemności, a co za tym idzie – masie własnej, czyniąc całą inwestycję bardziej efektywną ekonomicznie [1, 2, 3, 7].

Projekt autobusów (trolejbusów) IMC testowany jest od końca 2017 r. w czeskiej Pradze i jego dotychczasowe efekty pozwalają oceniać to rozwiązanie jako bardzo korzystne.

1. Dotychczasowe doświadczenia z eksploatacją elektrobusów w Pradze

Pierwsze doświadczenia z autobusami elektrycznymi w Pradze wiążą się z uruchomieniem linii 292, łączącej szpital Pod Petřínem i ulicę Malostranské náměstí, co nastąpiło 13 stycznia 2010 r. (obecnie funkcjonuje tam linia 192). O obsługę tej linii walczyła Veolia Transport (obecnie Arriva), która zaferowała obsługę autobusami gazowymi. Konkurentem był miejski przewoźnik DP Praha (Dopravní podnik hlavního města Prahy, główny operator komunikacji miejskiej w Pradze), który nieoczekiwanie zaferował autobusy elektryczne. Wśród premiowanych w przetargu kryteriów była niskoemisyjność zaferowanych pojazdów. Operator DP Praha kupił łącznie 2 pojazdy od włoskiego Breda Menarinibus. Były to pojazdy typu ZEUS M200E, których przydatność w warunkach Pragi od początku wzbudzała nieufność. Doświadczenia eksploatacyjne w pełni potwierdziły obawy i już w listopadzie 2011 r. zostały one wycofane z eksploatacji, głównie z powodu problemów z układem kierowniczym i hamulcowym. W 2012 r. pojazdy zostały odsprzedane producentowi za 50% ceny początkowej.

Niewiele lepiej zakończyła się kolejna próba z autobusami elektrycznymi, tym razem w postaci autobusów hybrydowych. Od producenta SOR Libchavy zakontraktowano zakup 20 takich pojazdów, jednak ostatecznie odebrano zaledwie 2. Oznaczono je jako SOR NBH 18 i wprowadzono do eksploatacji w styczniu 2011 r. Autobusy wykazały szereg wad w eksploatacji, zwłaszcza w samym napędzie hybrydowym. Również zużycie paliwa i korzyści ekonomiczne odbiegały od oczekiwań. Pod koniec 2015 r. oba autobusy wycofano z eksploatacji, a z producentem SOR Libchavy uzgodniono ich przebudowę na klasyczne autobusy z silnikami diesla z emisją spalin na poziomie Euro 5, które nadal są eksploatowane z numerami taborowymi 6996 (ex-6401) i 6727 (ex-6402).

Po raz kolejny zwrócono uwagę na pojazdy niskoemisyjne w styczniu 2014 r., gdy rozpoczęto testy elektrobusu Rampini. Dla jego ładowania zastosowano system ładowania charakterystyczny dla elektrobusów eksploatowanych w austriackim Wiedniu, stąd przyjęto jego nazwę jako „wiedeński”. Funkcjonowanie takiego systemu polega na zawieszeniu przęśla trolejbusowej sieci trakcyjnej nad stanowiskiem ładowania, a na autobusie elektrycznym dwubiegunowego odbieraka, zbliżonego konstrukcyjnie do tramwajowego. Testowane rozwiązanie wskazało potencjalną synergię tramwajowego układu zasilania i systemu autobusów elektrycznych. W lutym 2014 r. Praga przetestowała także prototyp elektrobusu SOR EBN 8. Był to autobus elektryczny przystosowany do wolnego, nocnego ładowania z ogrzewaniem wnętrza za pomocą oleju napędowego/opałowego. Dalsze inicjatywy przewoźnika DP Praha skoncentrowane były na pozyskaniu elektrobusu ładowanego systemem „wiedeńskim”. Wiosną 2015 r. powstał prototyp oparty na modelu SOR EBN 11 z aparaturą elektryczną Cegelec. W czerwcu 2015 r. rozpoczęto jego testy, a następnie 1 września 2015 r. wprowadzono go do regularnej eksploatacji z pasażerami. W dni robocze obsługiwał on linię 213, natomiast w weekendy 188, 163a i częściowo także 124. Testowa eksploatacja, w której łącznie wykonano 144 tys. km, została zakończona 31 sierpnia 2017 r. Uzyskane doświadczenia były w przeważającym stopniu pozytywne, jednak pojawiły się także pewne ograniczenia technologiczne. W przypadku przyjazdu z dużym opóźnieniem do pętli Želivského skrócony czas postoju okazywał się niewystarczający i konieczne było zastąpienie elektrobusu pojazdem rezerwowym. Kwestią dyskusyjną był także stopień zużycia baterii po zakończeniu testów. Producent pojazdu oficjalnie nie wypowiedział się w tym zakresie, jednak z nieoficjalnych źródeł wiadomo, że po przejechaniu dalszych 80 tys. km konieczna byłaby wymiana baterii trakcyjnych. Oznaczałoby to koszt amortyzacji z tytułu zużycia baterii w wysokości 8,30 Kč/km, co odpowiada ok. 1,32 PLN/km, a więc byłaby to znaczna wartość.

2. Praska ewolucja od testów elektrobusów do eksploatacji trolejbusów

Trolejbusy nie są mieszkańcom Pragi nieznane, gdyż w latach 1936–1972 funkcjonował tam rozległy system komunikacyjny oparty na takim środku transportu. Likwidacja transportu trolejbusowego w Pradze wiązała się przede wszystkim z ogólnoswiatową tendencją zapoczątkowaną na przełomie lat 50. i 60. XX w., gdy w wielu krajach europejskich, bazując na fascynacji rozwojem technologii silników spalinowych i niskim kosztem zakupu paliw płynnych oraz wyższym koszcie zakupu i utrzymania taboru i infrastruktury trolejbusów, zastępowano je klasycznymi autobusami spalinowymi. Ze względu na tzw. kryzys paliwowy

przełomu lat 60. i 70. XX w. nastąpił w Europie powrót do rozwoju miejskiego transportu elektrycznego, w tym trolejbusów. Także w Pradze pojawiały się liczne plany ponownego uruchomienia komunikacji trolejbusowej. Powstawały one w latach 80. i na początku lat 90. XX w., jednak przemiany gospodarczo-polityczne utrudniły wprowadzenie tych planów w życie.

Próbna eksploatacja elektrobusem SOR EBN 11 i przede wszystkim jej wyniki zapoczątkowały dyskusję o możliwościach wprowadzenia do eksploatacji na szerszą skalę autobusów elektrycznych do obsługi komunikacyjnej Pragi. Jednym z dostrzeżonych ograniczeń był wpływ kongestii ruchu, skutkujący koniecznością skrócenia czasu ładowania autobusu na pętli końcowej w przypadku opóźnionego przyjazdu. Ponadto główną rolę w praskiej komunikacji autobusowej odgrywają pojazdy przegubowe, co znacznie ogranicza rynek dostępnych autobusów elektrycznych. Tylko część z producentów oferuje takie pojazdy. Jednak największe obawy wzbudzał trudny profil pionowy wielu tras. Praga jest miastem o dużych różnicach wysokości terenu, a w związku z tym wielu stromych podjazdach. Stwarza to wysokie wymagania dotyczące parametrów układu napędowego, co skutkuje także wzrostem masy baterii. Duża masa baterii trakcyjnych, koniecznych w tej sytuacji do zamontowania w pojeździe, ogranicza jego masę i niekorzystnie wpływa na bilans ekonomiczny całego przedsięwzięcia. Sposobem rozwiązania tego problemu jest tzw. dynamiczny system ładowania pojazdów elektrycznych, którym energia elektryczna dostarczana jest podczas ruchu. Operator DP Praha, który eksploatuje rozległą sieć tramwajową i metra, optymalne rozwiązanie widział w napowietrznej sieci trakcyjnej. Rozważano zastosowanie różnych sposobów zasilania, m.in. pojazdów z dwoma pantografowymi odbierakami (zbliżonymi konstrukcyjnie do tramwajowych) i dwubiegową siecią trakcyjną. System ten umożliwia w pełni automatyczne podłączanie i odłączanie odbieraków w trakcie ruchu i jest obecnie testowany w roli napędu samochodów ciężarowych na doświadczalnych odcinkach autostrad, np. w Niemczech i USA. Jednak najbardziej rozwiniętym, prostym konstrukcyjnie i sprawdzonym, rozwiązaniem okazała się trolejbusowa sieć trakcyjna, która jest eksploatowana w ok. 300 miastach świata. W ciągu ostatnich 20 lat nastąpił znaczny postęp w jej rozwoju, m.in. rozpowszechniły się półautomatyczne odbieraki prądu. Umożliwiają one łatwe podłączanie i odłączanie się od sieci trakcyjnej.

Prowadzone od 2011 r. w Pradze próby autobusów elektrycznych wykazały niedoskonałości poszczególnych systemów. Dlatego w 2016 r. przewoźnik DP Praha zdecydował się na rozpoczęcie prób kolejnego systemu, tzw. dynamicznego ładowania elektrobusem za pomocą trolejbusowej sieci trakcyjnej. System ten znany jest także jako In Motion Charging (IMC).

3. Charakterystyka funkcjonowania systemu In Motion Charging

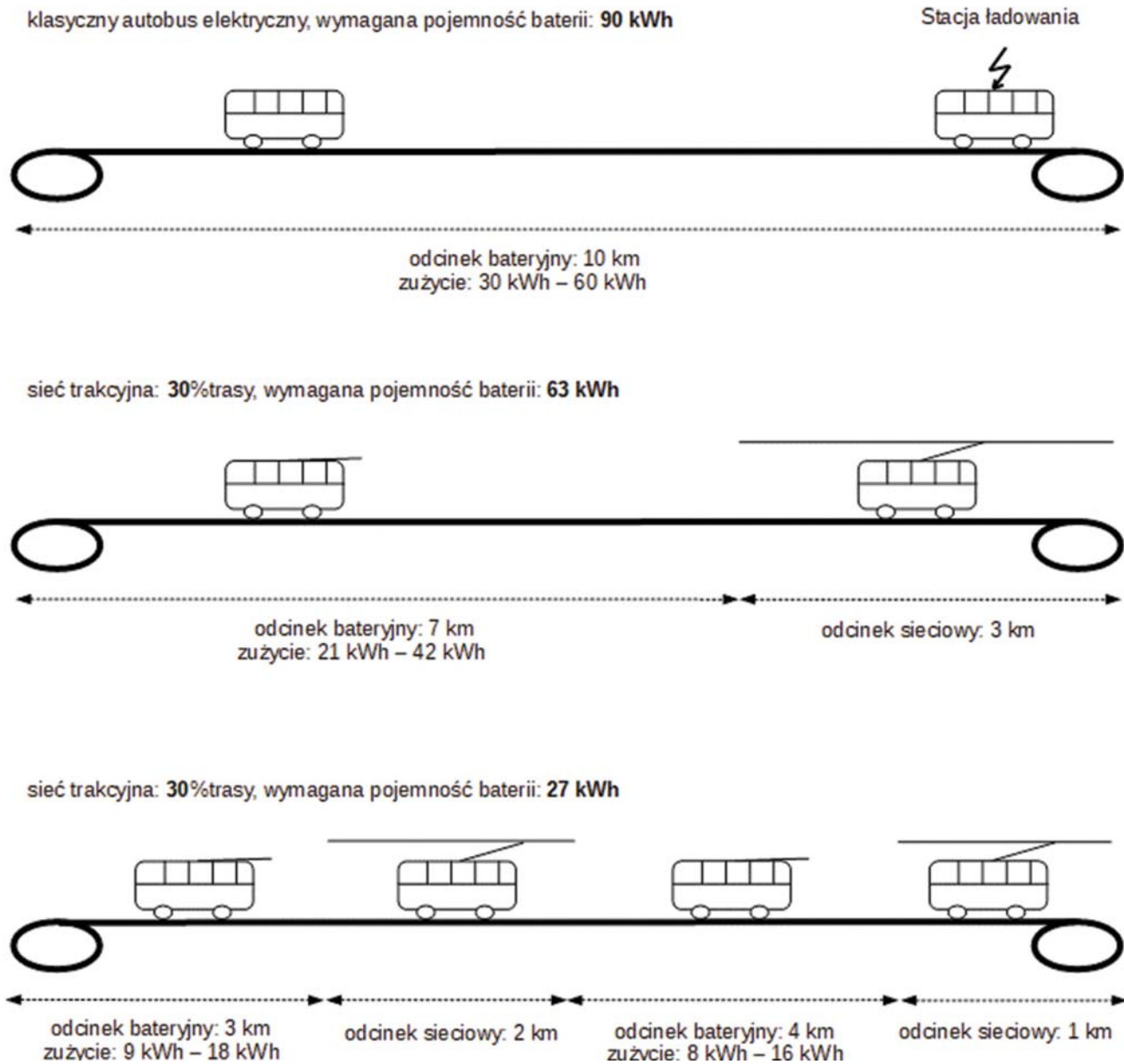
W systemie IMC część trasy linii komunikacyjnej jest pokryta napowietrzną siecią trakcyjną służącą do ładowania baterii trakcyjnych. Pozostały odcinek, pozbawiony sieci trakcyjnej, pojazdy pokonują przy użyciu zasilania z zamontowanych w nich baterii. Takie rozwiązanie umożliwia ładowanie pojazdu bez konieczności jego wyłączenia z ruchu i podnosi tym elastyczność i funkcjonalność systemu. Ponadto pokrycie fragmentu odcinka siecią trakcyjną zmniejsza wymagany dystans jazdy baterijnej i tym sposobem zmniejszeniu ulegają wymiary baterii trakcyjnych (rys. 1). Opisane rozwiązanie wpływa finalnie korzystnie na bilans ekonomiczny funkcjonowania transportu publicznego.



Rys. 1. Idea systemu In Motion Charging (IMC)
Źródło: Vossloh Kiepe.

Współcześnie najslabszym ogniwem rozwoju elektromobilności jest poziom rozwoju technologii akumulatorów. Bateria trakcyjna stanowi od 30% do 50% ceny autobusu elektrycznego. Co więcej, należy liczyć się z koniecznością wymiany baterii w trakcie eksploatacji pojazdu. Dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne, w tym także ostatnie przetargi na dostawę autobusów elektrycznych krajowym przewoźnikom, pokazują, że producenci nie są w stanie zapewnić długiej gwarancji na zamontowane baterie. W sytuacji, gdy przewoźnik wymaga zagwarantowania długiej żywotności baterii, oferty finansowe producentów są wyższe o koszt wymiany akumulatorów trakcyjnych w cyklu życia pojazdu. Pokrycie części trasy umożliwia redukcję pojemności baterii, co znacznie zmniejsza cenę pojazdu.

Dla zobrazowania zasady działania takiego rozwiązania można przyjąć za przykład linię o długości 10 km, obsługiwaną pojazdami o standardowej długości 12 m (rys. 2). Do obliczeń należy przyjąć zużycie energii w przedziale od 1,5 kWh/km do 3 kWh/km, w zależności od warunków zewnętrznych (głównie pogodowych, w tym temperatury powietrza). W przypadku obsługi linii elektrobusem i umieszczenia stacji ładowania na jednej pętli końcowej baterie muszą zapewnić przejazd 20 km (2 kierunki). W zależności od warunków pogodowych oznacza to zużycie energii na poziomie od 30 do 60 kWh/km. Przyjmując rezerwę pojemności baterii na poziomie 50%, można obliczyć, że wymagana pojemność wynosi maksymalnie **90 kWh**. Jeśli zostanie zastosowany system IMC z trasą pokrytą siecią trakcyjną w 30% jej długości, wymagana pojemność baterii spadnie do **63 kWh**. Znaczne obniżenie wymaganej pojemności baterii można uzyskać za pomocą optymalizacji struktury sieci trakcyjnej, przykładowo poprzez podzielenie odcinka sieci trakcyjnej na 2 fragmenty. W opisywanym przypadku wystarczająca jest pojemność baterii na poziomie **27 kWh**. Cena baterii wynosi od **1 tys. do 1,5 tys. euro za 1 kWh** pojemności, zatem zastosowanie sieci trakcyjnej pozwala na oszczędność **250 tys. PLN dla jednego pojazdu**. Ponadto w systemie IMC nie są wymagane postoje dla ładowania pojazdu, w związku z czym liczba pojazdów niezbędnych do obsługi linii jest mniejsza niż w klasycznym autobusie elektrycznym, co w stopniu znacznym wpływa na efektywność ekonomiczną funkcjonowania linii komunikacyjnej [1, 2, 3, 7].



Rys. 2. Porównanie pożądanej pojemności baterii trakcyjnych w przypadku autobusu elektrycznego i 2 wariantów trolejbusu z dynamicznym systemem ładowania

Źródło: oprac. własne.

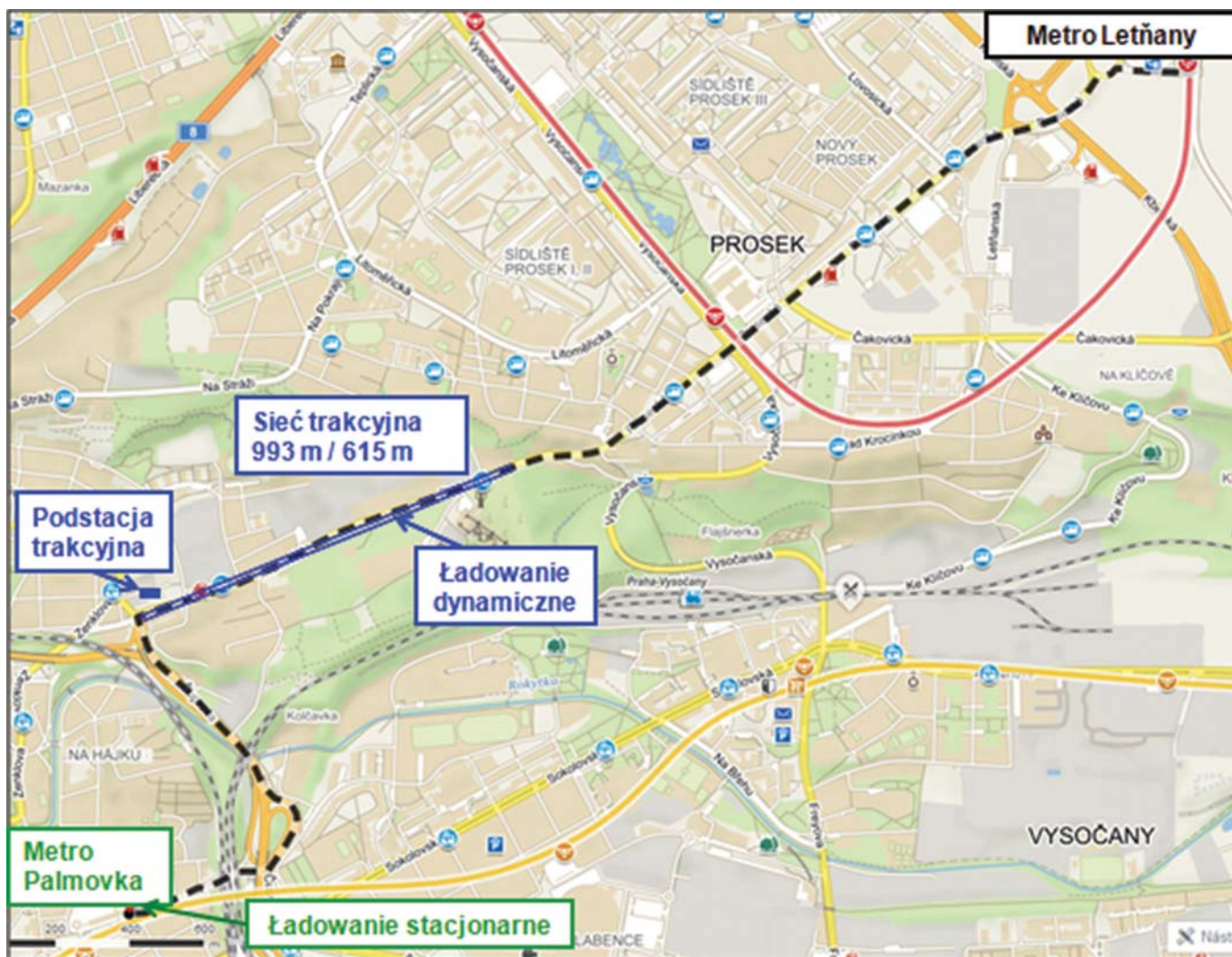
4. Pierwsze doświadczenia z technologią IMC w Pradze

W dniu 22 lutego 2016 r. doszło do zatwierdzenia przez zarząd DP Praha realizacji projektu „E-Bus s dynamickým nabíjením” („E-bus z dynamicznym ładowaniem”). Polegał on na budowie testowego odcinka sieci trakcyjnej „typu trolejbusowego” dla ładowania autobusów elektrycznych w trakcie ruchu. Do obsługi pojazdami elektrycznymi wybrano linię autobusową 140. Jest to tzw. „metrobus”, czyli linia autobusowa o wysokim interwale ruchu (6–7 min w szczycie), obsługiwana autobusami przegubowymi, łącząca stacje metra Palmovka (linia B), Prosek (linia C), Letňany (linia C) z pobliskimi, gęsto zabudowanymi, obszarami mieszkaniowymi i osiedlami Čakovice oraz Miškovice. Trasa ta charakteryzuje się dużą różnicą wysokości terenu pomiędzy przystankiem początkowym Palmovka a osiedlem Prosek, z nachyleniem jezdni dochodzącym do 10%.

W pierwszym etapie zakładano próbną obsługę linii 140 autobusami elektrycznymi systemu IMC na skróconej trasie

Palmovka–Letňany (o dł. 5 km). Budowę sieci przewidziano na stromym fragmencie ulicy Proseckiej, kilometrowym odcinku pomiędzy przystankami Kundratka i Kelerka, który stanowi 20% długości całej testowej trasy. Po trwających ponad rok pracach projektowych w lipcu 2017 r. uzyskano wszystkie niezbędne pozwolenia i 10 sierpnia 2017 r. rozpoczęła się budowa testowego odcinka. Inwestycję wykonano w zaledwie półtora miesiąca. Proces oficjalnych odbiorów technicznych przebiegał w dniach 11–13 października 2017 r.

Zbudowana trasa składa się z dwukierunkowego odcinka trolejbusowej sieci trakcyjnej. W kierunku „górnym”, czyli od przystanku Kundratka do przystanku Kelerka – o dł. 993 m (rys. 3). W przeciwnym kierunku jest nieznacznie krótsza i mierzy 613 m. Na początku i końcu trasy zainstalowano tzw. „daszki” na przewodach sieci trakcyjnej do półautomatycznego podłączenia trolejbusowych odbieraków (bez konieczności manualnego



Rys. 3. Schemat testowej linii w Pradze

Źródło: materiały informacyjne DP Praha.

operowania przez kierowcę). Do budowy sieci użyto 41 słupów trakcyjnych, z czego częściowo wykorzystano używane w innych miejscach słupy trakcyjne sieci tramwajowej. Część słupów wykonano w technologii tymczasowej, zamontowano je na przenośnych betonowych cokołach. Sieć trakcyjna zawieszona jest na wysięgnikach, które w dolnej części trasy wykonane są z laminatu szklanego, a w górnej z metalu. Zastosowano temperaturową kompensację przewodu jezdnego. Do zasilania trasy pierwotnie planowano wykorzystać sieć tramwajową, jednak finalnie zdecydowano się na budowę małej podstacji trakcyjnej przy dolnym przystanku. W tym celu wykorzystano kilkunastoletnią, prefabrykowaną, kontenerową podstację tramwajową wyposażoną w jeden zespół prostownikowy. Używana była ona dotychczas jako tymczasowe źródło zasilania podczas remontów tramwajowych podstacji trakcyjnych w Pradze. Podstację przyłączyli do publicznej sieci energetycznej 22 kV za pomocą drugiego kontenera, pełniącego rolę złącza. Do sieci trakcyjnej energia wyprowadzona jest za pomocą napowietrznych zasilaczy. Ze względu na wyposażenie elektryczne, odpowiadające wymaganiom podstacji tramwajowej, sieć trakcyjna zasilana jest napięciem 600 V.

Zbudowany odcinek o długości ok. 1 km jest zbyt krótki do całkowitego naładowania baterii trakcyjnych. Z tego powodu na pętli końcowej Palmovka wybudowano krótki odcinek sieci

trolejbusowej trakcyjnej, wraz z „daszkami” do półautomatycznego podłączenia, dla ładowania pojazdu podczas postoju. Zasilany jest on napięciem 750 V z tramwajowej sieci trakcyjnej za pomocą tzw. „Dobudki”. Jest to kontenerowa stacja przekształtkowa, zapewniająca separację galwaniczną oraz podwyższająca napięcie z sieci tramwajowej. Wyprodukowana została przez czeską firmę Cegelec. Początkowo umieszczona była na pętli Želivského i służyła dla ładowania autobusów elektrycznych.

5. Uruchomienie systemu IMC w Pradze i doświadczenia z jego eksploatacji

Uroczyste otwarcie testowej trasy odbyło się 15 października 2017 r. Data nie jest przypadkowa, gdyż jest to 45. rocznica likwidacji praskiej sieci trolejbusowej (15.10.1972 r.). Nie było to jedyne nawiązanie do historii. Pierwszym pojazdem, który przejechał trasę, był historyczny trolejbus Tatra 400 z numerem taborowym 431. Dokładnie ten sam wóz w 1972 r. wykonał ostatni kurs po Pradze z transparentem „Praha se loučí s trolejbusy. Trolejbusy se loučí s Prahou” („Praga się żegna z trolejbusami. Trolejbusy żegnają się z Prahou”), zamykając tym 36-letni okres historii tego środka transportu w czeskiej stolicy. Podczas uroczystości otwarcia linii nawiązano także i do tego akcentu. Na trolejbusie Tatra umieszczono napis „Praha se vítá s trolejbusy. Trolejbusy se vítají



a

Trolejbus SOR TNB 12 Acumario: a) na „dolnym” przystanku testowego odcinka sieci trakcyjnej (Kundratka), 24 listopada 2017 r., b) na stanowisku stacjonarnego ładowania przy stacji metra Palmovka, 22 listopada 2017 r. Fot. M. Bartłomiejczyk

s Prahou” („Praga się wita z trolejbusami. Trolejbusy witają się z Pragą”). Drugim pojazdem, który wziął udział w uroczystości i jednocześnie jest pierwszym pojazdem testowanym na trasie, był SOR TNB 12 Acumario. W wydarzeniu uruchomienia udział wzięła Prezydent Pragi Adriana Krnáčová. Dalszą częścią uroczystości były ogólnodostępne przejazdy jednokilometrowym odcinkiem obydwojoma pojazdami, przy czym – ze względu na brak pętli na końcach odcinka sieci trakcyjnej – trolejbus Tatra musiał być obracany za pomocą ciągnika.

Od 16 października 2017 r. rozpoczęły się testy trasy, które trwają nadal (grudzień 2018 r.). Testy rozpoczęły się od przejazdów technicznych, zamkniętych dla pasażerów, służących do zgromadzenia danych o pracy pojazdu i baterii. W wybrane dni odbywały się także przejazdy otwarte dla pasażerów (np. w dniach 21–23 listopada 2017 r., przy okazji targów CZECHBUS 2017). Wówczas linia oznaczona była jako 58 (co stanowi nawiązanie do historycznej linii trolejbusowej kursującej na tej trasie). Kury linii 58 odbywały się na trasie Palmovka–Letňany, będącej fragmentem docelowo obsługiwanej trolejbusami trasy nr 140.

Do testów wykorzystywany był 1 pojazd, wspomniany trolejbus SOR TNB 12 Acumario, który został wypożyczony z Brna. Wypożyczony jest on w baterie trakcyjne LTO o pojemności 56,4 kWh.

6. Perspektywy systemu IMC w Pradze

Obecna inwestycja ma charakter eksperymentalny i w zamierzeniu ma służyć zebraniu doświadczeń eksploatacyjnych w obsłudze linii autobusem elektrycznym (trolejbusem) systemu IMC.

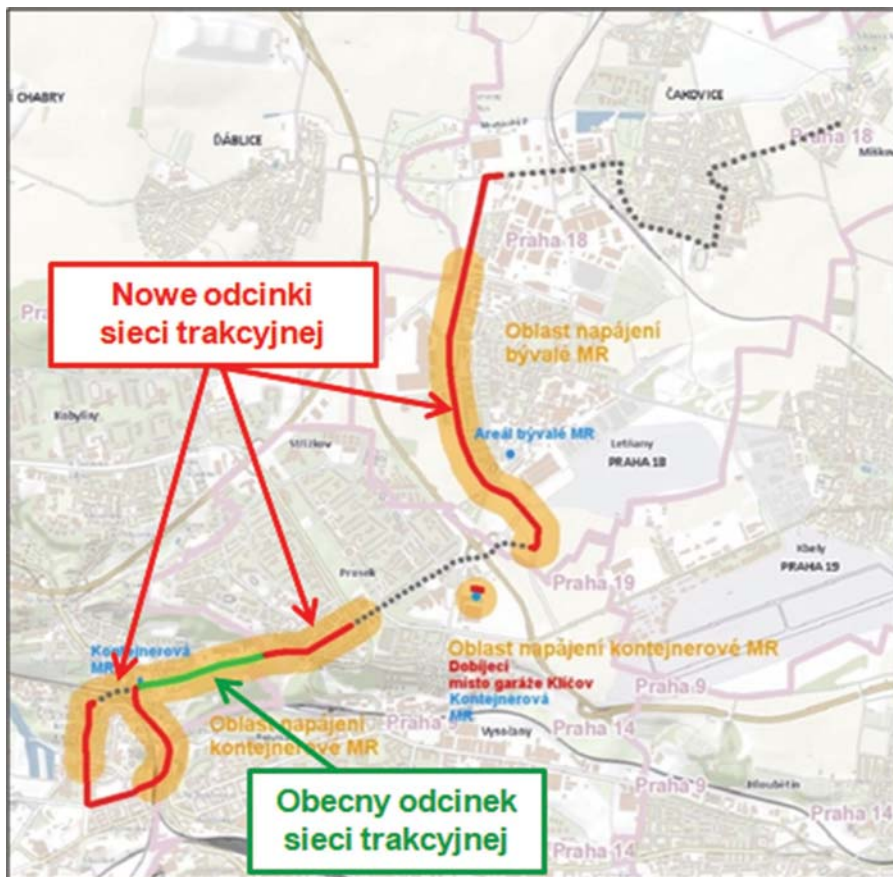
Początkowo testowany był trolejbus SOR TNB 12 Acumario. W maju 2018 r. został on zastąpiony zbliżonym pojazdem Škoda 30Tr SOR. Od 1 lipca 2018 r. charakter linii zmienił się z testowego na regularny. Od tej pory funkcjonuje ona jako linia



b

trolejbusowa nr 58 i pod takim oznaczeniem figuruje w rozkładach jazdy.

Dotychczasowe doświadczenia z eksploatacji linii są bardzo pozytywne i prowadzone są prace projektowe nad całkowitą elektryfikacją linii 140 (rys. 4). Całkowita długość linii autobusowej 140 wynosi 10 km, dlatego do jej obsługi trolejbusami w systemie IMC konieczna jest rozbudowa istniejącej infrastruktury. Przede wszystkim niezbędne jest wydłużenie obecnego odcinka sieci trakcyjnej o ok. 500 m do przystanku Prosek (stacja metra linii C). Odcinek ten, podobnie jak zelektryfikowany obecnie fragment Kundratka–Kelerka, charakteryzuje się dużym nachyleniem. Istniejący odcinek zostanie także przedłużony w przeciwnym kierunku, do stacji metra Palmovka. Ponadto przewidywana jest budowa drugiego odcinka sieci na osiedlu Letňany od stacji metra Letňany do przystanku Tupolevova. Pozwoli to na pokrycie trasy siecią trakcyjną w ok. 40%, co jest wymogiem dla systemu IMC. Planowana jest także gruntowna modernizacja węzła przesiadkowego Palmovka. Po ukończeniu elektryfikacji linia 140 będzie obsługiwana 15–20 przegubowymi trolejbusami.



Docelowy schemat linii trolejbusowej 140 w Pradze
Źródło: materiały informacyjne DP Praha

Próby systemu IMC w ulicy Proseckiej nie są jedynymi aktualnie realizowanymi działaniami DP Praha w zakresie rozwoju elektromobilności. Od października 2017 r. na liniach 109 i 239 testowany jest elektrobus SOR NS 12 electric. Do ładowania wykorzystuje on trolejbusowy odcinek sieci trakcyjnej na Palmovce. Przeznaczona do wprowadzenia elektrobusów jest także linia 207, na której kursować będzie 14 standardowych pojazdów ładowanych w systemie pantografowym. Stacje ładowania zostaną zlokalizowane na pętli Ohrada (dla 4 pojazdów równocześnie) oraz w zajezdni Vršovice. Kolejny plan dotyczy wprowadzenia elektrobusów na linię lotniskową. We współpracy z organizacją Operátora ICT, DP Praha weźmie udział w projekcie e-Airport Express Bus, w ramach którego będzie testowany czterobiegunowy system ładowania OppCharge. Elektrobusy będą eksploatowane – jak sama nazwa wskazuje – na trasie z Dworca Głównego do lotniska im. Václava Havla.

Bibliografia:

1. Bartłomiejczyk M., *Practical application of In Motion Charging: trolleybuses service on bus lines*, Proceedings of the 2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Book Series: International Scientific Conference on Electric Power Engineering.
2. Bedel R., *A Practical, 70–90% Electric Bus without Overhead Wires*, EVS24, Stavanger 2009.
3. Bergk F., Biemann K., Lambrecht U., Pütz R., Landinger H., *Potential of In-Motion Charging Buses for the Electrification of Urban Bus Lines*, „Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering” 2016, Vol. 6, No. 4.

4. Dyr T., Abramowicz A., *Projekt eBus jako instrument rozwoju transportu publicznego*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 7–8.
5. Dyr T., Misiurski P., Ziółkowska K., *Costs and benefits of using buses fuelled by natural gas in public transport*, „Journal of Cleaner Production” 2019, Vol. 225.
6. Krawiec S., *Challenges Concerning the Development of Sustainable Mobility in Cities and Agglomerations*, „Barometr Regionalny” 2016, nr 14 (4).
7. Lenz E., *Electric bus with IMC from Kiepe Electric: Reliable, simple and more cost effective*, „Fachmagazin V+T Verkehr und Technik” 2017, editions 8 + 9.
8. *Plan na rzecz rozwoju elektromobilności*, Ministerstwo Rozwoju, Warszawa 2016.
9. Rusak Z., *Tytuł International Bus of the Year dla new Solaris Urbino electric*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 7–8.
10. Zawieska, J., *E-mobility in transport and climate policies of European Union and Poland*, [w:] J. Gajewski, W. Paprocki, J. Pieregud (red.), *E-mobility: visions and development scenarios*, Sopot 201.

The road to the development of electromobility in the Czech Republic: from electric buses to ... trolleybuses?

The article attempts to present an indirect solution between classic electric buses and trolleybuses – vehicles with a dynamic charging system – In Motion Charging (IMC). It is a system that involves the construction of an overhead catenary „trolleybus type” on a selected part of the route. The traction infrastructure covers approx. 30–40% of the route length, which allows to recharge traction batteries installed in vehicles. This solution allows to limit the capacity, and therefore also the weight of the battery by over 60%. The solution tested in Prague is particularly valuable for cities with diverse topography and large area denivelations, where classic electric buses do not meet expectations. In addition, the IMC system is attractive for the majority of urban centers, due to the commonly occurring traffic congestion. The hybrid IMC system allows to eliminate the weakest features of trolleybuses, making the solution also economically efficient.

Keywords: electromobility, electric bus, electrobus, trolleybus, Praha.

Autorzy:

dr inż. **Mikołaj Bartłomiejczyk** – Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Katedra Inżynierii Elektrycznej Transportu
dr **Marcin Połom** – Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Katedra Geografii Rozwoju Regionalnego