

Nowoczesna koncepcja rozwoju transportu trolejbusowego – projekt Slide-In



Fot. 1. Przejazd trolejbusu przy zasilaniu baterijnym. Fot. M. Bartłomiejczyk

Ewolucja komunikacji trolejbusowej dotyczy wielu europejskich miast. Wraz z rozwojem alternatywnych źródeł zasilania (baterie trakcyjne, supekondensatory, spalinowe agregaty prądowórcze) trolejbusy stają się mniej uzależnione od sieci trakcyjnej, a przy tym bardziej efektywne ekonomicznie. Jednocześnie rozwój autobusów elektrycznych i związane z nimi problemy eksploatacyjne skłaniają do refleksji nad ponownym rozważaniem zalet trolejbusów i elektrobuses. W artykule przedstawiono szwedzkie doświadczenia we wprowadzaniu nowoczesnych rozwiązań z pogranicza komunikacji trolejbusowej i autobusów elektrycznych.

Słowa kluczowe: transport trolejbusowy, alternatywne źródła zasilania, baterie trakcyjne, autobusy elektryczne.

Wstęp

W ciągu ostatnich kilku lat nastąpił wzrost zainteresowania autobusami elektrycznymi (elektrobusami). Obecnie większość producentów autobusów posiada w swojej ofercie pojazdy elektryczne. Zwiększa się liczba miast eksploatujących testowe lub pełnofunkcyjne linie autobusowe obsługiwane elektrobusami. Należy oczekiwać, iż udział autobusów elektrycznych w obsłudze komunikacyjnej miast będzie wzrastał. Taki trend wpisuje się w politykę przyjętą przez Unię Europejską dla mobilności w miastach.

Rozwój technologii bateryjnych umożliwia pokonywanie przez autobus elektryczny coraz większych odcinków (zwiększenie odstępów pomiędzy kolejnymi doładowaniami). Postęp technologiczny przyczynił się także do zmniejszenia zużycia energii przez pojazd, skutkiem czego możliwe jest zmniejszenie wymaganej pojemności baterii elektrycznych. Jednak nadal kwestią problematyczną jest ładowanie elektrobusu, które możliwe jest w następujących wariantach:

- 1) ładowanie w nocy – autobus jeździ cały dzień bez doładowywania;
- 2) główne ładowanie w nocy (w trakcie dnia następuje jednokrotne doładowywanie);

- 3) system *plug-in* – elektrobus jest doładowywany wielokrotnie w ciągu dnia, najczęściej podczas postoju na pętach końcowych lub przystankach.

Tab. 1. Podstawowe parametry trolejbusu systemu Slide-In

Producent trolejbusu	Solaris Bus & Coach, Polska
Producent napędu	Škoda Electric, Republika Czeska
Typ	Solaris Trollino 12
Długość całkowita	12 m
Napięcie zasilania	750 V
Moc silnika trakcyjnego	160 kW
Masa pojazdu	13,6 ton
Liczba miejsc siedzących	27 + 3
Liczba miejsc stojących	28
Pojemność baterii trakcyjnych	54 kWh
Napięcie baterii trakcyjnych	450 V

Źródło: oprac. własne.

Obecnie dostępne na rynku technologie bateryjne umożliwiają pokonanie przez elektrobus trasy o długości ok. 200 km przy pracującym ogrzewaniu lub klimatyzacji. Biorąc pod uwagę przeciętną wielkość dziennej pracy przewozowej w warunkach miejskich, jest to wartość niewystarczająca, szczególnie w przypadku konieczności zachowania rezerwy energii na dojazd w sytuacji wystąpienia problemów w ruchu drogowym. Z tego powodu wariant pierwszy jest nieakceptowany w praktycznych warunkach ruchowych. Wariant drugi wymaga zapewnienia przerwy na doładowywanie baterii w ciągu dnia. Jest to możliwe w przypadku tzw. „dodatków”, czyli pojazdów obsługujących zadania szczytowe. Jednak większość pracy przewozowej w komunikacji miejskiej ma charakter zmian całodziennych, w których nie ma możliwości wyłączenia pojazdu z ruchu. Doładowywanie wiąże się więc z koniecznością zapewnienia dodatkowej rezerwy taborowej na czas wyłączenia z ruchu, skutkiem czego konieczna jest większa liczba pojazdów niż w przypadku komunikacji autobusowej, co generuje wyższe koszty funkcjonowania. Wariant trzeci – *plug-in* – wydaje się być najbardziej perspektywicznym rozwiązaniem dla elektrobusów. Jednak, analogicznie do wariantu drugiego, konieczne jest wyłączenie pojazdu z ruchu na czas ładowania, co stwarza konieczność zapewnienia większej liczby pojazdów (w porównaniu do obsługi tej samej linii autobusami). W sposób istotny jest więc ograniczana możliwość wykorzystania pojazdu.

Należy zwrócić uwagę na problematyczny aspekt standaryzacji systemów ładowania autobusów elektrycznych. Obecnie każdy producent elektrobusów stosuje inne rozwiązania ładowania, dlatego – kupując autobus elektryczny danego dostawcy – przewoźnik uzależnia się od producenta i jego rozwiązań technicznych. Dotychczasowe próby standaryzacji systemów ładowania nie przyniosły satysfakcjonujących wyników.

Slide-In: idea projektu

Główną ideę projektu doskonale opisuje nazwa „Slide-In”. ‘Slide’ w języku angielskim oznacza ‘ślizgać’. Pojazd systemu Slide-In jest ładowany podczas jazdy, dzięki czemu nie jest konieczne jego wyłączenie z eksploatacji na czas doładowywania – stale zachowuje on pełną funkcjonalność. Podstawowe założenia systemu ładowania Slide-In można ująć w sposób następujący:

- 1) głównym źródłem zasilania pojazdu są baterie;
- 2) w miarę możliwości pojazd jest ładowany podczas jazdy;
- 3) o ile to możliwe, pojazd ładowany jest też podczas postoju;
- 4) ze względów awaryjnych możliwe (lecz niekonieczne) jest wyposażenie pojazdu w dodatkowy spalinowy generator prądotwórczy.

Zasadniczym problemem technicznym jest ładowanie elektrobusu podczas jazdy. Mając na uwadze rozwiązania dostępne na rynku, można wyróżnić następujące możliwości:

- ♦ ładowanie bezprzewodowe za pomocą pętli indukcyjnych umieszczonych w jezdni w pasie ruchu;
- ♦ ładowanie stykowe z przewodów „zatopionych” w jezdni za pomocą specjalnego odbieraka;
- ♦ ładowanie z górnej sieci trakcyjnej.

Pierwsze i drugie rozwiązanie co prawda jest możliwe z technicznego punktu widzenia, jednak praktyczna jego aplikacja jest arduo trudna i należy te rozwiązania traktować jako przyszłościowe, obecnie mało realne między innymi ze względów finansowych. asilanie z górnej sieci trakcyjnej jest natomiast rozwiązaniem technicznie bardzo dobrze znanym, reprezentowanym przez trolejbusową sieć trakcyjną. Trolejbusy obsługują miasta od ponad 100 lat. Przez ten czas trolejbusowa sieć trakcyjna uległa ewolucji i znacznej standaryzacji. Obecny rynek oferuje sprawdzone

Slideln-bussen 6994					
Landskrona Stadsbuss Trådbuss					
Måndag-Fredag, 2014-08-17 -> 2014-12-14					
Linje	Avg. tid	Från	Ank. tid	Till	El från
Linje 3	05:37	Landskrona Skeppsbron	05:47	Landskrona Station	Tråd
Linje 3	05:54	Landskrona Station	06:03	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Linje 5	06:03	Landskrona Skeppsbron	06:19	Landskrona Drottningen	Batteri
Linje 4	06:19	Landskrona Drottningen	06:30	Landskrona Station	Batteri
Linje 3	06:37	Landskrona Station	06:46	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Linje 3	06:47	Landskrona Skeppsbron	06:57	Landskrona Station	Tråd
Linje 4	07:00	Landskrona Station	07:10	Landskrona Drottningen	Batteri
Linje 5	07:10	Landskrona Drottningen	07:26	Landskrona Skeppsbron	Batteri
Linje 3	07:35	Landskrona Skeppsbron	07:45	Landskrona Station	Tråd
Linje 3	07:49	Landskrona Station	07:58	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Linje 5	08:03	Landskrona Skeppsbron	08:19	Landskrona Drottningen	Batteri
Linje 4	08:19	Landskrona Drottningen	08:30	Landskrona Station	Batteri
Linje 3	08:37	Landskrona Station	08:46	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Linje 3	08:48	Landskrona Skeppsbron	08:58	Landskrona Station	Tråd
Linje 3	09:01	Landskrona Station	09:10	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Slut					
Linje 3	14:03	Landskrona Skeppsbron	14:13	Landskrona Station	Tråd
Linje 3	14:15	Landskrona Station	14:24	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Linje 5	14:30	Landskrona Skeppsbron	14:46	Landskrona Drottningen	Batteri
Linje 4	14:46	Landskrona Drottningen	14:57	Landskrona Station	Batteri
Linje 3	14:59	Landskrona Station	15:08	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Linje 3	15:09	Landskrona Skeppsbron	15:19	Landskrona Station	Tråd
Linje 4	15:22	Landskrona Station	15:32	Landskrona Drottningen	Batteri
Linje 5	15:32	Landskrona Drottningen	15:49	Landskrona Skeppsbron	Batteri
Linje 3	15:50	Landskrona Skeppsbron	16:00	Landskrona Station	Tråd
Linje 3	16:00	Landskrona Station	16:09	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Linje 3	16:12	Landskrona Skeppsbron	16:22	Landskrona Station	Tråd
Linje 4	16:26	Landskrona Station	16:36	Landskrona Drottningen	Batteri
Linje 5	16:36	Landskrona Drottningen	16:53	Landskrona Skeppsbron	Batteri
Linje 3	16:54	Landskrona Skeppsbron	17:04	Landskrona Station	Tråd
Linje 3	17:06	Landskrona Station	17:15	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Linje 3	17:18	Landskrona Skeppsbron	17:28	Landskrona Station	Tråd
Linje 4	17:34	Landskrona Station	17:44	Landskrona Drottningen	Batteri
Linje 3	18:00	Landskrona Station	18:09	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Linje 3	18:12	Landskrona Skeppsbron	18:22	Landskrona Station	Tråd
Linje 4	18:26	Landskrona Station	18:36	Landskrona Drottningen	Batteri
Linje 5	18:36	Landskrona Drottningen	18:53	Landskrona Skeppsbron	Batteri
Linje 3	19:03	Landskrona Skeppsbron	19:13	Landskrona Station	Tråd
Linje 4	19:32	Landskrona Station	19:42	Landskrona Drottningen	Batteri
Linje 3	19:55	Landskrona Station	20:04	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Linje 3	20:06	Landskrona Skeppsbron	20:16	Landskrona Station	Tråd
Linje 4	20:17	Landskrona Station	20:27	Landskrona Drottningen	Batteri
Linje 5	20:27	Landskrona Drottningen	20:44	Landskrona Skeppsbron	Batteri
Linje 3	20:45	Landskrona Skeppsbron	20:55	Landskrona Station	Tråd
Linje 3	20:55	Landskrona Station	21:04	Landskrona Skeppsbron	Tråd
Slut					

Rys. 1. Rozkład jazdy trolejbusu (kolor żółty – obsługa linii trolejbusowej, ładowanie; kolor niebieski – obsługa linii autobusowej przy zasilaniu z baterii trakcyjnych) [3]



Fot. 2. Trolejbus przy zasilaniu sieciowym. Fot. M. Bartłomiejczyk



Rys. 2. Mapa przebiegu linii 3, 4 i 5 [3]

rozwiązania wielu dostawców. W związku z tym trolejbusowa sieć trakcyjna jest predestynowana do ładowania elektrobusów systemu Slide-In.

System trolejbusowy w Landskronie

Landskrona jest niewielkim (ok. 38 tys. mieszkańców) szwedzkim miastem położonym w południowo-zachodniej części kraju w pobliżu miasta Malmö. Na początku pierwszej dekady XXI w., w związku

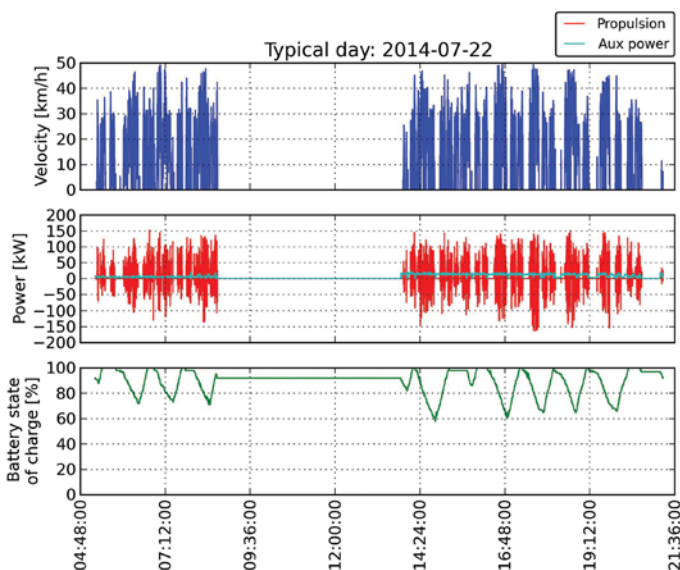
z przebudową sieci kolejowej w tym regionie, został zbudowany nowy dworzec oddalony od centrum miasta o ok. 2 kilometry. Transport kolejowy odgrywa w tym rejonie znaczącą rolę, dlatego konieczne stało się zapewnienie połączenia pomiędzy centrum Landskrony i nowym dworcem kolejowym. Zdecydowano się na budowę linii trolejbusowej. Jest to o tyle szczególne, iż w Szwecji od 1964 roku nie istniał żaden system trolejbusowy. Uruchomienie sieci trolejbusowej w Landskronie oznaczało więc powrót trolejbusów do Szwecji po 40 latach.

27 września 2003 r. została uruchomiona nowa linia trolejbusowa w Landskronie; otrzymała ona numer 3 w istniejącym systemie komunikacji miejskiej. Połączyła nowy dworzec kolejowy, centrum miasta i przystań portową. Długość linii nr 3 wyniosła 3 km. Początkowo była obsługiwana przez 3 trolejbusy Solaris Trollino 12, wyprodukowane we współpracy z węgierską firmą GANZ [1, 4].

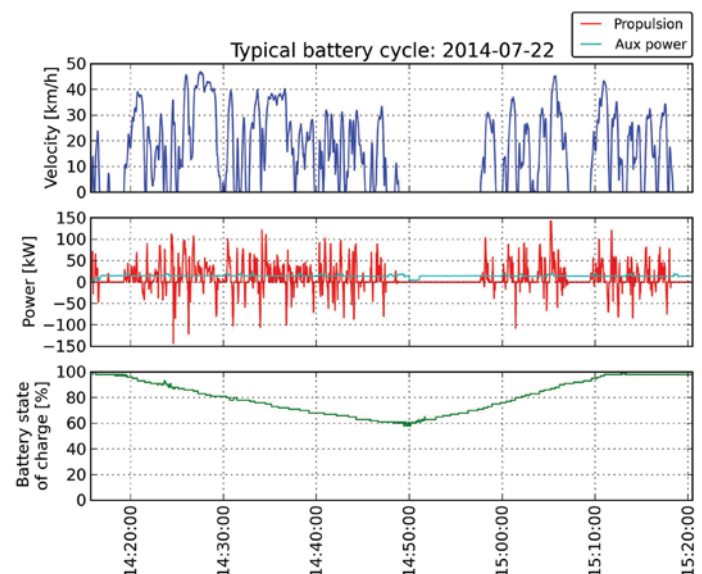
Linia trolejbusowa okazała się bardzo dobrym rozwiązaniem i szybko stała się kręgosłupem komunikacyjnym miasta. Wzrost przewozów pasażerskich spowodował decyzję o zakupie czwartego trolejbusu, który wprowadzono do eksploatacji w 2010 r. Również pojawiły się opinie o konieczności rozszerzenia komunikacji trolejbusowej. Jednak mała praca przewozowa na liniach autobusowych rozbudowę sieci trakcyjnej czyniła nieopłacalną. Rozwiązaniem tego problemu był napęd pomocniczy, umożliwiający poruszanie się trolejbusu na odcinkach pozbawionych sieci trakcyjnej [2].

Realizacja tego zamierzenia stała się możliwa dzięki projektowi Slide-In.

Projekt Slide-In jest finansowany z funduszu europejskiego EU's LIFE+ programme. Głównym partnerem w projekcie jest Uniwersytet w Lund. Pozostałymi partnerami są: Skånetrafiken, ÅF (przewoźnik obsługujący komunikację w Landskronie), Motivationshuset, Volvo Powertrain i E.ON [3]. Budżet został oszacowany na 1,6 mln



Rys. 3. Dzienny bilans energetyczny pojazdu [3]



Rys. 4. Bilans energetyczny podczas jednego przejazdu [3]

euro, a czas jego realizacji to wrzesień 2011–grudzień 2015. Cele projektu obejmowały wykonanie elektrobusu systemu Slide-In, przeprowadzenie jego eksploatacji oraz ewaluację wyników. Ze względu na bliskość geograficzną oraz sprzyjające uwarunkowania zdecydowano się na eksploatację elektrobusu w pobliskiej Landskronie i wykorzystanie tamtejszej sieci trolejbusowej.

Pojazd przeznaczony do eksploatacji został wykonany jako standardowy trolejbus z powiększonymi bateriami trakcyjnymi, umożliwiającymi zasilanie pojazdu na odcinku pozbawionym sieci trakcyjnej. Źródłem zasilania są baterie litowe o pojemności 54 kWh i napięciu 450 V. Umożliwiają one przejazd odcinka 20 km bez zasilania z sieci jezdnej. W tab. 1 przedstawiono podstawowe parametry trolejbusu.

Na rys. 1. przedstawiono rozkład jazdy trolejbusu. Trolejbus przeznaczony został do obsługi linii autobusowych 4 i 5 w następującym reżimie pracy:

- ♦ obsługa linii trolejbusowej 3, ładowanie z trolejbusowej sieci trakcyjnej, wykonywanie przez trolejbus dwóch obiegów (rys. 1, kolor żółty);
- ♦ obsługa linii autobusowych 4 i 5 przy zasilaniu z baterii trakcyjnych (rys. 1, kolor zielony).

Schemat obsługi linii 3, 4 i 5 został przedstawiony na rys. 2. W trakcie pracy dziennej 70% przebiegu pokonywane jest przy zasilaniu z baterii trakcyjnych, a jedynie w 30% trolejbus jeździ przy wykorzystaniu sieci trakcyjnej.

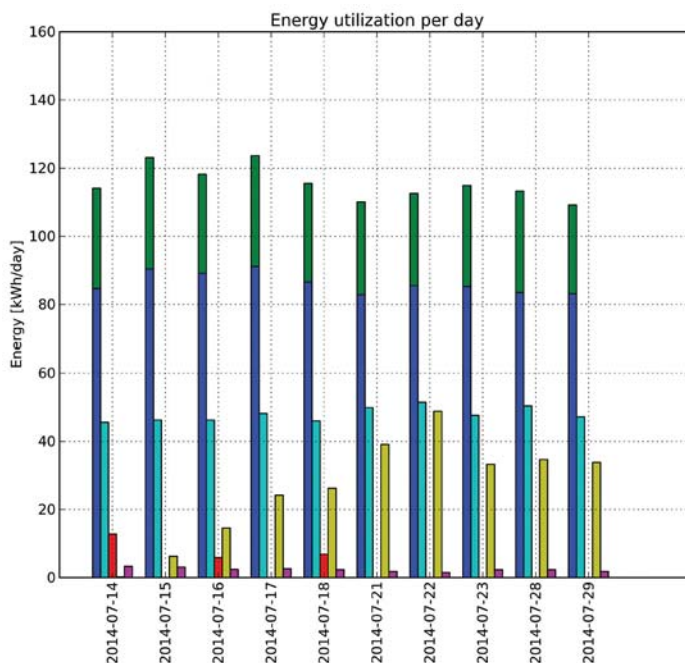
Na rys. 3, 4 i 5 przedstawiono charakterystykę energetyczną pracy trolejbusu. Rys. 3 przedstawia dzienny wykres pracy pojazdu, na rys. 4 ukazano jeden cykl ładowania i rozładowania, a rys. 5 prezentuje całkowity bilans energetyczny podczas wybranych dni eksploatacji.

Eksploatacja trolejbusu w pełni potwierdziła jego walory ruchowe. Pokrycie trasy jedynie w 30% długości siecią trakcyjną umożliwia bezproblemową obsługę liniową. Zaobserwowano maksymalne rozładowanie baterii na poziomie 40%, co oznacza, że istnieje wystarczający zapas pojemności na wypadek utrudnień w ruchu komunikacyjnym. Należy zwrócić także uwagę na korzyści wynikające z akumulacji energii rekuperacji w bateriach trakcyjnych (rys. 5). Fot. 1–2 przedstawiają trolejbus podczas jazdy sieciowej i baterijnej.

Wnioski

Projekt Slide-In umożliwił wykonanie i przetestowanie pojazdu, który łączy w sobie zalety trolejbusu i elektrobusu. Zastosowano baterie trakcyjne, które umożliwiają pokonanie znacznego dystansu bez zasilania z zewnętrznego źródła, a ich ładowanie odbywa się z sieci trakcyjnej bez konieczności wyłączania pojazdu z ruchu. Testowa eksploatacja udowodniła, że wystarczająca jest elektryfikacja jedynie 30% trasy pokonywanej przez pojazd. Ponadto rozwój technologii bateryjnych umożliwi w najbliższym czasie dalszą redukcję tego odcinka do poziomu 10–20%.

Zelektryfikowana komunikacja miejska – tramwaje i trolejbusy jest popularną formą transportu zbiorowego. Uzasadnione staje się więc wykorzystanie istniejącej infrastruktury do zwiększenia udziału pojazdów elektrycznych w komunikacji miejskiej przez prowadzenie do eksploatacji pojazdów bateryjnych. W przypadku sieci trolejbusowych można to zrealizować bez jakichkolwiek nakładów inwestycyjnych w sposób przedstawiony w niniejszym artykule. Również możliwe jest wykorzystanie w tym celu infrastruktury tramwajowej dzięki budowie trolejbusowej sieci trakcyjnej w oparciu o układ zasilania i istniejące konstrukcje wsporcze sieci tramwajowej.



Rys. 5. Bilans energetyczny dla wybranych dni (kolor zielony – odzysk energii, niebieski – jazda na sieci trakcyjnej, jasnoniebieski – wykorzystanie baterii trakcyjnych, czerwony – ogrzewanie, jasnozielony – klimatyzowanie, fioletowy – wytracanie energii podczas hamowania na rezystorze) [3]

Zastosowanie systemu Slide-In pozwala na wyeliminowanie głównej wady elektrobusu, jaką jest ładowanie – dzięki temu pojazdy z napędem elektrycznym stają się konkurencyjne w stosunku do autobusu.

Bibliografia:

1. Bartłomiejczyk M., Połom M. (red.), *Determinants of functioning of trolleybus transport in selected cities of the European Union*, Wydawnictwo Bernardinum, Pelplin 2011.
2. Połom M., Bartłomiejczyk M., *Alternatywne źródła zasilania w trolejbusach – przegląd rozwiązań stosowanych w miastach europejskich*, „Technika Transportu Szynowego” 2011, nr 3.
3. *Slide-In*: <http://www.slidein.se/> (dostęp z dnia 24.01.2015 r.).
4. Stiasny M., *Trolejbusy w Landskronie*, „Zajezdnia” 2005, nr 1(6).

Autorzy:

dr inż. **Mikołaj Bartłomiejczyk** – Katedra Inżynierii Elektrycznej Transportu, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Politechnika Gdańska, mikolaj.bartlomiejczyk@pg.gda.pl

mgr **Marcin Połom** – Katedra Geografii Rozwoju Regionalnego, Instytut Geografii, Wydział Oceanografii i Geografii, Uniwersytet Gdański, marcin.polom@ug.edu.pl

The modern concept of development of trolleybus transport – Slide-In project

Evolution of the trolleybus transport occurs in many European cities. With the development of alternative sources of power (traction batteries, supercapacitors, diesel electric generators) trolleybuses become less dependent on the overhead line, and with the more cost-effective. Simultaneous development of electric buses and their associated operational problems tend to reflect on the use of the advantages of trolleybuses and electric buses making the solution more perfect. The article presents the Swedish experience in implementing innovative solutions on the border of trolleybuses and electric buses.

Keywords: trolleybus transport, alternative power source, traction batteries.