

УДК 629.341  
UDC 629.341

**PROEKOLOGICZNE I ENERGOOSZCZĘDNE  
SYSTEMY SZYBKIEGO ŁADOWANIA PRĄDEM STAŁYM  
AUTOBUSÓW ELEKTRYCZNYCH I HYBRYDOWYCH**

PYĆ Marcin, dr inż., Uczelnia Wyższa im. Edwarda Herzberga, Grudziądz, Polska  
WOJEWODA Paweł, dr inż. Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska

**ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ  
ШВИДКОЇ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ГІБРИДНИХ АВТОБУСІВ**

ПИЧЬ Марцін, доктор інженер, Університет ім. Едварда Герцберга, Грудзьондз, Польща  
ВОЄВОДА Павел, доктор інженер, Жешовська політехніка, Жешув, Польща

**ECOLOGICAL AND ENERGY EFFICIENT DC FAST-CHARGING SYSTEMS OF  
ELECTRIC AND HYBRID BUSES**

PYĆ Marcin, Ph.D., University of Edward Herzberg, Grudziadz, Poland  
WOJEWODA Paweł, Ph.D., Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland

**Wstęp.** Volvo Bus Corporation i szwajcarska grupa ABB współpracują w celu opracowania i komercjalizacji technologii dla autobusów hybrydowych i elektrycznych, która na bazie otwartych standardów wykorzystuje system szybkiego ładowania prądem stałym. Autobusy będą szybko ładowane na przystankach autobusowych przez automatyczny system połączeń montowany na dachu autobusu ACS (Automatic Roof-Top Connection System) lub poprzez przewodowe ładowanie w zajezdni autobusowej w godzinach nocnych.

Pierwszy wspólny projekt, do systemu transportu publicznego w Luksemburgu, obejmuje wdrożenie automatycznych ładowarek e-bus do 12 metrowych autobusów hybrydowych Volvo plug-in, które będą obsługiwane przez firmę Sales-Lentz i uruchamiane na istniejących publicznych liniach autobusowych.

Volvo Bus planuje dostarczyć pierwsze sześć hybryd plug-in w 2015 roku, a sześć kolejnych w 2016 roku.

Autobus hybrydowy Volvo, który oficjalnie zadebiutuje we wrześniu na targach IAA w Hanowerze w Niemczech, jest wyposażony w 150 kW (70 kW mocy ciągłej) silnik elektryczny zasilany napięciem 600 V, akumulator litowo-jonowy (19 kW·h), a także silnik wysokoprężny o pojemności 5.1 spełniający normę Euro 6, który charakteryzuje się mocą 240 KM (179 kW) i momentem obrotowym 918 Nm.

Z doniesień rzecznika firmy Volvo wynika, że nadal będzie on rozwijać system modułowy z niestandardowych zespołów dla celów, takich jak: napęd hybrydowy z silnikiem o zapłonie samoczynnym, napęd czysto elektryczny, urządzenia do magazynowania energii, oraz przekształtników energoelektronicznych.

Autobus może w trybie elektrycznym przejechać około 7 km i w zależności od cyklu jezdnego powoduje zmniejszenie zużycia energii o 60% i emisji CO<sub>2</sub> o 75% w porównaniu z konwencjonalnym autobusem z silnikiem o zapłonie samoczynnym.

Firma Volvo Bus zamierza rozpocząć produkcję komercyjną autobusów hybrydowych plug-in pod koniec 2015 roku i zamierza dostarczyć nowy asortyment autobusów w rozmiarach od 10,5 m i dłuższych.

Pierwsze elektryczne autobusy spółka rozpocznie produkować w czerwcu 2015 w ramach projektu energii elektrycznej w Göteborg w Szwecji. Prognozują zmniejszenie o 80% zużycia energii i 99% redukcji emisji CO<sub>2</sub>. Rozwiązanie szybkiego ładowania z Volvo jest inne niż system Flash Charging grupy ABB opracowany dla autobusów elektrycznych działających w ramach projektu pilotażowego TOSA (Trolleybus Optimisation System Alimentation) w Genewie, w Szwajcarii [5].

**System flash charging grupy abb.** Grupa ABB opracowała nową technologię doładowania-ładowania (Flash Charging), w postaci elektrycznego systemu autobusowego szybkiego ładowania, pracującego bez napowietrznych przewodów.



Rys. 1. Widok autobusu z systemem szybkiego ładowania na przystankach grupy ABB [5]

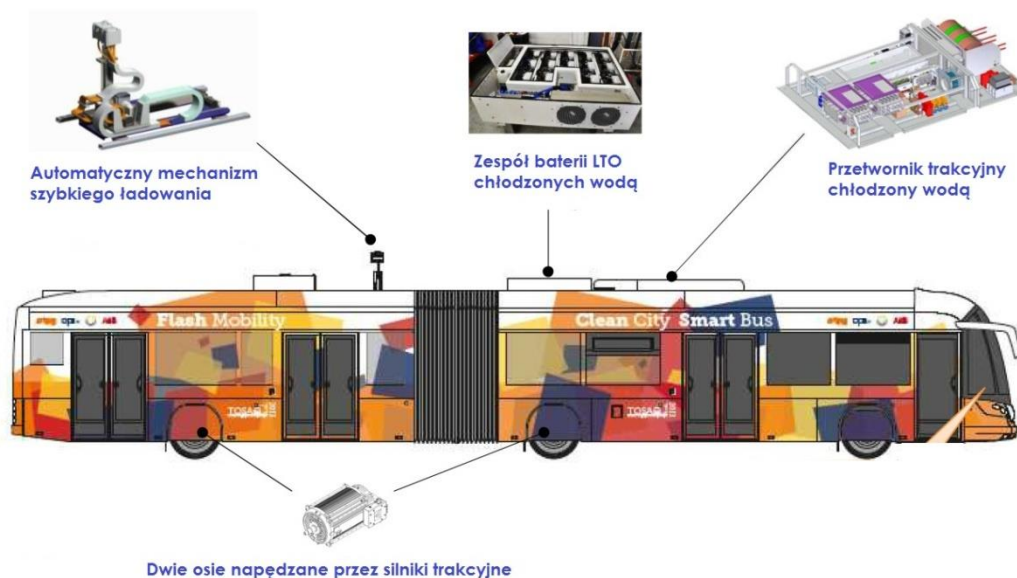
Nowa technologia doładowania-ładowania zostanie wdrożona po raz pierwszy w elektrycznym autobusie o dużej pojemności, który będzie mógł przewozić do 135 pasażerów. Autobus będzie pobierał energię elektryczną bezpośrednio na niektórych przystankach w czasie 15 s w oparciu o nowy typ automatycznego mechanizmu szybkiego ładowania, a pasażerowie w tym czasie będą wchodzić i wychodzić z autobusu. Szybkie ładowanie baterii odbywać się będzie na co trzecim lub czwartym przystanku autobusowym na trasie projektu pilotażowego, który biegnie od lotniska w Genewie i międzynarodowego centrum wystawowego w mieście Palexpo.



Rys. 2. System grupy ABB wykorzystuje laser do sterowania ruchomego ramienia, które łączy się z górnym gniazdem do ładowania na przystankach autobusowych [5]

Stacje ładowania dostępne będą w różnych rozmiarach dostosowane do wymagań konkretnego przystanku autobusowego.

Przez technologię Flash Charging grupa ABB jest w stanie pilotować nową generację elektrycznych autobusów dla miejskiego transportu masowego. Ten projekt może utorać drogę do przejścia na bardziej elastyczne, ekonomiczne, infrastruktury transportu publicznego i przyczynić się do ograniczenia zanieczyszczenia powietrza i minimalizacji hałasu.



Rys. 3. Rozkład zespołów systemu firmy ABB [5]

Technologia szybkiego ładowania Flash Charging zastosowana w tym projekcie została opracowana przez grupę ABB i zoptymalizowana pod kątem wysokiej częstotliwości linii autobusowych w kluczowych obszarach miejskich oraz transportu dużej liczby pasażerów w godzinach szczytu. Baterie pokładowe można doładować w ciągu 15 sekund energią o wartości 400 kW na wybranych przystankach, natomiast na końcu linii autobusowej następuje pełne naładowanie akumulatorów w ciągu od 3 do 4 min.



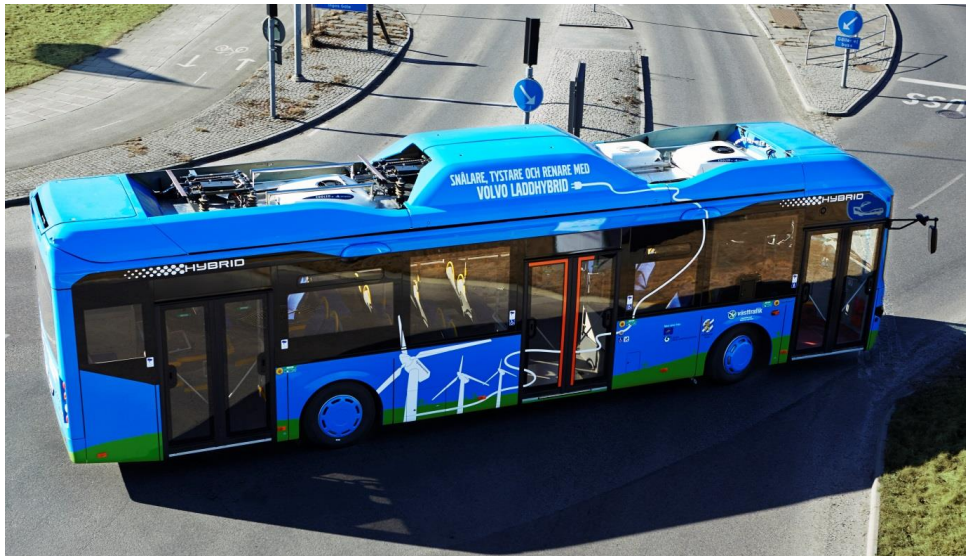
Rys. 4. Zespół 14 baterii LTO (Lithium Titanate Oxide) połączonych szeregowo, chłodzonych wodą, o pojemności energetycznej 38 kW·h. [5]

Nowatorski elektryczny system magazynowania energii umożliwia napęd autobusu korzystając z energii urządzenia ładowania, zamontowanego na dachu, wraz z możliwością wykorzystania energii hamowania pojazdu, magazynując ją w kompaktowych bateriach oraz wykorzystania jej do zasilania urządzeń pomocniczych oraz takich jak oświetlenie wnętrza autobusu.

TOSA to projekt o zerowej emisji dwutlenku węgla, energia elektryczna wykorzystywana do zasilania stacji ładowania podobno pochodzi w całości z czystej energii wodnej. Czas ładowania piętnastosekundowy nie koliduje z harmonogramem jazdy autobusów, a sam system oferuje korzyści estetyczne i operacyjne, np.: likwidacja linii napowietrznych nie tylko zmniejsza wizualny bałagan w krajobrazie miejskim, ale zapewnia również większą elastyczność trasy.

System wykorzystuje laser do sterowania ruchomego ramienia, które łączy się z górnym gniazdem do ładowania na przystankach autobusowych, zamiast zwykłych pantografów do linii napowietrznych. Grupa ABB wykorzystała swoje doświadczenie w sektorze przemysłu kolejowego przenosząc technologię do sektora publicznego transportu zbiorowego [5].

**System szybkiego ładowania ACS firmy Volvo.** Ten nowy system firmy Volvo opiera się na wiedzy zdobytej na bazie projektu TOSA, a także wykorzystuje automatyczne ładowanie bez prowadzenia sieci elektrycznej napowietrznej, ale nie jest to system szybkiego ładowania typu Flash Charging.

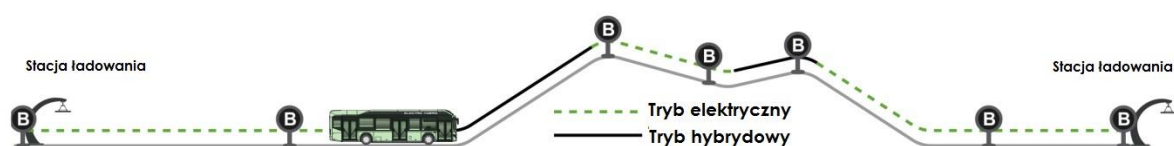


Rys. 5. Autobus szybko ładowany na przystankach autobusowych przez automatyczny system połączeń montowany na dachu autobusu ACS (Automatic Roof-Top Connection System)[2, 5]

Według projektu TOSA, "zastrzyk energii" o wartości 400 kW doładowuje akumulatory pokładowe autobusu w 15 s na pośrednich przystankach; doładowanie jest wymagane co 1 do 1,5 km, lub co dwa, trzy przystanki. Na przystanku końcowym autobus z systemem szybkiego ładowania TOSA pobiera w 3 do 4 minut energię rzędu 200 kW, a w zajezdni autobusowej ładowanie trwa około 30 minut w przy poborze mocy ok. 50 kVA.



Rys. 6. System ACS (Automatic Roof-Top Connection System) zamontowany na dachu autobusu Volvo[2, 5]



Rys. 7. Tryby pracy autobusu hybrydowego Volvo z systemem szybkiego ładowania prądem stałym na przystankach autobusowych[2, 5]

Do projektu Volvo, ładowanie jest wymagane co 7 km w przypadku autobusu hybrydowego i co 15 km dla autobusu elektrycznego. Wymagania energetyczne są niższe dla autobusów hybrydowych i wynoszą 150 kW, natomiast dla autobusów elektrycznych 300 kW. Czas ładowania wynosi od 2 do 6 min w ciągu dnia, w zależności od konfiguracji magistrali Volvo dostępnej w punktach końcowych trasy.

Nocne ładowanie autobusu Volvo (tzw. uzupełniające ładowanie baterii) zajmie około od 2 do 4 godzin, w zależności od konfiguracji szybkiej ładowarki. Dzięki temu na zajezdni autobusowej będzie można stosować szybkie ładowarki o niższych mocach.

Standaryzacja automatycznego szybkiego ładowania prądem stałym jest kluczowym elementem projektu Volvo. Poszczególne obszary, które zostaną zbadane to protokół komunikacyjny pomiędzy infrastrukturą rozwiązania ładowania na przystanku i interfejsem elektrycznym e-bus i specyfikacją ACS, który znajduje się na dachu autobusu i automatycznie łączy się z szybką ładowarką na wybranych przystankach ładowania.

Standard ładowania elektrycznego autobusu wg ABB będzie w dużej mierze opierał się na przyjętej niedawno powszechnej normie szybkiego ładowania dla samochodów osobowych. Ich szybka ładowarka wykorzystuje protokół z CCS (Combined Charging Standard) (EN61851-23).

Standardowy protokół Volvo i grupy ABB przedstawia optymalne dopasowanie do ładowarki e-bus standardzie CCS, który jest również respektowany przez organizację SAE. Innym elementem systemu jest czterobiegowy pantograf i standard komunikacji bezprzewodowej. Wysiłki normalizacyjne dla systemu ładowania e-bus zostaną zatwierdzone poprzez Międzynarodową Komisję Elektrotechniczną IEC (International Electrotechnical Commission) i Międzynarodowe Stowarzyszenie Transportu Publicznego UITP (International Association of Public Transport), a w późniejszym czasie inne organizacje jak SAE (Society of Automotive Engineers) [2, 5].

**Podsumowanie.** Zadaniem transportu miejskiego jest zapewnienie wygodnych warunków przemieszczania się w mieście. Rozwój komunikacji publicznej to stała troska o pasażerów starszych, niepełnosprawnych oraz wszystkich tych, którzy mają trudności w przemieszczaniu się. Proekologicznym zadaniem transportu jest powstrzymanie nadmiernego rozwoju motoryzacji oraz zapobieganie jego negatywnym skutkom, takim jak wzrost zanieczyszczenia powietrza, wzrost poziomu hałasu i nadmierne zatłoczenie dróg [1, 3, 4].

Wybór przez przewoźnika środków transportu w postaci autobusów hybrydowych i elektrycznych wiąże się z właściwą decyzją dotyczącą systemu ładowania tychże autobusów. Jest to kwestia związana z analizą ograniczeń czasowych ładowania i topografii terenu trasy autobusów. W przypadku, gdy przewoźnik ma zapewnić przerwy nie dłuższe niż minutę na wszystkich przystankach, to system TOSA jest bardziej odpowiedni. Może on wystąpić w przypadku transportu między terminalami w portach lotniczych, ale także w centrach miast o dużym natężeniu ruchu o małych odległościach między przystankami autobusowymi. Bardziej ekonomiczne jest użycie systemu Volvo, gdy przewoźnik posiada duże odległości między przystankami np.: w wielu zabytkowych miastach byłoby nieopłacalne instalowanie dużej ilości stacji ładowania z powodu ingerencji w zabytki lub innych ograniczeń architektonicznych. Oba systemy mogą współistnieć w tym samym mieście na różnych trasach w zależności od potrzeb przewoźnika świadczącego usługi autobusowe [2, 5].

Wraz z rozwojem motoryzacji należy dynamicznie rozwijać system transportu publicznego, wprowadzając szereg nowinek i udogodnień. Bardzo ważną częścią rozwoju układu transportowego miasta jest także jego kształtowanie, by transport publiczny był uprzywilejowany względem pozostałych użytkowników ruchu i konkurował ze stale zwiększającą się liczbą samochodów poruszających się po mieście. Inwestycje w zapewnienie priorytetów dla komunikacji miejskiej przyczyniają się do wzrostu udziału podróży transportem publicznym i jednocześnie do spadku zatłoczenia dróg w mieście [1, 3, 4].

## LITERATURA

[1] Lew K., Wojewoda P.: Napęd hybrydowy w autobusach miejskich jako rozwiązanie konstrukcyjne zmniejszające negatywne oddziaływanie transportu miejskiego na środowisko. [w:] Lejda K. (red.): Systemy i środki transportu samochodowego – wybrane zagadnienia, Seria: Transport, Nr 5, Oficyna Wyd. Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2014, s. 183-190.

[2] Materiały informacyjne firmy Volvo Bus.

[3] Pyć M., Wojewoda P.: Analiza konstrukcyjna i funkcjonalna współczesnych autobusów w miejskim transporcie publicznym. [w:] Lejda K. (red.): Systemy i środki transportu samochodowego – wybrane zagadnienia, Seria: Transport, Nr 4, Oficyna Wyd. Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2013, s. 151-166.

- [4] Pyć M., Wojewoda P.: Analiza wybranych problemów ergonomii bezpieczeństwa w autobusach miejskich. Вісник Національного Транспортного Університету. No. 30, Kijów 2014, s. 296-306.
- [5] [www.sae.org](http://www.sae.org).

### STRESZCZENIE

PYĆ Marcin. Proekologiczne i energooszczędne systemy szybkiego ładowania prądem stałym autobusów elektrycznych i hybrydowych /PYĆ Marcin, WOJEWODA Paweł // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NUT, 2015. - № 32.

Artykuł przedstawia proekologiczne i energooszczędne systemy szybkiego ładowania prądem stałym autobusów elektrycznych i hybrydowych na przystankach autobusowych i w zajezdniach. Analizy rozwiązań dokonano na bazie systemu Flash Charging grupy ABB i systemu szybkiego ładowania ACS firmy Volvo. Ponadto przedstawiono efekty ekologiczne zastosowania tych systemów w miastach.

### РЕФЕРАТ

ПИЧЬ Марцін. Екологічні та енергоефективні системи постійного струму для швидкої зарядки електричних та гібридних автобусів / ПИЧЬ Марцін, ВОСВОДА Павел // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. - Вип. 2 (32).

У статті представлені екологічно чисті та енергозберігаючі системи постійного струму для швидкої зарядки електромобілів і гібридних автобусів на зупинках і складів. Аналіз системи був зроблений на основі ABB Flash Charging і швидкої система зарядки ACS Volvo. Крім того, оцінено екологічний ефект від використання цих систем в містах.

### ABSTRACT

PYC Marcin, WOJEWODA Pawel. Ecological and energy efficient dc fast-charging systems of electric and hybrid buses. Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. - Kyiv. National Transport University, 2015. - Issue 2 (32).

The article presents the environmentally friendly and energy-efficient DC fast charging systems of electric and hybrid buses at bus stops and depots. Analysis of the system was made on the basis of ABB Flash Charging and fast charging system ACS Volvo. In addition, the application presents the ecological effects of these systems in cities.

### AUTORZY:

PYĆ Marcin, Dr inż., Uczelnia Wyższa im. Edwarda Herzberga, ul. gen. Józefa Hallera 32, 86-300 Grudziądz, Polska

WOJEWODA Paweł, Dr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Al. Powstańców Warszawy 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Rzeszów, Polska

### АВТОРИ:

ПИЧЬ Марцін, доктор інженер, Університет ім. Едварда Герцберга, вул. Бут. Юзеф Галлер 32, 86-300 Грудзьондз, Польща

ВОСВОДА Павел, доктор інженер, Жешовська Політехніка, Кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Бульвар Повстанців Варшави 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Жешув, Польща

### AUTHORS:

PYC Marcin, PhD., University of Edward Herzberg, Józef Haller 32, 86-300 Grudziadz, Poland  
WOJEWODA Pawel, PhD., Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, Warsaw Insurgents Boulevard 12, tel.: +48 17 865 1100,35-959, Rzeszow, Poland

### РЕЦЕНЗЕНТИ:

ЛЕЙДА Казімеж, доктор технічних наук, професор, Жешовська Політехніка, завідувач кафедри двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Жешув, Польща.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний Транспортний Університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

### REVIEWERS:

LEJDA Kazimierz, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rzeszow Polytechnic, Head of Department of Internal Combustion Engines and Transport, Rzeszow, Poland.

Sakhno V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobile, Kyiv, Ukraine.