

ŁADOWANIE AUTOBUSÓW ELEKTRYCZNYCH A MIEJSKI SYSTEM ELEKTROENERGETYCZNY

Piotr BICZEL¹, Łukasz SOSNOWSKI²

1. Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych
e-mail: piotr.biczel@ee.pw.edu.pl
2. Innogy Stoen Operator /Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych, e-mail: lukasz.sosnowski@innogy.com

Streszczenie: W artykule omówione zostały zagadnienia związane z oddziaływaniem układów ładowania autobusów elektrycznych na warszawski system elektroenergetyczny jak również dokonano próby analizy zastosowania układów zasobników energii celem minimalizacji oddziaływania tych układów na sieć. Na bazie rzeczywistych pomiarów stacji ładowania autobusów jak również symulacji dokonana została próba oceny potencjalnych skutków wprowadzenia znacznej liczby stacji ładowania autobusów na miejski system energetyczny. Dodatkowo, z uwagi na ograniczenia przestrzenne i techniczne, autorzy dokonali próby oceny zasadności implementacji magazynów energii w stacjach SN/nN zasilających układy ładowania.

Słowa kluczowe: Elektromobilność, stacja ładowania, autobusy elektryczne; ładowanie autobusów elektrycznych.

1. WSTĘP

Wraz ze wzrostem zainteresowania społeczeństwa jakością powietrza istotne stają się wszelkie metody redukcji zanieczyszczeń w każdej gałęzi gospodarki, a szczególnie w dziedzinie transportu. Problem zanieczyszczenia powietrza przez transport zbiorowy został zauważony przez Komisję Europejską, która w 2014 roku wydała dyrektywę w sprawie wytycznych dotyczących rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych [1]. Nakazuje ona krajom członkowskim ustanowienie odpowiednich aktów prawnych zwanych krajowymi ramami polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych. Dążąc do wypełnienia tego obowiązku Rada Ministrów w Polsce przyjęła w dniu 29 marca 2017 r. Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych [2], które wprowadzają główne filary niezbędne do funkcjonowania transportu opartego na energii elektrycznej, gazie ziemnym i wodorze. Dodatkowo, w ustawie z dnia 11 stycznia 2018 roku o elektromobilności i paliwach alternatywnych [3] (zwanej dalej Ustawą) dokonano kompleksowego wdrożenia regulacji w zakresie zasilania paliwami alternatywnymi w zakresie zarówno pojazdów prywatnych jak i transportu zbiorowego.

Zgodnie z art.36 ust.1 Ustawy, każde miasto, zamieszkiwane przez co najmniej 50 tysięcy osób, musi posiadać w swej flocie transportu zbiorowego minimum 30% autobusów zeroemisyjnych. Jest to bardzo ambitny cel, który stanowi wyzwanie zarówno dla organizatorów transportu zbiorowego jak również dla operatorów

infrastruktury zasilającej układy ładowania tych pojazdów (w tym OSD) [4].

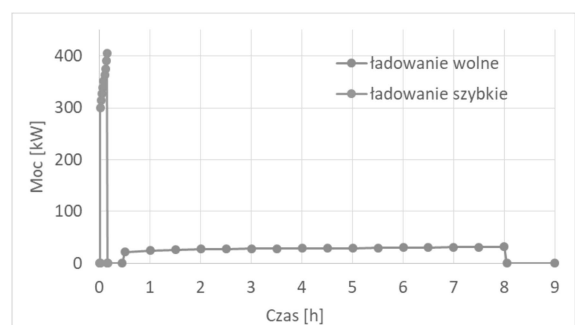
Aby dokonać analizy, założono udział w realizacji ww. obowiązku w stolicy wyłącznie przez Miejskie Zakłady Autobusowe (MZA). Jest to jedna z dużych firm świadczących usługi transportu zbiorowego na zlecenie miasta stołecznego Warszawy który posiada w swojej flocie ponad 1300 autobusów [6]. Odnosząc te dane do wymogu zapisanego w art. 36 ust.1 Ustawy [3], w Warszawie liczba autobusów zasilanych paliwami alternatywnymi powinna wynosić minimum 408

2. E-BUS JAKO NIETYPOWY ODBIÓR ELEKTRYCZNY

Zapotrzebowanie stacji ładowania, zlokalizowanych wzdłuż trasy przejazdu autobusów, na moc i energię jest ściśle powiązane z:

- częstością kursowania pojazdów,
- rodzajem i wielkością baterii w autobusach,
- mocą ładowarki.

Obecnie, wśród operatorów transportu zbiorowego najbardziej popularne jest ładowanie statyczne. Jest to związane m.in. z typem baterii zainstalowanych w pojazdach i profilem ich ładowania (rys.1) Taki sposób ładowania determinuje, aby pojazd był nieruchomy przez pewien okres czasu. Czas takiego ładowania możemy podzielić na trzy fazy: czas niezbędny na podłączenie autobusu do ładowarki, czas związany z procesem ładowania, czas rozłączania autobusu od ładowarki.



Rys. 1. Przykładowy profil ładowania baterii LTO i NMC autobusu [5]

Czas ładowania dłuższy niż przeciętny czas postoju autobusu na przystanku jest wadą ładowania statycznego. Chcąc zminimalizować ilość czasu niezbędnego do ładowania na przystankach dąży się do zwiększenia mocy ładowania, co podraża przede wszystkim koszt infrastruktury ładowania jak i przyłączenia obiektu do sieci OSD. Problemem po stronie operatora systemu dystrybucyjnego może być dostarczenie odpowiedniej porcji energii w krótkim czasie.

Przyjmując moc typowej ładowarki do ładowania autobusu jako 400 kW oraz czas jednego ładowania wynoszący średnio 7 minut (przeciętny czas postoju na przystanku końcowym w Warszawie), można wyznaczyć średnią moc ładowania (1) i liczbę ładowań (2), jak również stopień wykorzystania mocy transformatora stacji SN/nN zasilającej ładowarkę (3). Dla prowadzenia analizy przyjęto, że dla układu ładowania 400 kW odpowiedni będzie transformator SN/nN o mocy 400 kVA.

$$P_n = \frac{E_n}{\Delta T} \quad (1)$$

gdzie:

P_n — moc średnia w n -tej godzinie [h],
 E_n — energia w n -tej godzinie [kWh],
 ΔT — okres uśredniania, tu 1 godzina

$$N = \left(\frac{P_n}{P_{lad}} * \frac{60}{T_{lad}} \right) \quad (2)$$

gdzie:

N — liczba ładowań w n -tej godzinie,
 P_{lad} — moc ładowarki,
 T_{lad} — czas jednego ładowania,

$$k = \frac{P_n}{P_{tr}} * 100\% \quad (3)$$

gdzie:

k — stopień wykorzystania mocy transformatora [%]
 P_{tr} — moc transformatora

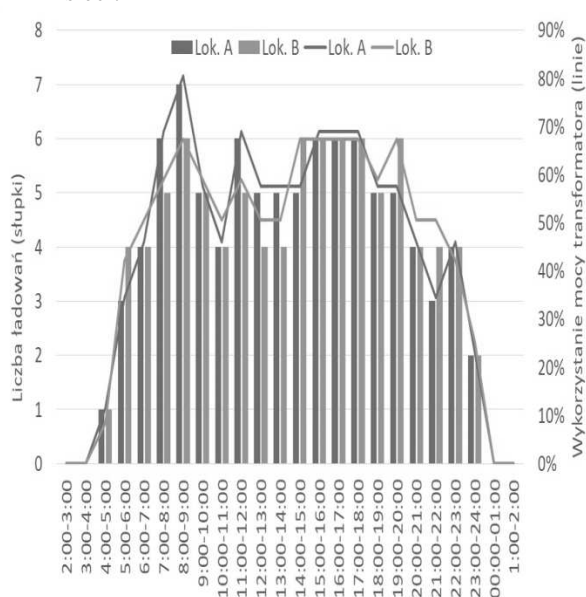
Na rysunku 2 przedstawione zostały wartości dla badanej stacji ładowania autobusów, przyłączonej do miejskiej stacji transformatorowej SN/nN. Warto zauważyć, że obciążenie stacji ładowania będzie silnie zależne od przyjętych przez organizatora transportu rozkładów jazdy poszczególnych autobusów. Na bazie danych dotyczących szacowanych rozkładów godzinowych poboru energii dla 2 ładowarek (lok A i lok B) dokonano analizy wykorzystania transformatorów SN/nN w stacjach transformatorowych OSD z których takie układy będą zasilane. Średniodobowe zapotrzebowanie na energię dla badanej stacji ładowania wynosi ~5000 kWh. Analizowany dobowy profil mocy wykazuje dwa szczyty, poranny i popołudniowy, który jest zgodny ze wzrostem pracy przewozowej przez przewoźników. Należy się spodziewać, że w dni wolne pracy zarówno zapotrzebowanie jak i częstość ładowań będzie odmienny. Roczny profil obciążenia będzie miał przebieg inny niż typowy profil dla odbiorców przemysłowych czy też indywidualnych

3. WPLYW ŁADOWARKI AUTOBUSOWEJ NA SIEĆ OSD

Wpływ ładowarki autobusowej na sieć elektroenergetyczna może mieć następujący charakter:

- wynikać z pracy samej ładowarki,

- wynikać z częstości ładowania,
- wynikać ze stosunku mocy ładowarki do mocy sieci.



Rys. 2. Rozkład liczby ładowań i wykorzystania transformatorów SN/nN

W pierwszym wypadku oddziaływanie ma przede wszystkim charakter zakłóceń elektromagnetycznych wynikających głównie z poboru prądu odkształconego lub poboru mocy bierniej. Możliwe są również zakłócenia związane z nieprawidłowościami procesu ładowania, takimi jak tętnienia na styku pantograf - ładowarka. W drugim wypadku częstość i długość czasu ładowania może powodować zmiany napięcia, skutkujące pojawieniem się efektu migotania światła. W trzecim przypadku, może się pojawić obniżenie napięcia w trakcie ładowania, wynikające z długich linii zasilających innych odbiorców przyłączonych do tej samej stacji.

Ładowarki autobusowe mogą generować zaburzenia wysokiej częstotliwości, jak każde urządzenie, którego istotą działania jest impulsowe przetwarzanie mocy. Zakłócenia te mogą oddziaływać na inne odbiory zlokalizowane w pobliżu. Odkształcenia prądu to najczęściej zakłócenia elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości od 50 Hz do 2 kHz. Zgodnie z wytycznymi w zakresie przyłączania obiektów do sieci OSD urządzenia nie mogą pobierać prądu silnie odkształconego i wprowadzać zakłóceń do sieci. Na bazie pomiarów jakości energii przeprowadzonych w okresie 7 dni dla badanego obiektu, tj stacji ładowania autobusów, przyłączonego do miejskiej stacji transformatorowej SN/nN całkowity, zmierzony współczynnik zniekształcenia prądu THD_i wynosił. ~4,5%. Wbrew oczekiwaniom wartość ta jest bardzo mała. Współczynnik ten pozostawał w trakcie badań praktycznie bez zmian w szerokim zakresie mocy ładowarki. Zmierzone odkształcenie napięcia wynosiło ok. 1,5% i nie można było stwierdzić, czy wartość ta wynikała z poboru odkształconego prądu, czy też jest to odkształcenie wynikające z pracy sieci.

4. ZASTOSOWANIE ZASOBNIKÓW CELEM MINIMALIZACJI WPLYWU ŁADOWAREK NA SIEĆ

Z uwagi na fakt, że ładowanie pojazdów ma charakter obciążenia impulsowych, należy założyć, że w skrajnych

wypadkach, zależnie od częstości ładowania, odbiór jakim dla OSD jest ładowarka, może mieć charakter bądź prawie stały (pojazd za pojazdem), bądź wybitnie impulsowy (ładowanie okazjonalne, np. co 2 godziny). W wariancie gdy obciążenie biedzie miało charakter impulsowy moc średnia obiektu będzie znacząco niższa, niż maksymalna. W miejscach, gdzie taka sytuacja będzie miała miejsce regularnie, z punktu widzenia Operatora może pojawić się problem zapadów napięcia jak również obniżenia napięcia. Aby zminimalizować skutki oddziaływania efektu ładowania autobusów, może być zasadna budowa stacji SN/nN wyposażonych w zasobnik energii. Analizując proces ładowania autobusów elektrycznych, należałoby zastosować zasobnik o stosunkowo dużych mocach i średniej pojemności, wykonujący w ciągu doby dużą liczbę cykli.

W sytuacji, gdy liczba ładowań znacząco zmienia się w ciągu dnia, a nocą ich nie ma, zasadne wydaje się rozważenie dobowej kompensacji przepływów do wartości mocy średniej lub do założonego współczynnika szczytu mocy stacji transformatorowej. Zasada działania zasobnika powinna w tym przypadku polegać na przeniesieniu szczytów dziennych obciążenia w porę nocną.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Włączenie do sieci energetycznej układów ładowania pojazdów oraz zapewnienie ciągłości dostaw odbiorcom narzuca operatorom systemów dystrybucyjnych konieczność rekonfiguracji sieci energetycznej. Podejmowanie właściwych decyzji przełączeniowych wymaga zastosowania technologii Smart Grid, w tym gromadzenia przesyłanych zdalnie danych oraz ich analizy z zastosowaniem elementów sztucznej inteligencji. Automatyzacja oraz nieustanny monitoring urządzeń w głębi sieci SN i nn są podstawowymi elementami inteligentnych sieci dystrybucyjnych [7], dlatego w chwili obecnej realizowane są liczne projekty związane z systemami zdalnego nadzoru nad elementami sieci w zakresie telesygnalizacji, telepomiarów i telesterowania. Obserwowalność sieci przez OSD umożliwi sprawne zarządzanie przepływami w sieci oraz pozwoli na takie zarządzanie mocą aby w sposób opłacalny i efektywny technicznie przyłączać stacje ładowania autobusów do sieci

Wzrost ilości elementów monitorowanych w sieci przełoży się na sprawne przyłączanie stacji ładowania autobusów w oczekiwanych przez operatorów miejscach

sieci jak również wpłynie na szybkość identyfikowania i izolowania elementów uszkodzonych, wynikiem czego następować będzie zmniejszenie współczynnika SAIDI. Szczególnie w sieciach o charakterze trenowym ten wskaźnik powinien ulec znacznemu obniżeniu. Oczekuje się jednak, że omawiany wzrost obserwowalności elementów sieci przy wykorzystaniu odpowiednich algorytmów wspierających systemy SCADA pozwoli na zminimalizowanie liczby i czasu przełączeń do wartości akceptowalnych przez odbiorcę końcowego.

Wprowadzenie pełnego monitoringu przepływów, bilansów lokalnych, parametrów stacji i stworzeniem możliwości kształtowania popytu (mechanizmy DSM, DSR) umożliwi większą kontrolę i integrację generacji energii ze źródeł rozproszonych, w tym źródeł odnawialnych, magazynów energii a także układów ładowania pojazdów elektrycznych.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Dyrektywa Parlamentu europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych
2. Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych – www.gov.pl/energia (stan na 14.01.2019)
3. Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2018 poz. 317).
4. Kłos M., Zagrajek K., Biczek P., Sosnowski Ł.: Problematyka przyłączania do sieci dystrybucyjnej stacji ładowania autobusów elektrycznych; Przegląd Elektrotechniczny 01/2019; Warszawa 2019
5. Biczek P., Brodzicki M., Sosnowski Ł.: Obciążenie rozdzielczej sieci elektroenergetycznej ładowarkami autobusów. X Jubileuszowa konferencja naukowo-techniczna Innowacyjne Materiały i Technologie w Elektrotechnice i-MITEL 2018 „Innowacje szansą rozwoju gospodarki”, Oddział Gorzowski SEP. Sulęcín, Polska, 18-20.04.2018 r
6. Doświadczenia eksploatacyjne taboru niskoemisyjnego w Miejskich Zakładach Autobusowych w Warszawie [online], http://wde.warszawa.pl/wp-content/uploads/2019/04/Prezentacja_elektromobilno%C5%9B%C4%87-Vo.pdf [dostęp: 27.04.2019]
7. J. Paska: Niezawodność systemów elektroenergetycznych. OW Politechniki Warszawskiej 2005

CHARGING ELECTRIC BUSES AND THE DISTRIBUTION POWER SYSTEM

This paper presents issues related to the impact of electric bus charging systems on the distribution power system as well as the analysis of the use of energy storage systems to minimize the impact of these systems on the network. On the basis of real measurements of bus charging stations as well as simulations, an attempt was made to assess the potential effects of introducing a significant number of bus charging stations for the distribution power system. Additionally, due to spatial and technical limitations, the authors will analyze the reasonableness of the implementation of energy storage in MV/LV stations.

Keywords: electromobility, EV charging station, electric buses, charging of electric buses.