Możliwości zastosowania zasobnikowych jednostek trakcyjnych na liniach kolejowych na przykładzie Pomorskiej Kolei Metropolitalnej

Natalia KARKOSIŃSKA-BRZOZOWSKA[1]

Streszczenie
W artykule zwrócono uwagę, że zasobniki stosowane głównie do rekuperacji energii, mogą być również wykorzystane do zasilania pociągów na niezelektryfikowanych i zelektryfikowanych odcinkach linii kolejowych. Innowacyjność tego rozwiązania wykazano na podstawie dwóch aplikacji kolejowych elektrycznych zasobnikowych jednostek trakcyjnych: pierwszej funkcjonującej od 2014 roku na linii Utsunomiya – Karasuyama w Japonii oraz drugiej, testowanej w Wielkiej Brytanii o nazwie IPEMU (ang. *Independently Powered Electric Multiple-Unit*). Przedstawiono przykłady nowoczesnych zasobników energii oraz funkcjonujących elektrycznych zasobnikowych jednostek trakcyjnych. Wykazano celowość analizy możliwości ich zastosowania na linii Pomorskiej Kolei Metropolitalnej. Przedstawiono wyniki studium, w którym stwierdzono, że rozwiązanie to może być alternatywą dla napowietrznej sieci trakcyjnej. Przy doborze zasobnika energii wskazano parametry superkondensatorów, które mogą stanowić barierę w ich zastosowaniu oraz porównano je do parametrów nowoczesnych akumulatorów elektrochemicznych. Otrzymane wyniki oraz szybko rozwijająca się technologia magazynowania energii wskazują na potrzebę wykonania dalszych badań w celu znalezienia najbardziej efektywnych rozwiązań, zwłaszcza że wciąż testowane są nowe zasobniki energii. Wydaje się, że dalsze badania nad doborem rodzaju zasobników oraz nad efektywnością ekonomiczną spowodują, że wykorzystanie elektrycznych autonomicznych jednostek trakcyjnych może stać się przyszłościową technologią dla krótkich odcinków linii kolejowych przewidzianych do elektryfikacji.

Słowa kluczowe: zasobniki pojazdowe, zasobnikowa jednostka trakcyjna, jazda autonomiczna, Pomorska Kolej Metropolitalna

1. Wprowadzenie

Akumulatorowe zespoły trakcyjne funkcjonowały już na początku XX wieku. Przyczyną braku rozwoju tych rozwiązań była duża masa oraz długi czas ładowania ówczesnych zasobników energii [9]. Postęp technologiczny w zakresie magazynowania energii oraz poszukiwanie rozwiązań zwiększających efektywność energetyczną transportu szynowego spowodowały, że obecnie rozwijają się różne technologie prowadzenia pojazdów przy wykorzystaniu innowacyjnych zasobników energii, takich jak superkondensatory, akumulatory elektrochemiczne nowych generacji oraz zasobniki kinetyczne [3, 7, 10]. Poza wykorzystywaniem zasobników pojazdowych do rekuperacji energii, stosuje się je do autonomicznej jazdy pojazdów na krótkich odcinkach. Rozwiązania takie stosuje się głównie w tramwajach i trolejbusach, w których pojazd zasilany energią z zasobnika może przejechać na odcinku niezelektryfikowanym do kilkunastu kilometrów [2]. Zasobniki pojazdowe są stosowane na kolei do odzyskiwania energii hamowania, jednak rzadko są wykorzystywane do jazdy autonomicznej. Pierwsze takie rozwiązanie jest stosowane na linii Utsunomiya – Karasuyama w Japonii od 2014 roku, natomiast drugie o nazwie IPEMU (ang. *Independently Powered Electric Multiple-Unit*) było testowane w 2015 roku w Wielkiej Brytanii.

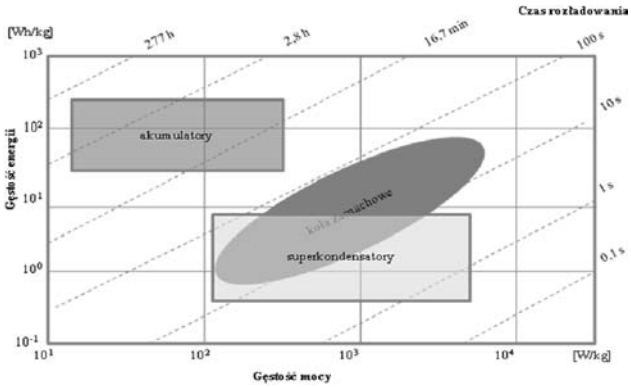
2. Nowoczesne zasobniki energii

W transporcie szynowym głównie wykorzystuje się trzy rodzaje zasobników energii: akumulatory elektrochemiczne, superkondensatory oraz zasobniki kinetyczne, czyli tzw. koła zamachowe. Na rysunku 1 przedstawiono główne różnice w cechach tych zasobników. Baterie elektrochemiczne charakteryzują się

[1] Mgr inż.; Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Transportu Szynowego i Mostów, e-mail: natalia.brzozowska@pg.gda.pl.

dużą gęstością energii, czyli mają dużą zdolność magazynowania energii, co ma wpływ na maksymalny zasięg pojazdu pomiędzy ładowaniami. Natomiast superkondensatory cechują małe wartości gęstości energii, ale większą niż w przypadku akumulatorów gęstość mocy, która odpowiada za możliwość poboru dużych energii w krótkim czasie, a zatem naładowanie i rozładowywanie dużymi prądami, czyli uzyskanie szybkiej wymiany ładunku. Koła zamachowe mają parametry zbliżone do superkondensatorów, ale mogą cechować się większymi gęstościami energii [3, 7, 9].

Znajomość cech zasobników umożliwia ich odpowiednie dobranie w zależności od potrzeb. Istnieje możliwość wykorzystania zasobników hybrydowych, składających się z dwóch rodzajów zasobników, które będą miały zalety obu z nich. Dzięki temu można osiągnąć szybką wymianę energii oraz duży zasięg pojazdu. Przykładowo, połączenie zasobnika akumulatorowego z superkondensatorowym pozwala uzyskać lepszą efektywność w stanach przejściowych napędu oraz zwiększyć żywotność akumulatorów. Można bowiem uniknąć nagłego rozładowania akumulatora podczas przyspieszania lub szybkiego ładowania podczas odzyskowego hamowania pojazdu. Dodatkowo, superkondensatory dzięki wysokiej gęstości mocy zapewniają dużą siłę hamowania i przyspieszania [6, 11, 13].



Rys. 1. Porównanie podstawowych cech zasobników stosowanych w transporcie; opracowanie własne na podstawie [12]

3. Aplikacje kolejowe elektrycznych zasobnikowych jednostek trakcyjnych

Pierwszym przykładem aplikacji kolejowej elektrycznych zasobnikowych jednostek trakcyjnych jest funkcjonująca w Japonii linia Utsunomiya – Karasuyama. Niezelektryfikowany odcinek o długości 20 km (Hōshakuji – Karasuyama) jest dobudowany do zelektryfikowanej linii Utsunomiya. Pociąg bezpośredni przejeżdża całą trasę o długości 30 km w 52 minuty, z czego 36 minut zajmuje przejazd odcinkiem niezelektryfikowanym. Elektryczne zasobnikowe jednostki trakcyjne jeżdżą tam od 2014 r. Elektryczny zespół trakcyjny serii EV-E301, który składa się z dwóch wagonów napędzanych dwoma silnikami o mocy 95 kW każdy, zasilany jest bateriami litowo-jonowymi o napięciu 600 V i pojemności 95 kAh. Wcześniej funkcjonowały tam jednostki hybrydowe. Na odcinku zelektryfikowanym od stacji Utsunomiya do stacji Hoshakuji pociąg jest zasilany z trakcji i jednocześnie ładuje akumulatory, dzięki czemu może przejechać odcinek niezelektryfikowany od stacji Hoshakuji do stacji Karasuyama. Ostatnia stacja jest wyposażona w sieć trakcyjną potrzebną do naładowania akumulatorów, aby pociąg mógł wrócić do stacji Hoshakuji [5].

W Wielkiej Brytanii przeprowadzono próby pojazdu IPEMU (*Independently Powered Electric Multiple-Unit*). Od 13 stycznia 2015 roku w dni powszednie trwały sześciotygodniowe jazdy z pasażerami pomiędzy stacjami Harwich International i Manningtree w hrabstwie Essex. Elektryczny Zespół Trakcyjny Electrostar 379 firmy Bombardier wyposażono w dodatkowe baterie fosforanowo-litowo-magnezowe. Testy miały potwierdzić możliwość zastosowania napędu w regularnym ruchu pasażerskim oraz sprawdzić, czy wprowadzenie akumulatorowych Elektrycznych Zespołów Trakcyjnych będzie bardziej efektywne ekonomicznie od elektryfikacji krótkich odcinków linii dotychczas pozbawionych sieci trakcyjnej [1].

4. Możliwości zastosowania elektrycznych zasobnikowych jednostek trakcyjnych

Na przykładzie analizy opisanych przykładów, określono warunki zastosowania zasobnikowych jednostek trakcyjnych. Takie rozwiązanie jest odpowiednie dla eksploatowanych trakcją spalinową odcinków linii niezelektryfikowanych oraz linii planowanych, które będą przedłużeniem linii zelektryfikowanych lub połączą się z nimi. Może to być korzystne zwłaszcza na odcinkach, których elektryfikacja jest kosztowna (np. na mostach i w tunelach). W porównaniu do pojazdów spalinowych, elektryczne zasobnikowe jednostki trakcyjne mają możliwość odzyskiwania energii z hamowania, są cichsze w eksploatacji oraz nie powodują lokalnego zanieczyszczenia powietrza. Ich zastosowanie umożliwia również wykorzystywanie istniejącej sieci trakcyjnej na trasach, na których występują zarówno odcinki zelektryfikowane oraz niezelektryfikowane (w przypadku pojazdów spalinowych, pociąg jest zasilany z silników spalinowych również gdy jedzie pod siecią trakcyjną). Rozwiązanie to eliminuje napowietrzną sieć trakcyjną, dzięki czemu mogą być zachowane estetyczne i krajobrazowe walory terenu. W niektórych przypadkach może okazać się tańsze i wygodniejsze w utrzymaniu [8].

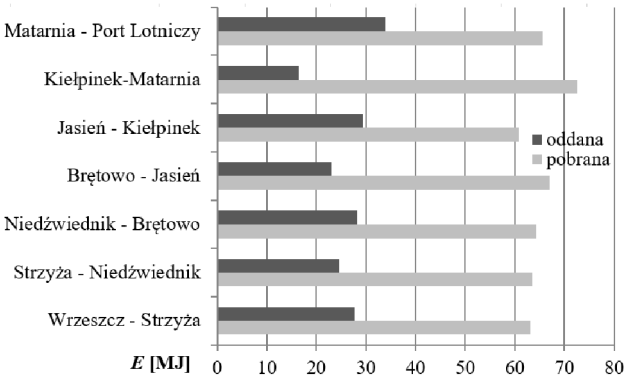
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Większość z wymienionych cech, odpowiednich do zastosowania elektrycznych zasobnikowych jednostek trakcyjnych, ma eksploatowana od 1 września 2015 roku linia Pomorskiej Kolei Metropolitalnej o długości 17 km, przeznaczona wyłącznie do ruchu pasażerskiego. Początek linii jest w miejscu odgałęzienia od zelektryfikowanej linii nr 202 pomiędzy przystankami Gdańsk Wrzeszcz a Gdańsk Zaspa, natomiast koniec linii jest za przystankiem Gdańsk Rębiechowo, gdzie linia PKM włącza się w linię nr 201 Kościerzyna – Gdynia. Linia Pomorskiej Kolei Metropolitalnej charakteryzuje się występowaniem dużych pochyleń podłużnych, małych promieni łuków poziomych oraz występowaniem licznych obiektów inżynieryjnych (17 wiaduktów). Większa część trasy znajduje się na nasypach, na co miały wpływ warunki terenowe. Na linii kursują pojazdy spalinowe, które w zależności od rozkładu jazdy pokonują trasę również po zelektryfikowanej linii nr 202 (od Gdańska Głównego do Gdańska Wrzeszcza). W planach jest elektryfikacja linii nr 248 (PKM), jak również linii nr 201. W związku z tymi warunkami uznano, że linia PKM jest odpowiednim przykładem do przeprowadzenia studium zastosowania elektrycznych zasobnikowych jednostek trakcyjnych.

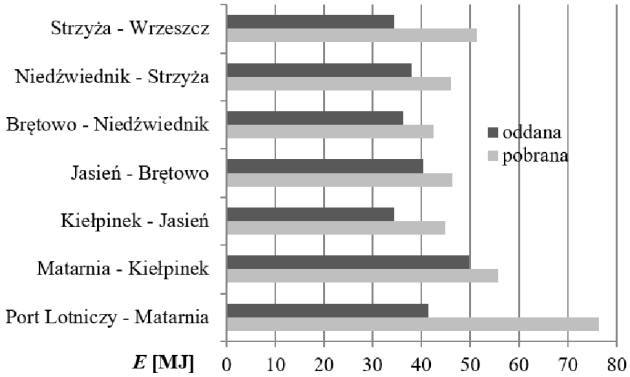
5. Studium zastosowania elektrycznych zasobnikowych jednostek trakcyjnych na linii PKM

Do przeprowadzenia studium dobrano seryjnie produkowane elektryczne zespoły trakcyjne o parametrach zbliżonych do funkcjonujących na linii PKM spalinowych zespołów trakcyjnych. W analizie przyjęto, że zostanie zelektryfikowana linia nr 201 oraz fragment linii nr 248 od stacji technicznej, która znajduje się pomiędzy przystankiem Gdańsk Port Lotniczy i Gdańsk Rębiechowo do włączenia w linię nr 201. W zaprojektowanym modelu symulacyjnym dla odcinka Gdańsk Wrzeszcz – Gdańsk Port Lotniczy przeprowadzono przejazd teoretyczny [4].

W celu dobrania zasobnika, na podstawie uzyskanych wyników wykonano bilans energetyczny przedstawiony na rysunkach 2 i 3. Z bilansu wynika, że na odcinku Port Lotniczy – Wrzeszcz pobierane jest mniej energii i oddawane więcej niż w przeciwnym kierunku. Zauważyć można również, że przy jeździe w kierunku Wrzeszcza oddawana energia stanowi ponad połowę energii pobieranej, a w przeciwnym kierunku energia oddawana jest o ponad połowę mniejsza od energii pobieranej. Zależności te wynikają z profilu trasy i mają wpływ na sposób doboru zasobnika energii. Dobierając zasobnik energii zwrócono szczególnie uwagę na wymagania energetyczne na odcinku Wrzeszcz – Port Lotniczy, jak również na wartość energii, którą można odzyskać przy hamowaniu rekuperacyjnym i która jest większa w kierunku Port Lotniczy – Wrzeszcz. Suma energii pobranej wynosi około 460 MJ na odcinku Wrzeszcz – Port Lotniczy oraz około 360 MJ w przeciwnym kierunku. Natomiast energia możliwa do odzyskania wynosi około 180 MJ na odcinku Wrzeszcz – Port Lotniczy oraz około 270 MJ w przeciwnym kierunku.



Rys. 2. Bilans energetyczny dla odcinka Wrzeszcz – Port Lotniczy [opracowanie własne]



Rys. 3. Bilans energetyczny dla odcinka Port Lotniczy – Wrzeszcz [opracowanie własne]

Dobierając zasobniki, uwzględniono potrzeby nietrakcyjne, sprawność przetwarzania energii oraz założono, że energia akumulatorów powinna stanowić połowę pojemności znamionowej. Na podstawie obliczeń i założeń zaproponowano zastosowanie zasobników hybrydowych składających się z baterii fosforanowo-litowo-magnezowych oraz superkondensatorów. Łączna masa całego zasobnika hybrydowego wyniesie około 8 ton, z czego 5 ton to zasobnik superkondensatorowy.

Na podstawie funkcjonującego rozkładu jazdy stworzono warianty tras wraz z czasem jazdy oraz ładowania na postojach. Założono, że pojazd jadący lub stojący na odcinku zelektryfikowanym, będzie zasilany z trakcji elektrycznej z równoczesnym doładowa-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

niem zasobników. Przy założonych wariantach odcinek niezelektryfikowany jest pokonywany przy zasilaniu energią zgromadzoną w zasobniku, jak również odzyskiwana jest energia hamowania. Trzy warianty tras (A, B i C) przedstawiono na rysunku 4.

W wariancie **A** stacją początkową i końcową jest Gdańsk Główny, na której przyjęto postój trwający 25 minut. W trakcie postoju zasobniki energii pojazdu zostają naładowane przynajmniej do 50%. Wyruszając ze stacji Wrzeszcz pociągi mają opuszczone pantografy i do przystanku Port Lotniczy poruszają się przy zasilaniu z zasobników. Pantografy zostają podniesione bez zatrzymywania w obszarze stacji technicznej. Dalsza jazda w kierunku Gdyni odbywa się przy zasilaniu z sieci trakcyjnej, w trakcie której w ciągu 25 minut są ładowane zasobniki pojazdu. Trwający 15 minut postój na stacji Gdynia pozwala doładować zasobniki do 75% pojemności. Podczas jazdy w kierunku powrotnym pod trakcją, zasobniki zostaną naładowane do 100%.W tym wariancie, w drodze powrotnej, około 50% pojemności zasobników powinna umożliwić jazdę na trasie o długości 15 km od stacji technicznej do stacji Gdańsk Wrzeszcz.

Wariant **B,** skrócony w stosunku do wariantu **A**, obejmuje trasę pomiędzy przystankami Gdańsk Wrzeszcz i Gdańsk Osowa, po czym następuje 30 minutowy postój i naładowanie zasobników. Końcowym przystankiem pociągów jest Gdańsk Wrzeszcz, na którym przyjęto postój 30 minut. W trakcie postoju zasobniki pojazdu zostają uzupełnione energią przynajmniej o 50%.

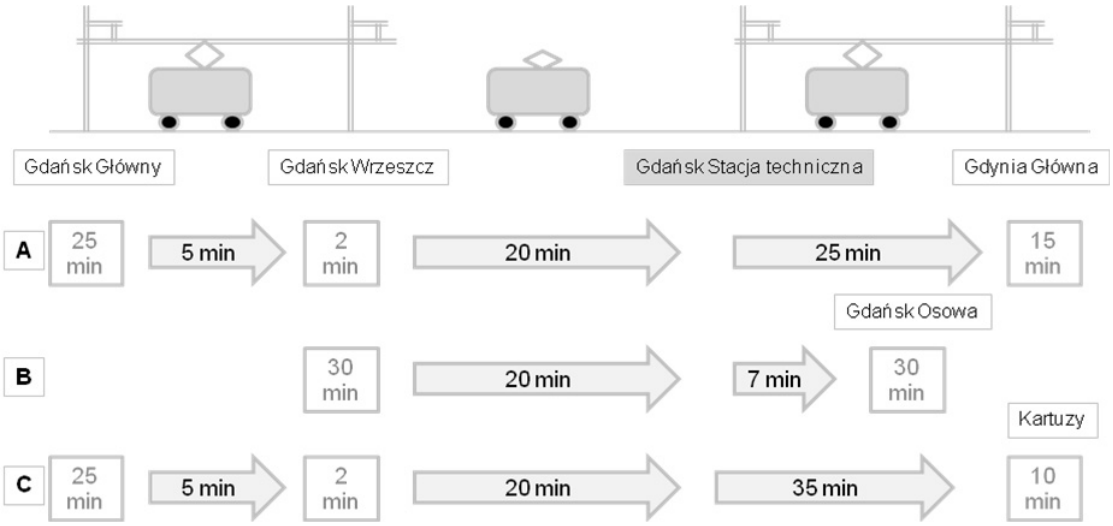
Wariant **C** jest najdłuższą z rozpatrywanych tras, od Gdańska Głównego do Kartuz: 25 minutowy postój w Gdańsku Głównym, jazda do Gdańska Wrzeszcza oraz 2 minutowy postój powinny umożliwić naładowanie zasobników z sieci trakcyjnej do około 50% pojemności. Dalszy przebieg trasy jest analogiczny jak wariancie **A**, z tym, że pociągi jadą do Kartuz zamiast do Gdyni.

6. Podsumowanie

Na przykładzie wykonanego studium można stwierdzić, że zastosowanie elektrycznych zasobnikowych jednostek trakcyjnych jest możliwe dla niezelektryfikowanych odcinków o długości 15–20 km w warunkach miejskich i na liniach o charakterze górskim. Trasa linii, która obejmuje odcinki zelektryfikowane pozwala na skrócenie postojów potrzebnych na ładowanie zasobników. Rozwiązanie to może być alternatywą zarówno dla pojazdów spalinowych, jak i dla elektryfikacji tych odcinków.

Trzeba jednak zwrócić uwagę, że oszacowana masa zasobników, wskazuje na znaczną różnicę na niekorzyść superkondensatorów w stosunku do akumulatorów. W związku z tym są potrzebne badania nad efektywnością, doborem zasobników dla każdego przypadku oraz analiza kosztów. Możliwe, że korzystniejsze będzie zmniejszenie liczby jednostek superkondensatorowych na rzecz baterii elektrochemicznych. Spowoduje to brak możliwości odzyskania całej energii z hamowania oraz potrzebę dłuższych postojów w celu doładowania zasobników.

Konieczne są dalsze badania w celu znalezienia najbardziej efektywnych rozwiązań. Jednym z zagadnień do przyszłych analiz są trudności w seryjnej produkcji pojazdów, które wynikają z doboru optymalnego zasobnika do każdego przypadku trasy. Dodatkowym zagadnieniem nie ujętym w analizie jest wpływ niskiej temperatury na zmniejszenie pojemności akumulatorów.



Rys. 4. Warianty tras z podanym czasem ładowania oraz jazdy [opracowanie własne]

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Niemniej jednak, zważając na ciągły rozwój technologii magazynowania energii oraz ciągłe poszukiwania najefektywniejszych rozwiązań, elektryczne zasobnikowe jednostki trakcyjne mogą się okazać przyszłościowym rozwiązaniem dla krótkich, niezelektryfikowanych odcinków linii kolejowych.

Literatura

1. Batteries included: Prototype battery-powered train carries passengers for first time, http://www.railmagazine.com/trains/new-trains/batteries-included.
2. Del Pizzo A., Fratelli L., Perna D., Nappo C.: A method for „design to range" energy storage systems in catenary free operations of light railway vehicles, Clean Electrical Power (ICCEP), 2015 International Conference.
3. Kadhim R.: Energy Storage Systems for Railway Applications -phase 1, Rail Safety and Standards Board 2009.
4. Karkosińska-Brzozowska N., Karwowski K.: Elektryczne autonomiczne jednostki trakcyjne na linii Pomorskiej Kolei Metropolitalnej? Technika Transportu Szynowego 12/2015.
5. Kono Y., Shiraki N.: Catenary and Storage Battery Hybrid System for Electric Railcar Series EV-E301, The 2014 International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014 ECCE-ASIA).
6. Krawczyk G.: Akumulacja energii w transporcie szynowym, Logistyka 3/2012.
7. L Okui A., Hase S., Shigeeda H. [i in.]: Application of Energy Storage System for Railway Transportation in Japan, The International Power Electronics Conference, 2010.
8. Pagenkopf J., Kaimer S.: Potentials of Alternative Propulsion Systems for Railway Vehicles – A Techno-Economic Evaluation, 2014 Ninth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER).
9. Pawełczyk M.: Rozwój systemów wykorzystujących akumulację energii w transporcie szynowym, Pojazdy Szynowe nr 2/2011.
10. Ratniyomchai T., Hillmansen S., Tricoli P.: Recent developments and applications of Energy storage devices in electrified railways, IET Electr. Syst. Transp., Vol. 4, Iss. 1, 2014.
11. Rufer A.: Energy Storage for Railway Systems, Energy Recovery and Vehicle Autonomy in Europe, The International Power Electronics Conference (IPEC), 2010.
12. Union Station to Georgetown. Alternatives Analysis for Premium Transit Service. Propulsion Study, September 2013.
13. Yadav V., Bhardwaj N.: Regenerative braking for an electric vehicle using hybrid energy storage system, International Journal of Electrical and Electronics Engineering Research (IJEEER) 2013, 35-42.

The Feasibility Study of Application of Energy Storage Devices on Railways on the Example of Pomeranian Metropolitan Railway

Summary

In this paper the feasibility of applying the energy storage devices for powering the train on unelectrified railway sections was analyzed. The innovativeness of this method was demonstrated on 2 examples of application: first on Utsunomiya – Karasuyama line in Japan operating since 2014 and second line tested in Great Britain named IPEMU (Independently Powered Electric Multiple-Unit).

This paper presents the examples of modern energy storage devices and functioning traction unit powered by those devices. It was proved that analyzing the application of energy storage devices on Pomeranian Metropolitan Railway is purposeful. By simulating the theoretical drive and analyzing its results it was concluded that this method can be an alternative for overhead catenary systems. In selecting the energy storage devices the parameters of supercapacitors where indicated, which can be an obstacle in application and they were compared to the parameters of modern electrochemical batteries.

The results and fast growing energy storage technology point to the need for further research to find the most effective solutions, especially when there are still new energy storage tested. It seems that further research on the selection of type of the energy storage device and the economic efficiency will allow autonomous electric traction units to become a future technology for short sections of railway lines planned for electrification.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Keywords: energy storage devices, battery electric multiple unit, autonomous drive, Pomeranian Metropolitan Railway

Возможности использования аккумуляторных подвижных единиц на железнодорожных линиях на примере Поморской митрополитской железной дороги

Резюме

В статье было обращено внимание, что кроме основной цели использования аккумуляторов, какой является рекуперация, их использование позваляет электроснабжать поезд на неэлектифицированных и электифицированных участках. Инновационность этого решения была продемонстрирована на основании двух аппликаций аккумуляторных железнодорожных тяговых подвижных единиц: одной эксплуатированной на линии Уцуномия – Карасуиама в Японии с 2014 и второй, тестированной в Великобритании под названием ИПЕМУ (анг. Independently Powered Electric Multiple-Unit). В статье представлены примеры современных аккумуляторов энергии и функционирующих тяговых аккумуляторов подвижных единиц. Была продемонстрирована целесообразность анализа возможности их использования на линии Поморской митрополитской железной дороги. Представлены результаты исследований, после анализа которых, было обнаружено, что это решение может являться альтернативой для типичной контактной сети. При подборе аккумулятора энергии были указаны параметры суперконденсаторов, которые могут являться барьером для их использования, а также были сравнены с параметрами современных электрохимических аккумуляторов. Полученные результаты, а также быстро развиваюшаяся технология хранения энергии указывают на необходимость проведения дальнейших исследований с целью находа найболее эффективных решений, особенно, что все время тестируются новые аккумуляторы энергии. Кажется, что дальнейшие исследования над подбором типа аккумуляторов и экономической эффективностью приведут к тому, что использование тяговых автономических подвижных единиц может стать перспективной технологией для коротких участков железнодорожных линий предназначеных для электрификации.

Ключевые слова: аккумуляторы энергии в подвижных единицах, аккумуляторная подвижная единица, автономическое движение, Поморская митрополитская железная дорога

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl