



Tyskie trolejbusy – elektromobilość od roku 1982

Tekst **ARTUR CYWIŃSKI, ZBIGNIEW BRUD**

Polska jest krajem, w którym trolejbusy w publicznym transporcie miejskim są wykorzystywane bardzo rzadko. Obecnie w prawie czterdziestomilionowym kraju sieć trakcji trolejbusowej mają jedynie trzy miasta: Tychy, Gdynia oraz Lublin. Co ciekawe, historia tego środka transportu publicznego rozpoczęła się w Polsce w roku... 1930.

Do roku 1999 trolejbusy jeździły w 12 miastach: Dębicy (1988-1993), Gdyni (od 1943), Legnicy (1943-1956), Lublinie (od 1953), Olsztynie (1939-1971), Poznaniu (1930-1970), Słupsku (1985-1999), Tychach (od 1982), Wałbrzychu (1944-1973), Warszawie (1946-1973) i Piasecznie (1983-1995) [1]. Niestety, wysokie koszty eksploatacji sieci trakcyjnej, brak nowoczesnego taboru oraz brak świadomości ekologicznej i odpowiedzialności za środowisko naturalne, w zderzeniu z tańszym i bardziej dostępnym transportem autobusowym, działającym w oparciu paliwa ropopochodne, doprowadziły do stopniowej likwidacji tego środka komunikacji miejskiej w większości

z tych miast, w których funkcjonował. Pozostały jeszcze trzy ośrodki, w których trolejbusy wyszły zwycięsko z walki o przetrwanie. Obecnie, ponieważ coraz głośniejszemu mówi się o konieczności zmniejszenia zanieczyszczenia i ograniczaniu emisji CO₂, a także dzięki wsparciu w ramach projektów współfinansowanych przez Unię Europejską, pojawia się szansa na dalszy rozwój trolejbusów.

Przykładem miasta, w którym losy sieci trolejbusowej i ekologicznego transportu publicznego są nierozdzielnie związane z najnowszą historią Polski oraz transformacją ustrojową rozpoczętą w roku 1989, są Tychy. Miasto szczególne, ponieważ wybudowane w zasadzie od początku jako miasto-satelita, miasto-sypialnia. ▶

▶ Streszczenie

Przedstawiony poniżej tekst opisuje historię powstania, rozbudowę oraz modernizację sieci trakcyjnej tyskich linii trolejbusowych. W artykule opisano też doświadczenia eksploatacyjne związane z wykorzystaniem trolejbusów wyposażonych w baterie trakcyjne, a także analizę możliwości ograniczenia strat sieciowych, poprzez ograniczenie udarów prądowych za pomocą buforowego zasilania baterijnego.

▶ **Słowa kluczowe:** trolejbus, transport zintegrowany, sieć trakcyjna

▶ Summary

Tychy trolleybuses – electric vehicle network since 1982

The paper presents the history, development and modernization of the trolley traction grid in Tychy as well as the operational experience with trolleybuses fitted with a battery pack and the analysis of possibility to minimize power losses in the transmission system using a buffer battery pack.

▶ **Keywords:** trolleybus, integrated public transport, traction grid



Trolejbus z zabudowanymi bateriami trakcyjnymi typu STH600 x84

Po lewej

Prezentacja nowych trolejbusów marki Solaris – listopad 2006 r. Pojazdy otrzymały imiona Tysia i Tyszek

Decyzja o tym, aby niewielką miejscowość zamienić w miejską sypialnię dla pracowników istniejących i nowo budowanych zakładów Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, zapadła na Prezydium Rządu 4 października 1950 roku. Dwanaście miesięcy później rozpoczęła się budowa pierwszego niewielkiego osiedla (utrzymanego w stylistyce socrealistycznej), a w 1952 roku rozstrzygnięto konkurs na projekt urbanistyczny nowego miasta, przeznaczonego dla stu tysięcy mieszkańców. Liczba mieszkańców rosła bardzo szybko – od niespełna 13 000 w roku 1950, poprzez 26 000 w roku 1955, do ok. 130 000 obecnie [2].

Mieszkańcy nowego miasta pochodzili zarówno z przepelnionych aglomeracji Górnego Śląska i Zagłębia, jak też z rolniczych rejonów Polski. Należy również dodać, że znaczną grupę nowych mieszkańców stanowili repatrianci z dawnych terenów wschodnich II RP i z ZSRR.

Z miasta-sypialni Tychy przekształciły się w aglomerację z nowoczesnym przemysłem samochodowym – fabryką Fiata produkującą jako jedyna na świecie kultowy model 500, fabryką General Motors oraz wieloma zakładami z branży motoryzacyjnej. Nie bez powodu Tychy nazywane są motoryzacyjną stolicą Polski. Miasto rozwijało się nie tylko poprzez budownictwo mieszkaniowe, przemysł czy też zaplecze socjalno-kulturalne. Równie ważnym obszarem rozwoju była infrastruktura, a także transport publiczny.

Historia tyskich trolejbusów rozpoczęła się w stanie wojennym i była wynikiem sankcji ekonomicznych świata zachodniego nałożonych na ówczesne władze. Embargo skutkowało między innymi bardzo złą sytuacją na rynku paliwowym. Braki w dostawie oleju napędowego spowodowały konieczność obniżenia udziału autobusów w przewozach pasażerskich. W roku 1982 wojewoda śląski podjął decyzję o przygotowaniu do uruchomienia eksperymentalnej linii trolejbusowej. Tychy zostały wybrane ze względu na korzystny układ drogowy (szerokie ulice), brak skrzyżowań z tramwajami i koleją, a także ze względu na odpowiednie potoki pasażerskie, wymagane przez trakcję trolejbusową. 1 października 1982 roku uruchomiono pierwszą linię – nr 1 – o długości 4 kilome-

trów. Tabor złożony był z 12 pojazdów ZIU9B, produkcji radzieckiej, potocznie nazywanych „ziutkami”.

Na uwagę zasługuje fakt, że proces inwestycyjny od momentu podjęcia decyzji, poprzez wykonanie projektu, wybór wykonawcy i realizację zadania, trwał 8 miesięcy. Przez kolejne lata wybudowano i uruchomiono kolejne odcinki sieci trakcyjnej i na koniec roku 1985 łączna długość sieci trakcyjnej wynosiła 22 km [3].

Tabor powiększył się o kolejnych 12 „ziutków” – tym razem były to modele ZIU 682UP. Pomimo ogromnych planów i wizji rozwoju od roku 1985 przez 17 lat nie został wybudowany już żaden nowy odcinek sieci trakcyjnej, a działalność inwestycyjna sprowadzała się jedynie do prowadzenia bieżącej eksploatacji i usuwania awarii. Pojazdy były stopniowo wymieniane i w latach 1989-1998 tabor złożony był z 25 trolejbusów marki Jelcz. W roku 2002 uruchomiony został kolejny odcinek traktacji, o długości 1,2 km. Nacisk Unii Europejskiej na promowanie rozwoju ekologicznych środków transportu publicznego, przekładający się na źródła finansowania w ramach projektów Infrastruktura i Środowisko Narodowej Strategii Spójności, pozwolił na dalszy rozwój sieci trolejbusowej.

Modernizacja i rozbudowa traktacji

Przez ponad cztery dekady epoki socjalizmu własny samochód był dobrem luksusowym, dostępnym dla nielicznych. Dodatkowo reglamentacja i ograniczenia w dostępie do paliwa skutkowały tym, że transport publiczny był najczęściej wybieranym środkiem komunikacji. Okres transformacji ustrojowej w Polsce to bardzo dynamiczny rozwój motoryzacji. Liczba zarejestrowanych samochodów osobowych w latach 1989-2013 wzrosła kilkakrotnie, przy czym największy wzrost liczby samochodów nastąpił po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej, głównie za sprawą importu samochodów używanych.

W 2013 roku statystycznie na 1000 mieszkańców przypadają w Polsce 504 samochody [GUS], podczas gdy w Japonii – 463, w USA – 404, w Korei Południowej – 300, a średnia w Unii Europejskiej to 487 [ACEA – 2012]. Niestety, 81,8 proc. samochodów w Polsce ma ponad 10 lat, a jedynie 8,8 proc. nie

przekroczyło 4 lat. Wzrost liczby samochodów, szczególnie z przestarzałymi silnikami, to również zwiększenie emisji zanieczyszczeń, w tym CO₂. Posiadanie własnego samochodu przez co drugiego statystycznego mieszkańca i powszechny zachwył społeczeństwa tą formą transportu skutkował zmniejszeniem udziału komunikacji publicznej. W Polsce samochód to w dalszym ciągu symbol statusu materialnego. Pozostałe przyczyny liczby przewozów w transporcie miejskim to dezurbanizacja i suburbanizacja – prowadzące do powstawania struktur osadniczych – trudnych czy wręcz niemożliwych do obsłużenia transportem zbiorowym; ograniczenie oferty i pogorszenie jakości funkcjonowania transportu zbiorowego, spowodowane kwestiami finansowymi; zachowawczy i mało elastyczny styl zarządzania przewozami ze strony organizatorów. Od kilku lat wielkość przewozów w komunikacji miejskiej utrzymuje się na podobnym poziomie – niespełna 4 miliardów pasażerów rocznie, z nieznaną tendencją spadkową, podczas gdy na początku transformacji ustrojowej było to prawie dwukrotnie więcej. W połowie lat 80. liczba ta przekraczała 9 miliardów pasażerów rocznie [4].

Zatrzymanie niekorzystnego procesu i odwrócenie obecnego trendu nie jest zadaniem łatwym. Poza znacznymi nakładami finansowymi, związanymi z odbudową taboru, gwarantującego oczekiwaną jakość i komfort podróżowania, niezbędne jest również opracowanie kompleksowego i spójnego programu komunikacyjnego, dostosowanego do oczekiwań mieszkańców oraz działania promujące transport publiczny jako najbardziej ekonomiczny i ekologiczny.

Nadrzędnym celem powinno być dążenie do takiego podniesienia jakości transportu publicznego, aby stał się on konkurencyjny w stosunku do motoryzacji indywidualnej. Transport publiczny musi być przede wszystkim konkurencyjny pod względem czasu i kosztów podróży.

Jedną z gmin, która dostrzegła ten narastający problem i podjęła kroki mające na celu stworzenie spójnego transportu miejskiego, który może stanowić alternatywę dla samochodów prywatnych, są Tychy.

Nacisk Unii Europejskiej na promowanie rozwoju ekologicznych środków transportu publicznego przekładający się na źródła finansowania w ramach projektów Infrastruktura i Środowisko Narodowej Strategii Spójności pozwolił między innymi na dalszy rozwój sieci trolejbusowej w tym mieście.

Dzięki dofinansowaniu unijnemu, w ramach projektu realizowanego przez Tramwaje Śląskie „Modernizacja infrastruktury tramwajowej i trolejbusowej w aglomeracji górnośląskiej wraz z infrastrukturą towarzyszącą”, którego partnerem jest miasto Tychy, autorzy niniejszego artykułu opracowali koncepcję rozwoju sieci trakcyjnej oraz uruchomienia nowych linii, a na jej podstawie dokumentację modernizacji i rozbudowy trakcji trolejbusowej.

Zadanie objęte dofinansowaniem unijnym obejmowało również część niezwiązaną bezpośrednio z siecią trakcyjną i trolejbusami – budowę dwóch parkingów wielopoziomowych oraz nowoczesnego dworca autobusowego z dwoma peronami przeznaczonymi wła-

2012	kWh/km	2013	kWh/km	2014	kWh/km
1	2,932	1	2,954	1	2,306
2	3,016	2	2,834	2	1,956
3	2,510	3	2,631	3	1,766
4	2,328	4	2,036	4	1,641
5	2,050	5	1,689	5	1,551
6	2,026	6	1,502	6	1,469
7	1,900	7	1,439	7	1,369
8	1,893	8	1,426	8	1,398

Tab. 1. Zestawienie energii niezbędnej do przejechania 1 km

	pojazdy	trakcja	razem
czerwiec	25,84%	2,20%	27,47%
lipiec	24,26%	4,89%	27,96%
sierpień	24,66%	1,98%	26,16%
średnia	24,92%	3,02%	27,20%

Tab. 2. Uzyskane oszczędności w zużyciu energii

śnie dla trolejbusów, które są jednym z ogniw zintegrowanego transportu publicznego, czyli połączenia linii trolejbusowych i autobusowych z szybką koleją miejską oraz transportem samochodowym w ramach filozofii „parkuj i jedź”. Integracja ta ma na celu ograniczenie transportu autobusowego oraz samochodowego, głównie pomiędzy Tychami a Katowicami, stolicą aglomeracji katowickiej – największego organizmu miejskiego w Polsce.

Parkingi wielopoziomowe zostały zlokalizowane w punktach węzłowych, w których krzyżuje się szybka kolej, linie autobusowe oraz trolejbusowe. W związku z uruchomieniem połączenia kolejowego zlikwidowano dwie z czterech linii autobusowych na trasie Tychy – Katowice, a liczba kursów zmniejszyła się z 220 do 172 na dobę (czyli o 22 procent). Poprzez dogodne połączenia, nowoczesny i komfortowy tabor oraz dostosowanie rozkładu jazdy trolejbusów i szybkiej kolei miejskiej, tak aby czas oczekiwania i przesiadki był optymalny, obserwuje się stopniową, ale wyraźną tendencję zmiany zachowań społecznych. Mieszkańcy coraz częściej wybierają połączenie trolejbus – pociąg i robią to w pełni świadomie, dla własnego komfortu i poszanowania środowiska, a nie z powodu braku samochodu lub problemów z paliwem, jak to było w przeszłości.

Podjęte działania doskonale wpisały się w ideę zrównoważonego rozwoju w obszarze transportu oraz w Narodową Strategię Rozwoju Transportu, która postawiła pięć głównych celów do zrealizowania w perspektywie roku 2030. Są to między innymi: stworzenie nowoczesnej i spójnej sieci infrastruktury transportowej oraz ograniczanie negatywnego wpływu transportu na środowisko. Ponadto w obszarze transportu miejskiego za najważniejszy cel uznano zwiększanie liczby i udziału pasażerów korzystających z transportu publicznego w dużych miastach i ich obszarach funkcjonalnych do 2020 roku, co ma na celu zredukowanie problemu kongestii. Również Komisja Europejska wskazała najważniejsze wytyczne dla kształtowania miejskich systemów transportowych. Są nimi: szczególna dbałość o środowisko naturalne, stosowanie inteligentnego transportu miejskiego dla poprawienia sprawności



Współczesny trolejbus na ulicach Tych – czerwiec 2017 r. Na zdjęciu skrzyżowanie ul. kard. S. Wyszyńskiego i al. Niepodległości

- ◆ działań transportowych (tworzenie warunków do integracji różnych gałęzi transportu, poprzez wdrażanie systemów intermodalnych – węzły przesiadkowe, systemy „parkuj i jedź”) [5].

Projekt wykonanej modernizacji obejmował wymianę drutu jezdnego wraz z całym osprzętem sieciowym, w tym zwrotnic, oraz zmianę konfiguracji i sposobu pracy sieci trakcyjnej. Wymieniane elementy sieci zbudowane zostały w latach 1982-1983, czyli liczył już ponad 30 lat. Zastosowane środki techniczne miały na celu ograniczenie strat sieciowych, ograniczenie emisji hałasu, a także poprawę komfortu jazdy pasażerów. Zakres modernizacji obejmował odcinek sieci trakcyjnej o długości 6,5 km, to znaczy około 28 procent całej sieci. Zakupione w ramach projektu unijnego trolejbusy Solaris Trollino 12MB wyposażone zostały w dwie baterie trakcyjne niklowo-kadmowe typu STH600 x 84 o pojemności 60Ah oraz napięciu znamionowym łącznie 202V DC. Akumulatory zostały zabudowane w tylnej części pojazdu, nie ograniczając przestrzeni pasażerskiej. Baterie umożliwiają poruszanie się pojazdu bez trakcji trolejbusowej. Zastosowanie baterii niklowo-kadmowych może wzbudzać zaniepokojenie, szczególnie w tak ekologicznym środku transportu, jakim jest trolejbus. Zastosowane baterie wytwarzane są zgodnie z LCA, a po zakończeniu życia produktu baterie trafiają do producenta, zgodnie z prowadzonym programem *bring-back programme*, a kadm pochodzący z elektrod w procesie pirometalurgicznym (SNAM-SAVAM) przetworzony zostaje na tlenek kadmu i ponownie zabudowany w postaci elektrody jako część nowej baterii. W początkowym okresie planowano jedynie wykorzystanie baterii w sytuacjach awaryjnych, na przykład zjazdu ze skrzyżowania po zaniku napięcia lub w czasie serwisu. Doświadczenia eksploatacyjne, wykonane pomiary i analizy pozwoliły na wyznaczenie możliwej do przejechania przez trolejbus trasy bez trakcji przy założeniu optymalnych warunków pracy baterii (ładowania-rozładowania), co umożliwiło uruchomienie alternatywnych tras, na czas prowadzenia remontów

dróg i modernizacji trakcji, a transport trolejbusowy stał się bardziej elastyczny.

Wykorzystano również doświadczenia zdobyte przez dwa pozostałe przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej eksploatujące trolejbusy z Lublina i Gdyni [6]. Możliwa do przejechania trasa przy typowym dla analizowanej trasy obciążeniu pasażerami (50 proc.) i ukształtowaniu terenu to około 2,5 km. Czas szybkiego ładowania, od poziomu 25 do 100 procent wynosi 98 minut. Prowadzone badania i pomiary wykazały niestety, że pojemność akumulatorów nie pozwala na uruchomienie stałych tras po ulicach niewyposażonych w trację. Układ sterowania, poza napędem i oświetleniem, odłącza pozostałe odbiorniki energii, w tym ogrzewanie i klimatyzację, co jest szczególnie kłopotliwe mroźną zimą i w upalne lato. Układ napędowy nowych trolejbusów w czasie hamowania przechodzi z pracy silnikowej w generację. Odzyskiwanie energii mechanicznej w trakcie hamowania pojazdu jest zagadnieniem powszechnie wykorzystywanym w napędach elektrycznych i hybrydowych. Pozyskana podczas hamowania energia jest wykorzystana w bardzo małym zakresie do ładowania własnych baterii, w większości przekazywana jest do sieci. Możliwości przyjmowania energii przez sieć są jednak ograniczone i tak naprawdę zależą od liczby pojazdów na danej linii, mogących odebrać wytwarzaną energię oraz chwilowego stanu ich pracy. Brak możliwości oddania energii do sieci energetycznej dystrybutora wynika z układu zasilania trakcji przez stacje prostownikowe. Wykonane pomiary sposobu pracy układu napędowego wykazały, że czas hamowania – generacji wynosi około 11 proc. i jest to znacznie więcej niż w przypadku kolei czy metra, ze względu na charakter transportu ulicznego, zupełnie inny niż w przypadku transportu szynowego. Trudne do oszacowania są również straty przesyłowe pomiędzy trolejbusem generującym i pobierającym energię. Tabela poniżej przedstawia zestawienie średniej wartości energii potrzebnej do przejechania jednego kilometra w miesiącach od stycznia do sierpnia w latach 2012-2014.

Liczba przejeżdżanych miesięcznie kilometrów to nieco ponad 100 000 km. Nowe pojazdy zostały wprowadzone od kwietnia 2013 roku, natomiast wymiana przewodu jezdnego zakończyła się w kwietniu 2014 roku.

Analiza efektywności energetycznej wykonanej modernizacji wykazała obniżenie zużycia energii elektrycznej na skutek wymiany taboru na poziomie 24 proc., natomiast w wyniku przeprowadzonej modernizacji trakcji – na poziomie 3 proc.

Oszczędności w zużyciu energii w przypadku wymiany taboru wynikają w głównej mierze z zastosowania układów odzysku energii podczas hamowania (92 proc.) oraz montażu silników asynchronicznych prądu zmiennego zasilanych przez układy falownikowe, mających bardzo dobre zdolności regulacyjne (8 proc.). Podobne wartości zmniejszenia zużycia energii przy zastosowaniu układów rekuperacyjnych uzyskano w przedsiębiorstwach transportu publicznego w Rotterdamie, Zurychu, Wiedniu, Sztokholmie i Bremie (*Clean bus procurement – EU Work-*

shop 11-12 grudnia 2013 roku). Modernizacja trakcji ograniczyła straty sieciowe wynikające z przesyłu energii elektrycznej (głównie straty Joule'a). Tabela nr 2 przedstawia procentowe wartości uzyskanych oszczędności w zużyciu energii. Uwzględniając całkowite roczne zużycie energii z roku 2012, wynoszące 3038 MWh, szacowane roczne oszczędności są następujące: 90 MWh (modernizacja sieci) i 760 MWh (wymiana taboru), natomiast uzyskany efekt ekologiczny (zmniejszenie emisji w skali roku) jest następujący: 34 kg – pyły, 538 kg – dwutlenek siarki, 670 650 kg – dwutlenek węgla oraz 338 kg – tlenki azotu. Ograniczenie emisji zostało wyliczone na podstawie informacji o wpływie wytworzenia energii elektrycznej na środowisko w zakresie wielkości emisji dla poszczególnych paliw i innych nośników energii pierwotnej, zużywanej do wytworzenia energii elektrycznej sprzedanej przez dostawcę.

Uzyskane w wyniku modernizacji odcinka sieci trakcyjnej oszczędności co prawda były na oczekiwanym poziomie (ok. 3%), jednakże stały się impulsem do kolejnych analiz, mających na celu dalsze ograniczenie strat sieciowych. W pierwszym etapie wykonano zostały pomiary przebiegu obciążenia prostownika sieciowego dla dwóch konfiguracji ruchu pojazdów. W pierwszym przypadku rejestrowano przebieg prądu linii, na której poruszały się dwa trolejbusy (w czasie normalnego kursu w dniu wolnym od pracy), w drugim przypadku poruszał się jeden pojazd (bez obciążenia pasażerami w godzinach nocnych). Zarejestrowane przebiegi obrazują obciążenie sieci trakcyjnej, charakteryzujące się bardzo dużą nierównomiernością oraz znacznymi udarami prądowymi, związanymi ze startem oraz rozpędzaniem pojazdu.

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarowych zasadne stało się oszacowanie możliwych do uzyskania oszczędności w zużyciu energii, polegających na ograniczeniu udarów prądowych oraz opracowanie sposobu minimalizowania tych udarów, a także zastosowania rozwiązań umożliwiających bardziej efektywne wykorzystanie energii powstającej w chwili hamowania.

Zaletą obniżenia szczytowej wartości prądu pobieranego i oddawanego do sieci jest również znaczne ograniczenie strat energii powstających w obwodach zasilania napędów. Jedną z możliwości może być zastosowanie zasobnika superkondensatorowego [7-9].

Wnioski końcowe

Modernizacja i rozbudowa sieci trolejbusowej w Tychach jest dobrym przykładem inwestycji proekologicznej w obszarze transportu publicznego i doskonale nawiązuje do regionalnego projektu „Trolley”, promującego trolejbusy jako rozwiązanie dla inteligentnej komunikacji w Europie [10-11]. Zastosowanie nowatorskich rozwiązań z zakresu budowy trakcji oraz wykorzystanie nowoczesnych trolejbusów wyposażonych w baterie trakcyjne oraz układ generacji pozwoliło na osiągnięcie zamierzonych efektów związanych z ochroną środowiska – oszczędność energii oraz ograniczenie emisji – szczególnie CO₂. Pozytywne doświadczenia dały zielone światło dla kolejnej, pla-

nowanej na rok 2018 inwestycji – budowy odcinka nowej trakcji trolejbusowej wraz ze stacją prostownicową oraz zakupu trzech nowych trolejbusów z baterią, umożliwiającą obsługę nowej linii „G” – częściowo pozbawionej trakcji.

Zakup dwóch autobusów elektrycznych i budowa trzech punktów ładowania z sieci trakcji trolejbusowej umożliwi zastąpienie autobusów na linii nr 291 pojazdami elektrycznymi.

Przeprowadzone pomiary i analiza charakteru obciążenia sieci trakcyjnej, a także oszacowanie strat sieciowych powstających w wyniku udarów prądowych, doprowadziły do podjęcia decyzji o podjęciu dalszych badań nad możliwością zastosowania zasobnika superkondensatorowego w układzie napędowym trolejbusu. Pozwoli to na poprawę warunków pracy sieci trakcyjnej poprzez ograniczenie prądów szczytowych. Obniżenie zużycia energii, które będzie skutkiem zastosowanych rozwiązań, szacowane jest na około 3 procent. ■



Artur Cywiński | Pracownia projektowa omega-projekt Sp.J., doktorant na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej



Zbigniew Brud | Prezes zarządu Tyskie Linie Trolejbusowe Sp. z o.o.

Literatura

1. Załuski K., *Lubelskie Trolejbusy (Trolleybuses in Lublin – in Polish)*, print from the City Communication Company in Lublin.
2. Kaczmarek R., *Tychy – monografia Miasta* 2010.
3. Jackiewicz J., *Trolejbusy w Tychach 1982-2003*, materiały Tyskich Linii Trolejbusowych.
4. Borowik, L. Cywiński A., *Modernization of a trolleybus line system in Tychy as an example of eco-efficient initiative towards a sustainable transport system*. „Journal of Cleaner Production”, nr 03/1016, s. 188-198.
5. Cywiński A., *Projekt modernizacji sieci trakcyjnej w Tychach*, oprac. TLT Sp. z o.o.
6. Hamacek S., Bartłomiejczyk M., Hrbać R., Miśak S., Styskała V., *Energy recovery effectiveness in trolleybus transport*. „Electric Power Systems Research” 112, 2014, s. 1-11.
7. Chłodnicki Z., Koczara W., *Superkapacitor storage application for reduction drive negative impact on supply grid*, in Proc. Compat. Power Electron. 2005, s. 78-84.
8. Grbovic P.J., Delarue P., Le Moigne P., Bartholomeus P., *The Ultracapacitor-Based Regenerative Controlled Electric Drives With Power-Smoothing Capability*, „IEEE Transactions of Industrial Electronics”, 59 (2012) nr 12, s. 4511-4522.
9. Giziński Z., Gaśieski M., Giziński P., Żuławik M., *Zasobnikowe układy zasilania w pojazdach trakcyjnych, Pojazdy Szynowe*, 3(2011), 125-133.
10. Rulaff M., *Projekt trolley jako przykład promowania ekologicznego transportu publicznego*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej” nr 60/2016.
11. www.trolley-project.eu