

## TROLEJBUS Z AUTONOMICZNYM ŹRÓDŁEM ZASILANIA

Mikołaj BARTŁOMIEJCZYK

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. J. Sobieskiego 7, 80-216 Gdańsk

tel: 58 347 20 53, fax: 58 347 08 80, e-mail: mbartlom@ely.pg.gda.pl

Przedsiębiorstwo Komunikacji Trolejbusowej w Gdyni, ul. Zakręt do Oksywia 1, 81-244 Gdynia

tel: 58 66 94 209, fax: 58 66 94 201 e-mail: bartlomiejczyk@pktgdynia.pl

**Streszczenie:** Standardowym wyposażeniem współcześnie produkowanych trolejbusów staje się pomocnicze źródło zasilania umożliwiające jazdę trolejbusu w przypadku awarii sieci trakcyjnej lub obsługę linii trolejbusowych, na fragmencie których nie jest zainstalowana sieć jezdna. W artykule przedstawiono przegląd takich rozwiązań, czyli baterii trakcyjnych, zasobników superkondensatorowych oraz spalinowych agregatów prądotwórczych. Przedstawiono analizę zastosowania trolejbusów wyposażonych w pokładowe źródło zasilania do obsługi bimodalnej linii osiedle Demptowo – centrum Gdyni. Trolejbusy takie, wyposażone w elektrochemiczne baterie trakcyjne, znajdują się obecnie w eksploatacji w Gdyni. W 2012 roku ich liczba w parku taborowym wyniesie 27 sztuk.

**Słowa kluczowe:** transport publiczny, trolejbus, pojazdy bimodalne

### 1. ŹRÓDŁO POMOCNICZEGO ZASILANIA W TROLEJBUSACH

Trolejbus jest bezszynowym środkiem transportu zbiorowego zasilanym z górnej, dwuprzewodowej sieci trakcyjnej [1]. W związku z tym, analogicznie jak w przypadku innych pojazdów trakcji elektrycznej jak np. tramwaj lub kolej, jest on powiązany z siecią trakcyjną i ewentualna jej awaria uniemożliwia dalszy ruch pojazdu. Fakt ten w znaczny sposób zmniejsza konkurencyjność trolejbusów w stosunku do autobusów. W związku z tym, coraz powszechniejszym rozwiązaniem staje się wyposażanie trolejbusów w niezależne źródło zasilania, które może być użyte w sytuacjach awaryjnych. Trolejbusy wyposażone w taki układ autonomicznego zasilania mogą być także użyte do obsługi linii autobusowych, których znaczna część przebiega pod siecią trakcyjną [1]. Takie zastosowanie napędu pomocniczego będzie poddane analizie w niniejszym artykule.

#### 1.1. Baterie trakcyjne

Baterie trakcyjne są najstarszym źródłem zasilania awaryjnego dla trolejbusów i były one już stosowane w latach trzydziestych XX wieku. Do tego celu wykorzystywano najczęściej standardowe akumulatory obwodów pomocniczych pojazdu. Trolejbus był wyposażony w cztery lub sześć akumulatorów dwunastowoltowych kwasowo-ołowiowych lub nikielowo-kadmowych o pojemności 70 - 150 Ah. W trakcie jazdy – przy zasilaniu sieciowym – akumulatory były połączone szeregowo-równolegle, dając napięcie 24 V

i zasilaly obwody pomocnicze, takie jak np. oświetlenie. W przypadku konieczności jazdy awaryjnej bez zasilania z sieci, baterie te były łączone w szereg, dzięki czemu uzyskiwano napięcie 48 lub 72 V i tym napięciem zasilano silnik trakcyjny. Umożliwilo to przejechanie odcinka o długości 1 - 2 km z prędkością 5 - 10 km/h.

Wraz z rozpowszechnieniem się małogabarytowych agregatów prądotwórczych zastosowanie baterii trakcyjnych zaczęło maleć. Jednak rozwój techniczny w dziedzinie baterii oraz względy środowiskowe powodują, iż w ostatnim okresie powoli zaczynają one odzyskiwać popularność.

Zasadniczym czynnikiem determinującym rodzaj zastosowanej baterii jest zasięg niezbędny do pokonania odcinka bezsiecowego, którego długość może wynosić od 500 metrów do 5 kilometrów [1]. Ograniczeniem dla pojemności zastosowanych baterii jest przede wszystkim ich masa, która w praktycznych rozwiązaniach wynosi od 250 do 1500 kg. Istotne znaczenie ma również zastosowana technologia, a co za tym idzie, gęstość energii zgromadzonej w ogniwach.

Z punktu widzenia sposobu połączenia baterii trakcyjnych z układem napędowym można wyróżnić dwie struktury:

- 1) zasilanie bezpośrednie, w którym napęd trakcyjny jest zasilany bezpośrednio napięciem generowanym przez baterie trakcyjne, które, w zależności od liczby zastosowanych ogniw, wynosi 70 - 480 V,
- 2) zasilanie pośrednie – napięcie baterii jest podwyższane za pomocą przekształtnika DC/DC do napięcia znamionowego układu napędowego, które wynosi 600 lub 750 V.

Zaletą pierwszego rozwiązania jest prosta konstrukcja i niezawodność – z tego powodu jest to rozwiązanie najbardziej rozpowszechnione. Drugie rozwiązanie umożliwia zastosowanie baterii o niższym napięciu znamionowym, które mają korzystniejszy stosunek masy do pojemności.

#### 1.2. Generatory spalinowe

Koncepcja wyposażenia trolejbusu w autonomiczne źródło zasilania w postaci silnika spalinowego została wcielona w życie po raz pierwszy w 1952 roku w niemieckim mieście Rheydt. Zastosowany silnik spalinowy VW o mocy 24 KM umożliwiał rozwinięcie prędkości 20 – 25 km/h. Jednak ze względu na dużą masę silników spalinowych jak i prądnic rozwiązanie to nie rozpowszechniło się.

Kolejne próby zastosowania silnika spalinowego do napędu pomocniczego trolejbusów miały miejsce w latach osiemdziesiątych XX wieku, gdy firma Mercedes rozpoczęła produkcję tzw. duobusów – czyli trolejbusów wyposażonych w niezależny spalinowy układ napędowy składający się z silnika oraz skrzyni biegów. Układ ten napędzany był w sposób bezpośredni. Duobusy zostały wprowadzone do eksploatacji m.in. w Essen (Niemcy), Esslingen (Niemcy), Bergen (Norwegia), Kopenhadze (Dania) oraz Freiburgu (Szwajcaria, producentem ich było Volvo). Rozwiązanie to w eksploatacji cechowało się wieloma wadami, wynikającymi głównie ze skomplikowanej konstrukcji bimodalnego układu napędowego i obecnie takie duobusy znajdują się w eksploatacji jedynie we Freiburgu i w Bergen.

Na początku lat dziewięćdziesiątych firma Kirsch rozpoczęła produkcję małogabarytowych agregatów spalinowych o mocy 25 - 55 kW, przeznaczonych do awaryjnego zasilania trolejbusów. Agregat taki miał postać modułu składającego się z wysokoprężnego silnika spalinowego oraz generatora asynchronicznego z baterią kondensatorów do kompensacji mocy biernej. Małe gabaryty i relatywnie niewielka masa (ok. 500 kg) umożliwiła umieszczenie takiego agregatu spalinowego w trolejbusach. Rozwiązanie to zyskało bardzo szybko na popularności i zostało zastosowane w seryjnie produkowanych pojazdach.

Kolejnym krokiem w rozwoju pomocniczych agregatów spalinowych było zastosowanie synchronicznej prądnicy z magnesami trwałymi, co umożliwiło zmniejszenie masy i gabarytów. Również zwiększona została moc produkowanych pomocniczych napędów spalinowych do 100 kW, a później nawet do 200 kW. W miarę rozwoju konstrukcji silników spalinowych zmniejszono również ich emisyjność – obecnie spełniają one normę emisji spalin Euro IV, w niedługim czasie oczekiwane jest pojawienie się silników zgodnych z normą Euro V.

Agregaty spalinowe są używane w trolejbusach najczęściej jako źródło zasilania na wypadek sytuacji awaryjnych i ich moc zwykle mieści się w granicach 50 – 100 kW. W niektórych miastach używa się ich także w ruchu liniowym do pokonywania fragmentów linii pozbawionych sieci trakcyjnej – wówczas moc ich jest odpowiednio większa. Obecnie jest to najbardziej popularne źródło zasilania autonomicznego w transporcie trolejbusowym.

### 1.3. Superkondensatory

Superkondensatorami nazywa się specjalnie wykonane kondensatory elektryczne, które dzięki zastosowaniu elektrod wykonanych z węgla aktywowanego dysponują pojemnością wielokrotnie większą niż klasyczne kondensatory. Jest to rozwiązanie nowe, obecnie pierwsze zasobniki tego typu wchodzi do eksploatacji w pojazdach elektrycznych [2, 3, 4].

Superkondensatory, podobnie jak standardowe kondensatory, cechują się możliwością bardzo szybkiego ładowania jak i dużą mocą wyjściową. Ponadto ich sprawność jest znacznie większa od baterii elektrochemicznych i osiąga 95%.

Napięcie superkondensatora bardzo silnie zależy od stopnia jego naładowania i zmienia się w trakcie pracy. Cecha ta umożliwia łatwe i precyzyjne określenie ilości aktualnie zgromadzonej energii w zasobniku (co jest bardzo trudne w przypadku baterii elektrochemicznych). Jednak z drugiej strony, zasobnik superkondensatorowy musi być wyposażony w przekształtnik napięcia stałego dopasowujący aktualny

poziom napięcia panujący na superkondensatorze do napięcia wymaganego przez układ napędowy. Przekształtnik taki ma niejednokrotnie masę porównywalną z samymi superkondensatorami.

Podstawową wadą superkondensatorów jest ich mała pojemność energetyczna, ponad dziesięciokrotnie mniejsza niż w przypadku baterii elektrochemicznych. W efekcie tego ilość energii zgromadzona w takim zasobniku jest stosunkowo niewielka. Ponadto, cena superkondensatorów jest obecnie jeszcze znacznie wyższa niż klasycznych baterii.

Mała pojemność superkondensatorowych zasobników energii uniemożliwia pojazdowi pokonywanie bez zasilania z sieci trakcyjnej odcinków dłuższych niż 500 m. Jednak zasobnik superkondensatorowy umożliwia zmniejszenie zużycia energii nie tylko podczas zasilania z sieci trakcyjnej, ale również może być użyty do zmniejszenia poboru energii i prądu obciążenia przy zasilaniu pojazdu z innego autonomicznego źródła zasilania (baterii elektrochemicznych lub agregatu spalinowego). W takim przypadku mamy do czynienia z hybrydowym układem superkondensatorowo – baterijnym lub superkondensatorowo – spalinowym.

Napęd hybrydowy superkondensatorowo – baterijny składa się z zasobnika superkondensatorowego oraz baterii elektrochemicznych wraz z układem przekształtnikowym. Dzięki zastosowaniu superkondensatorów ulega zmniejszeniu pobór energii z baterii trakcyjnych, a co za tym idzie, istnieje możliwość zastosowania baterii o mniejszej pojemności. Zasobnik superkondensatorowy ogranicza też wartość prądu pobieranego z baterii trakcyjnych, dzięki czemu poprawiają się warunki ich pracy.

Napęd hybrydowy superkondensatorowo – spalinowy działa na zasadzie identycznej jak układy napędowe stosowane w autobusach hybrydowych. Składa się on z zasobnika superkondensatorowego, agregatu spalinowego i układu przekształtnikowego. Zasobnik superkondensatorowy powoduje zmniejszenie wartości maksymalnej prądu pobieranego przez układ napędowy z agregatu spalinowego, w związku z tym można zastosować diesel agregat o mniejszej mocy niż w układzie klasycznym. Ponadto ulega zmniejszeniu wartość emisji zanieczyszczeń do środowiska.

### 1.4. Praktyczne zastosowania

Miastem, w którym zastosowano pomocniczy napęd spalinowy jest Opawa, znajdująca się w Republice Czeskiej. Jest to niewielkie miasto (60 tysięcy obywateli) położone w pobliżu granicy z Polską. W 2006 uzyskano dotację z Unii Europejskiej na zakup ośmiu trolejbusów wyposażonych w agregaty spalinowe o mocy 100 kW. Trolejbusy te wykorzystują pomocniczy napęd spalinowy w ruchu liniowym: zostały skierowane do obsługi dotychczasowej linii autobusowej 221, której znaczna część jest poprowadzona pod siecią trakcyjną (rys.1).

Napęd pomocniczy w postaci baterii trakcyjnych ma zastosowanie w dwóch trolejbusach zakupionych w 2009 roku przez Przedsiębiorstwo Komunikacji Trolejbusowej w Gdyni [5]. Są to trolejbusy Solaris Trollino 12 wyposażone w układ napędowy produkcji firmy Medcom. Znajdują się w nich baterie niklowo-kadmowe typu STH800 w liczbie 168 ogniw firmy SAFT o pojemności 80 Ah i całkowitym napięciu 201,6 V (rys. 2). Napięcie to jest podwyższane za pomocą przekształtnika rezonansowego DC/DC do napięcia 600 V, którym jest zasilany układ napędowy. Przekształtnik ten pełni również funkcję ładowarki baterii podczas jazdy przy zasilaniu z sieci trakcyjnej. Masa baterii wraz z przekształt-

nikiem wynosi ok. 800 kg. Trolejbus jest wyposażony w automatyczne odbieraki prądu umożliwiające przyłączenie i odłączenie się od sieci trakcyjnej bez konieczności ręcznego manipulowania przez kierowcę. W ramach realizowanego przez Przedsiębiorstwo Komunikacji Trolejbusowej współfinansowanego ze środków unijnych, programu „Rozwój proekologicznego transportu publicznego na Obszarze Metropolitalnym Trójmiasta”, w latach 2010-11 zostanie zakupionych kolejnych 25 trolejbusów tego typu.



Rys. 1. Trolejbus Solaris Trollino 12 AC obsługujący bimodalną linię 221 w Opawie



Rys. 2. Baterie trakcyjne trolejbusu Solaris Trollino 12 / Medcom należące do PKT Gdynia

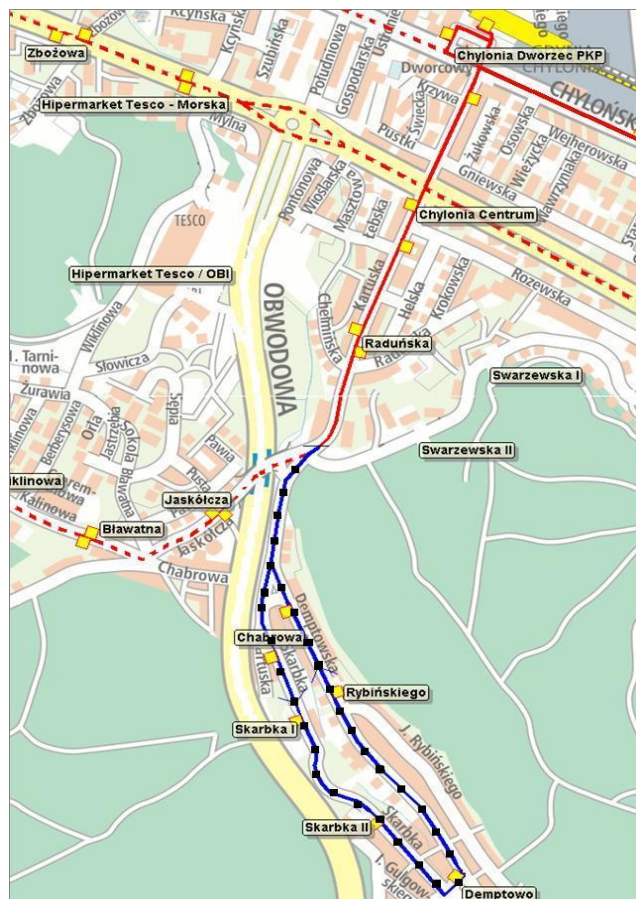
## 2. KONCEPCJA BIMODALNEJ LINII TROLEJBUSOWEJ W GDYNI

### 2.1 Charakterystyka trasy i potrzeb

Koncepcja budowy linii trolejbusowej na ulicy Dempłowskiej do osiedla Dempłowo pojawiła się na początku lat osiemdziesiątych dwudziestego wieku podczas prac projektowych związanych z realizowaną wówczas rozbudową sieci trolejbusowej w Gdyni. Linia ta miała być odgałęzieniem przewidzianej wówczas do budowy linii trolejbusowej do osiedla Pustki Cisowskie. Ze względu na kryzys ekonomiczny końca lat osiemdziesiątych wstrzymano budowę zarówno linii na Pustki Cisowskie jak i na Dempłowo. W połowie lat dziewięćdziesiątych ponownie rozpoczęto budowę trasy na Pustki Cisowskie, czego uwieńczeniem było jej otwarcie w

1996 roku. Jednak zbyt małe przewozy pasażerskie na linii autobusowej 114 kursującej na trasie Chylonia Dworzec PKP – Dempłowo czyniły nieopłacalną budowę linii trolejbusowej do Dempłowa, w związku z czym plan ten został zarzucony.

Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni przeprowadza co dwa lata badania „Preferencje i zachowania komunikacyjne mieszkańców Gdyni”, podczas których m.in. badane są oczekiwania mieszkańców w stosunku do komunikacji miejskiej. Jednym z postulatów regularnie wskazywanym przez mieszkańców osiedla Dempłowo jest potrzeba uruchomienia bezpośredniego połączenia Dempłowa z centrum Gdyni. Jednym z rozwiązań tego problemu byłoby przedłużenie obecnie kursującej linii autobusowej 114 do centrum Gdyni. Taka linia miałaby długość 11 km, przy czym 9,5 km jej trasy, czyli 86 %, przeprowadzonych byłoby pod istniejącą trolejbusową siecią trakcyjną. W związku z tym, uzasadnione się staje wykorzystanie potencjału istniejącej sieci trolejbusowej i zastosowanie do obsługi połączenia Osiedle Dempłowo – Centrum Gdyni trolejbusów wyposażonych w napęd autonomiczny. Ta linia dla dalszych celów zostanie oznaczona jako 32 (rys. 3). Pojazdy linii 32 pokonywałyby odcinek Centrum Gdyni – Chylonia Dworzec PKP – przystanek Raduńska przy zasilaniu z sieci trakcyjnej, natomiast odcinek od przystanku Raduńska do Dempłowa przejeżdżałyby korzystając z autonomicznego źródła zasilania.



Rys. 3. Schemat trasy analizowanej linii trolejbusowej nr 32

Na rys. 3 zaprezentowano fragment analizowanej trasy. Linią ciągłą zaznaczono odcinek trasy pokonywany przy zasilaniu z sieci trakcyjnej, linią ciągłą z naniesionymi kwadratowymi punktami zaznaczono fragment trasy pokonywany przy zasilaniu autonomicznym, linią przerywaną pozostałe fragmenty sieci trolejbusowej. Ze względu na przejrz-

stość schemat obejmuje tylko obszar sieci na terenie dzielnic Demptowo i Chylonia, dalej w kierunku centrum trasa prowadziłaby ulicami Chyłońską, Morską, Podjazd, 10 lutego, Świętojańską, Piłsudskiego. Przystankiem końcowym byłaby pętla trolejbusowa zlokalizowana na Węzle Franciszki Cegielskiej. Linia ta byłaby wspomagana szczytową linią autobusową 114 na obecnej trasie.

Podstawowe dane ruchowe linii 32 będą następujące:

- długość całkowita w jednym kierunku: 11 km,
- średnia częstotliwość kursowania: 30 minut,
- długość odcinka bezsieciowego w jednym kierunku: 1,5 km,
- średni czas przejazdu w jednym kierunku: 46 minut,
- czas jednego pełnego obiegu pojazdu: 120 minut.

W tab. 1 przedstawiono podstawowe dane ruchowe linii trolejbusowej 32 oraz wspomagającej linii autobusowej 114 w rozbiciu na dni tygodnia.

Tablica 1. Charakterystyka linii 32 i 114

Dzień	Liczba kursów linii 32	Liczba kursów linii 114	Liczba trolejbusów na linii 32
roboczych	33	9	4
sobota	30	6	4
niedziela i święta	26	4	3

## 2.2. Wybór autonomicznego źródła zasilania

Na podstawie przeglądu autonomicznych źródeł zasilania, przedstawionego w pierwszym rozdziale, można podsumować, iż w analizowanym przypadku należy rozważyć zastosowanie następujących rodzajów napędu autonomicznego:

- 1) agregat spalinowy,
- 2) agregat spalinowy współpracujący z zasobnikiem superkondensatorowym,
- 3) bateria elektrochemiczna,
- 4) bateria elektrochemiczna współpracująca z zasobnikiem superkondensatorowym.

Podstawową wadą dwóch pierwszych rozwiązań jest zastosowanie silnika spalinowego, co jest w sprzeczności z podstawową zaletą trolejbusów, czyli bezemisyjności w miejscu pracy. Ponadto, jak pokazuje praktyka, praca agregatu spalinowego wiąże się z generacją uciążliwego dla pasażerów i otoczenia hałasu. Hałas generowany przez trolejbus jadący przy zasilaniu z agregatu spalinowego jest większy niż w przypadku autobusu. Dalszym argumentem jest relatywnie duże zużycie paliwa poprzez spalinowe moduły napędowe stosowane w trolejbusach, które jest na poziomie 60 – 80 litrów na każde przejechane 100 km, a co za tym idzie, jest większe niż zużycie paliwa w autobusach o tej samej pojemności pasażerskiej. Istotnym argumentem są także aspekty eksploatacyjne. PKT Gdynia jest przedsiębiorstwem eksploatującym wyłącznie trolejbusy, czyli pojazdy o napędzie elektrycznym. Co za tym idzie, zajezdnia trolejbusowa nie dysponuje kadrą ani zapleczem technicznym odpowiednim do eksploatacji silników spalinowych. Natomiast obsługa baterii trakcyjnych nie wymaga żadnych dodatkowych nakładów związanych z wyposażeniem zajezdni.

W związku z powyższym, należy rozważyć zastosowanie samych baterii elektrochemicznych lub baterii elektrochemicznych współpracujących z zasobnikiem superkondensatorowym. Podstawowym argumentem przemawiającym za zastosowaniem zasobnika superkondensatorowego jest

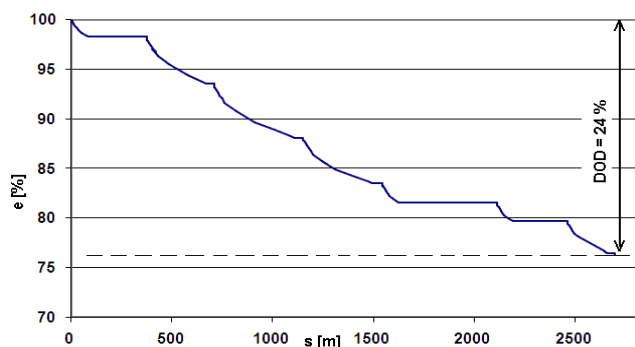
mniejsze zużycie energii, wynikające z akumulacji energii hamowania odzyskowego w zasobniku. Jednak masa układu superkondensatorowego, składającego się z baterii superkondensatorów wraz z przekształtnikiem DC/DC wynosi 500 kg, co niesie za sobą ograniczenie pojemności pojazdu. Ponadto, problematyczne staje się zlokalizowanie takiego zasobnika – ze względu na ograniczoną przestrzeń w – niskopodłogowym trolejbusie. Opierając się na tych przesłankach, Przedsiębiorstwo Komunikacji Trolejbusowej podjęło decyzję o zakupie trolejbusów wyposażonych jedynie w baterie elektrochemiczne, opisanych w pierwszym rozdziale.

## 2.3. Analiza wykonalności technicznej

### 2.3.1. Obliczenia przejazdu trolejbusu

Podstawowym elementem na podstawie, którego zostanie przeprowadzona analiza będzie przejazd teoretyczny trolejbusu na odcinku jazdy autonomicznej, czyli pomiędzy przystankami Raduńska oraz Demptowo, przy czym przejście z jazdy sieciowej na baterijną nastąpi na skrzyżowaniu ulic Kartuskiej i Demptowskiej. Odcinek jazdy autonomicznej będzie miał całkowitą długość 2,7 km i będzie stanowił pętlę uliczną przebiegającą ulicami Demptowską i Skarbka. Na tej trasie zlokalizowanych będzie 7 przystanków.

Przejazd ten został wykonany przy założeniu pięćdziesięcioprocentowego zapełnienia trolejbusu, czyli przyjęciu masy pojazdu na poziomie 15 ton. Obliczenia wykonano przy założeniu braku hamowania odzyskowego. Jest ono teoretycznie możliwe, jednak jak wskazuje praktyka jest nieefektywne w przypadku baterii nikloowo-kadmowych i powoduje ich szybsze zużywanie się ze względu na wzrost temperatury podczas ich pracy. Założono, iż urządzenia klimatyzacyjne oraz grzejne będą wyłączone podczas jazdy odcinkiem bezsieciowym. Na rys. 4 przedstawiono zależność procentowego poziomu rozładowania baterii  $e$  w funkcji przejechanej drogi  $s$ .



Rys. 4. Stopień rozładowania baterii trakcyjnych  $e$  w funkcji przejechanej drogi  $s$

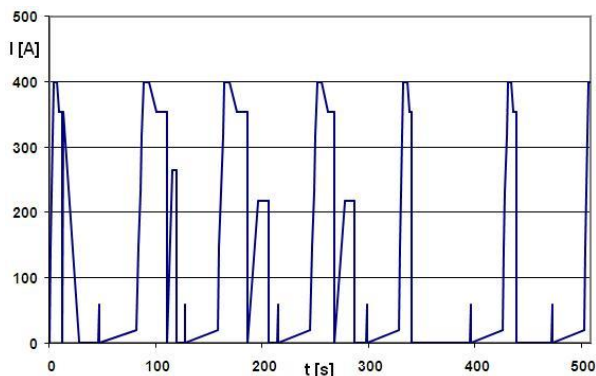
Na rys. 5 pokazany jest prąd  $I$  baterii trakcyjnych w funkcji czasu przejazdu  $t$ .

Obliczenia wykonano w arkuszu kalkulacyjnym metodą średnich prostokątów. Krok zmian prędkości wynosi 1 km/h. Opory ruchu  $W$  [N] będące funkcją prędkości wyznaczono na podstawie zależności [1]:

$$W = 0,4256 \cdot v_k \cdot m \cdot g + 0,144 \cdot v_k^2 \quad (1)$$

gdzie:

$v_k$  – prędkość pojazdu [m/s];  $m$  – masa pojazdu [t];  $g$  – przyspieszenie ziemskie.



Rys. 5. Przebieg prądu pobieranego z baterii

### 2.3.2. Szacowanie żywotności baterii

Na podstawie zaprezentowanego przejazdu teoretycznego można stwierdzić, iż podczas przejazdu odcinkiem bezsieciovym zostaje zużyta energia o wartości 3,8 kWh, co daje przeciętne zużycie energii przeliczonej na wozokilometr na poziomie 1,4 kWh/km. Stopień rozładowania baterii DOD, wyrażony jako stosunek pobranej energii do pojemności akumulatorów wyniósł 24%. Współczynnik DOD determinuje żywotność baterii, im rozładowanie baterii w każdym cyklu jest większe, czyli im większa jest wartość współczynnika DOD, tym mniejsza jest żywotność baterii. Przy współczynniku DOD na poziomie 24% żywotność baterii wyniesie 8 tysięcy cykli [1].

Na podstawie danych przedstawionych w tab. 1, przy założeniu 260 dni roboczych, 50 sobót i 65 niedziel / dni świątecznych w roku, łączna roczna liczba kursów linii 32 wyniesie 11770. Na linii kursować będą maksymalnie 4 pojazdy, przy czym należy przewidzieć przestoje trolejbusów w celach obsługi technicznej. W związku z tym, ze względu na równomierność zużycia baterii akumulatorów, ich żywotność można wyznaczyć przy założeniu dwóch różnych reżimów rotacji trolejbusów obsługujących linię 32:

- 1) obsługa linii przez 6 trolejbusów (4 pojazdy pracujące linię oraz 2 rezerwowe),
- 2) obsługa linii poprzez 25 pojazdów, czyli praca rotacyjna wszystkich trolejbusów wyposażonych w zasobnik baterijny.

W obydwu przedstawionych wariantach, w czasie poza obsługą linii 32, trolejbusy obsługiwałyby inne linie trolejbusowe lub przechodziłyby obsługę techniczną. W wariantcie 1 roczna liczba cykli ładu / rozładu przypadająca na pojazd wyniosłaby 1962, a w wariantcie 2 - 471. Daje to żywotność baterii na poziomie 4 lat w wariantcie 1 i 17 lat w wariantcie 2, przy czym trzeba dodatkowo uwzględnić procesy starzeniowe ograniczające żywotność baterii do ok. 10 – 15 lat.

### 2.3.3. Ładowanie baterii

Ładowanie baterii następowaloby podczas jazdy odcinkiem sieciowym linii 32. Prąd ładowania  $I_c$  wyrażony w pojemności baterii można wyznaczyć w przybliżeniu z zależności:

$$I_c = \frac{DOD}{n \cdot t} \quad (2)$$

gdzie:

$t$  – względny czas ładowania baterii;  $DOD$  – głębokość rozładowania baterii;  $n$  – sprawność ładowania baterii.

Sprawność ładowania baterii niklowo kadmowych wynosi 0,65. Przy, zgodnym z rozkładem jazdy, czasie przejazdu odcinkiem sieciowym na poziomie 80 minut w każdym cyklu wymagany prąd ładowania baterii wyniesie 0,28 C. Wartość ta jest mniejsza od maksymalnej wartości prądu ładowania baterii niklowo kadmowych wynoszącej 1 C, więc odcinek jazdy sieciowej jest wystarczający dla naładowania baterii.

## 3. WNIOSKI

Na podstawie powyżej przeprowadzonej analizy można wnioskować, iż obsługa linii 32 trolejbusami wyposażonymi w pomocniczy napęd baterijny jest możliwa. W celu zapewnienia odpowiedniej żywotności baterii trakcyjnych konieczne jest wprowadzenie rotacyjnej eksploatacji pojazdów na linii 32, naprzemiennie z pozostałymi liniami trolejbusowymi, na których nie jest używany pomocniczy napęd baterijny.

Wprowadzenie trolejbusów do obsługi linii 32 zdecydowanie poprawi warunki życia mieszkańców Dęptowa poprzez wprowadzenie bezpośredniego połączenia komunikacyjnego z centrum Gdyni. Istotnym elementem będzie także zmniejszenie poziomu hałasu emitowanego przez pojazdy transportu publicznego.

Generalnie można stwierdzić, iż pomocnicze źródła zasilania w znaczny sposób zwiększają konkurencyjność trolejbusów w stosunku do autobusów przy zachowaniu podstawowej zalety pojazdów elektrycznych, czyli bezemisyjności w miejscu pracy.

## 4. BIBLIOGRAFIA

1. Pankowski R.: Zastosowanie pokładowego zasobnika energii w trolejbusie. Politechnika Gdańska, praca dyplomowa magisterska. Gdańsk 2009.
2. Giziński Z., Żuławnik M., Gąsiewski M., Zych M.: Hybrydowy układ zasilania trolejbusu. Technika Transportu Szynowego 9/2007, ISSN 1232-3829.
3. Maciołek T., Drażek Z.: Tramwaj z zasobnikiem kondensatorowym na odcinku bez zasilania. Konferencja MET 2005, Warszawa, 2005.
4. Konopczyński M. T.: Zasobniki energii w układach zasilania sieci tramwajowych. Technika Transportu Szynowego 1-2/2003, ISSN 1232-3829.
5. Bartłomiejczyk M., Polom. M.: Eksploatacja i rozwój infrastruktury oraz taboru Przedsiębiorstwa Komunikacji Trolejbusowej w Gdyni. Konferencja MET 2010, Gdańsk, ISBN 83-908116-2-6.

## TROLLEYBUS WITH THE AUTONOMOUS SUPPLY SOURCE

**Key-words:** public transport, trolleybus, bimodal vehicles

Currently, auxiliary power sources are becoming standard equipment of trolleybuses. They allow a vehicle to continue in the event of damage to the overhead line or trolleybus service on bus lines. The article presents an overview of energy power sources used in trolleybuses (diesel generator, batteries, supercaps) and the analysis of entry into service trolleybuses equipped with traction batteries to operate the bus line 114 in Gdynia.

