

Marcin Jędrzycka, Mirosław Miszewski
Pojazdy Szynowe PESA Bydgoszcz S.A. Holding

ANALIZA PORÓWNAWCZA ZUŻYCIA ENERGII PRZEZ NAPĘD TRAMWAJOWY PRĄDU STAŁEGO Z ROZRUCHEM REZYSTANCYJNYM I IMPULSOWYM

ENERGY CONSUMPTION BY DC TRAMS WITH RHEOSTATIC AND CHOPPER STARTERS IN COMPARISON

Abstract: This paper makes a comparison between two types of DC tram drive with series motors in respect of energy consumption. One of them makes use of a typical rheostatic starter and the second one employs a DC chopper that can be also used for fluent setting of the value of the torque developed by the motor. As can be seen, by simple replacement of rheostatic starter with a chopper one, one can achieve decrease in energy consumption by 35% during standardized drives between two selected tram stops. The average saving during standardized rides on the test track is equal 25%. Measurement performed during four-week-test of free rides brings the average saving of energy equal to 20%. With limited financial outlays, it is recommended to replace a rheostatic starter with a chopper one if only the series traction motors on the tram are in good condition.

1. Wstęp

Rosnące koszty energii elektrycznej oraz konieczność ochrony środowiska naturalnego sprawia, że coraz większą wagę przykładana się do energochłonności pojazdów szynowych, nowych i remontowanych. Często wymagania dotyczące energochłonności określane są przez zamawiających w specyfikacji istotnych warunków zamówienia. Norma [6] przewiduje próby badań zużycia energii przez pojazd szynowy jako jedno z badań, wymaganych przed wprowadzeniem pojazdu do eksploatacji.

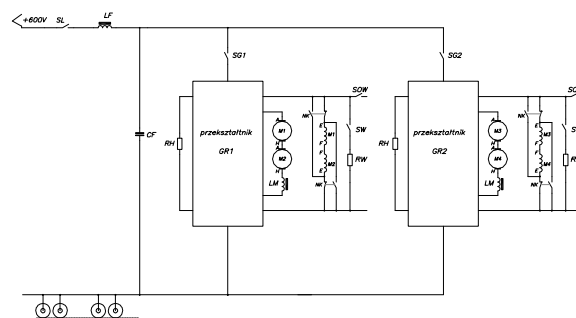
W Polsce eksploatuje się trzy tysiące tramwajów typu 105N oraz ich wąskotorowych odpowiedników 805N, wyposażonych w napęd z silnikami szeregowymi prądu stałego z rozruchem rezystancyjnym. Często przy modernizacjach tramwajów tego typu zamiast kosztownej całkowitej wymiany istniejącego napędu na przekształtnikowy napęd asynchroniczny instaluje się tylko rozruchowy przekształtnik impulsowy prądu stałego w miejsce rezystorów rozruchowych. Zmniejsza to koszty modernizacji [9], co pozwala przy określonych nakładach inwestycyjnych zmodernizować większą liczbę pojazdów. Jest to szczególnie uzasadnione w przypadkach, w których istniejące silniki prądu stałego są w dobrym stanie.

W artykule przedstawiono porównanie wyników badań doświadczalnych zużycia energii przez napędy tramwajowe z silnikami szeregowymi prądu stałego – z tradycyjnym rozruchem rezystancyjnym z jednej strony, oraz z roz-

ruchem impulsowym z drugiej strony. Wykazano, że przez proste zastąpienie rezystorów rozruchowych przez przekształtnik impulsowy prądu stałego można uzyskać oszczędności energii dochodzące do 35%.

2. Przedmiot badań

Przedmiotem badań były dwa tramwaje: jeden typu 805NA bez żadnych modernizacji. Drugi pojazd to całkowicie zmodernizowany tramwaj typu 805N noszący zmienione oznaczenie typu 805NM. W porównaniu z oryginałem w miejsce rozrusznika bębnowego zastosowany został układ rozruchu impulsowego, zbudowany na elementach tranzystorowych IGBT (rys. 1). Zastosowany przekształtnik impulsowy można dodatkowo wykorzystać do płynnej nastawy prędkości pojazdu oraz do hamowania rekuperacyjnego.



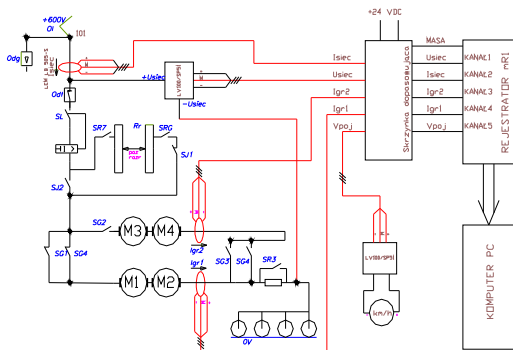
Rys. 1. Schemat obwodu trakcyjnego zmodernizowanego tramwaju typu 805NM

Oba pojazdy miały te same parametry trakcyjne, jednak pojazd zmodernizowany miał poprawione parametry eksploatacyjne. Otóż pojazdem zmodernizowanym można było jeździć przez dowolnie długi czas na każdej pozycji nastawnika. Tak więc rozrusznik pełnił również dodatkowo rolę nastawnika prędkości.

3. Pomiar energii zużywanej przez pojazd

W celu dokonania pomiaru zużycia energii przez oba tramwaje na obu pojazdach przeprowadzano rejestrację tych samych wielkości. Były to: całkowity prąd pojazdu, napięcie sieci, prąd jednej i drugiej grupy silników oraz prędkość. Ze względu na to, że oba pojazdy różnią się zastosowanymi rozwiązaniami technicznymi (805NM – zmodernizowany w 2003, a 805NA wyprodukowany w 1990 roku), wystąpiły różnice w zastosowanych układach pomiarowych. W przypadku tramwaju z klasycznym układem zasilania układ pomiarowy wymagał zainstalowania zewnętrznych czujników prądowych i napięciowych (rys. 2), które w tramwaju zmodernizowanym są jego normalnym wyposażeniem (rys. 3). Wszystkie czujniki pomiarowe w tramwaju klasycznym zasilane były z przetwornicy impulsowej typ BM 2540, o napięciu wejściowym 10-70 V prądu stałego.

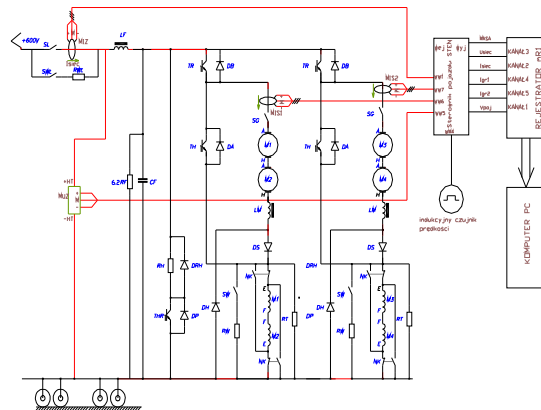
Sygnały wyjściowe czujników prądowych i napięciowych były rejestrowane za pomocą rejestratora pięciokanałowego. Na podstawie zarejestrowanych sygnałów za pomocą specjalnego programu komputerowego obliczono moc i energię pobieraną przez oba badane tramwaje w czasie przejazdów próbnych.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego tramwaju klasycznego typu 805NA

Dodatkowo, wykorzystując liczniki energii zainstalowane na obu pojazdach, przeprowadzono pomiar energii pobieranej przez oba pojazdy

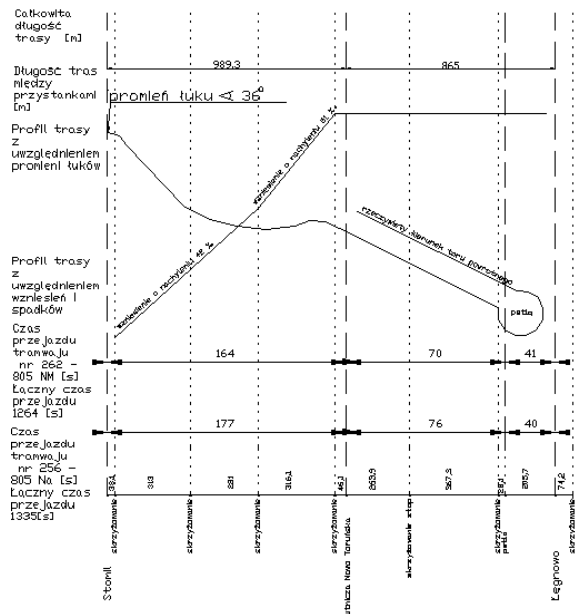
przez dłuższy okres czasu, wynoszący cztery tygodnie. Pomiary zużycia energii przeprowadzono bez unifikacji sposobu kierowania pojazdami oraz bez wyrównywania czasów przejazdów na badanej trasie.



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego zmodernizowanego tramwaju 805NM

4. Opis trasy

Pomiary zużycia energii przez oba badane pojazdy przeprowadzono na trasie o długości 9269 m. Trasa została tak dobrana, aby obejmowała różnorodne elementy profili tras, spotykanych w praktyce, a przede wszystkim podjazdy i zjazdy.



Rys. 4. Fragment profilu trasy przejechanej przez oba tramwaje w czasie badań

Trasa testowa zawiera podjazd i zjazd o stromości wynoszącej $s = 51\%$. Daje to możliwość oszacowania oszczędności spowodowanych hamowaniem rekuperacyjnym. Na trasie było

16 przystanków. Przykładowy element profilu trasy pokazano na rys. 4.

5. Metodyka badań

Zużycie energii przez pojazd zależy od wielu różnorodnych czynników [3]. Aby uzyskać porównywalne wyniki podczas wykonywania badań, przestrzegano następujących zasad:

- Trasa została wyznaczona w ten sposób, aby wyeliminować zakłócenia wynikające z ruchu innych pojazdów. Odcinek wytyczonej trasy na czas prób miał być zamknięty dla pozostałych pojazdów szynowych.
- Badane tramwaje składały się z jednego członu napędowego.
- Dla każdego badanego pojazdu przeprowadzone były dwie próby. Następnie z uzyskanych wyników wybrano przejazdy o podobnym czasie trwania i o podobnym przebiegu.

Na zużycie energii przez pojazd oprócz czynników obiektywnych, takich jak: profil trasy, ilość i rozmieszczenie przystanków, odległości międzyprzystankowe, obciążenie pojazdu, prędkość przejazdu itp., duży wpływ mają czynniki subiektywne, a przede wszystkim sposób prowadzenia tramwaju przez motorniczego [5, 7, 8]. W przypadku tramwaju nie są one wprawdzie tak istotne jak w przypadku pojazdów trakcji kolejowej, jednak tego wpływu nie sposób pominąć. Dlatego aby wyeliminować wpływ czynnika ludzkiego na dokładność uzyskanych wyników, przyjęto, że oba tramwaje w czasie jazd próbnych będą obsługiwane przez tego samego motorniczego.

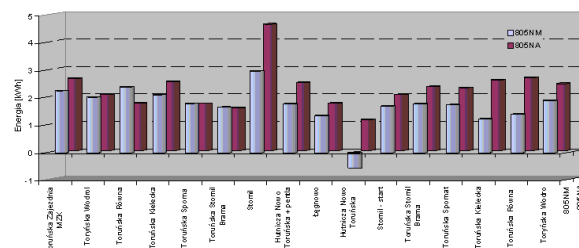
Przejazd próbny odbywać miał się zgodnie z rozkładem jazdy, a co za tym idzie prędkość rozwijana przez tramwaje uzależniona była od znaków i wytycznych dla danego odcinka trasy. Motorniczy powinien sterować oboma pojazdami, stosując podobny styl jazdy: podczas ruszania powinien uzyskiwać w najkrótszym czasie prędkość dopuszczalną dla danego odcinka, a następnie, jadąc wybiegiem, pokonać większą część trasy po to, aby na końcu przejazdu hamować z możliwie równym dla wszystkich prób opóźnieniem. Pojazdy miały się zatrzymywać na każdym przystanku i stać na nim przez ustalony czas postoju. Te założenia pozwoliły uzyskać maksymalnie zbliżone do siebie czasy przejazdu obu tramwajów. Ułatwiło to późniejszą analizę wyników badań.

Na podstawie zarejestrowanych przebiegów napięcia w sieci trakcyjnej i prądu pobieranego z sieci przez pojazd obliczono energię pobieraną przez badane pojazdy na poszczególnych odcinkach między przystankami oraz energię pobieraną przez pojazdy w czasie całego przejazdu.

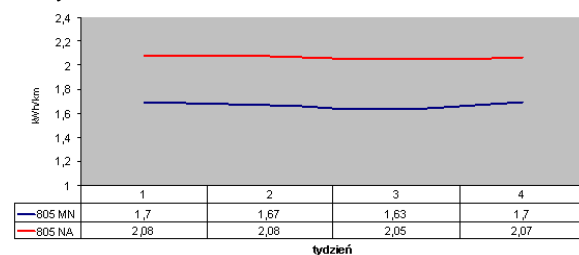
Energię zużywaną przez pojazd w czasie badań długoterminowych odczytywano i zapisywano codziennie, a następnie uzyskane wartości uśredniano na tygodniowe odcinki czasu.

6. Wyniki badań

Wyniki uzyskane w trakcie badań na trasie próbnej przedstawiono w postaci histogramu na rys.5. Obrazuje on energię zużywaną przez pojazd na przejazd między przystankami. Wybrano takie przejazdy przy których wystąpiło hamowanie rekuperacyjne badanych pojazdów.



Rys. 5. Zużycie energii elektrycznej przez oba badane pojazdy na przejazdy między dwoma przystankami odcinka testowego: kolor czerwony – 805NA, kolor niebieski – 805NM



Rys. 6. Średnie zużycie energii przez badane pojazdy: kolor czerwony – 805NA, kolor niebieski – 805NM

Jak widać oszczędności energii na przejazdach między dwoma przystankami bez wykorzystania hamowania rekuperacyjnego dochodzą do 35%. Hamowanie rekuperacyjne uwzględniono natomiast przy wyznaczaniu oszczędności w czasie przejazdu całego odcinka testowego. Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono analizę oszczędności energii w trakcie przejazdu przez cały badany odcinek. Oszczędność ta wyniosła 25%.

Na podstawie pomiarów długookresowych wyznaczono średnie zużycie energii rejestrowane

przez okres czterech tygodni. Wyniki tych badań przedstawiono w postaci wykresu zużycia energii (rys. 6). Z przedstawionego wykresu wynika, że przy dowolnym stylu jazdy motorniczego i przy dowolnych czasach przejazdu średnia oszczędność energii wynosi 20%.

7. Wnioski

Wyniki badań zużycia energii przez oba typy tramwajów pozwalają sformułować następujące wnioski:

- przy podobnym stylu jazdy motornicznych kierujących oboma badanymi pojazdami uzyskane oszczędności energii wynoszą 25%,
- przy dowolnym stylu jazdy motornicznych, wykorzystujących w praktyce możliwość jazdy przez dowolnie długi czas na każdej pozycji rozrusznika/nastawnika, oszczędności energii wyniosły 20%,
- przy ograniczonych nakładach inwestycyjnych należy wszędzie, gdzie to możliwe eliminować rozruch oporowy w tramwajach, stosując, nawet przy ograniczonych nakładach inwestycyjnych, przekształtnik impulsowy prądu stałego do współpracy z istniejącymi silnikami szeregowymi,
- mimo iż napęd z silnikiem szeregowym i przekształtnikiem impulsowym jest bardziej energooszczędny niż napęd z silnikiem asynchronicznym [7] należy dążyć do instalowania napędów z silnikami indukcyjnymi, ponieważ w praktyce eksploatacja takich napędów jest bardziej opłacalna niż napędów z silnikami szeregowymi prądu stałego [1, 2, 4]. Spowodowane to jest doskonałymi właściwościami silników indukcyjnych, dla których okresy międzyprzebiegowe są kilka razy dłuższe niż dla silników szeregowych prądu stałego.

8. Literatura

- [1]. Chudzik P. et al.: *Asynchroniczny napęd tramwajowy ze sterowaniem wektorowym – zasada działania*. Technika Transportu Szynowego, nr 3, 2004, p. 52-55
- [2]. Chudzik P. et al.: *Asynchroniczny napęd tramwajowy ze sterowaniem wektorowym – badania ruchowe*. Technika Transportu Szynowego, nr 4, 2004, p. 60-63
- [3]. Czuchra W. et al.: *Ocena energochłonności tramwajów z napędem asynchronicznym*. Konferencja MET'2005, p. 160-164
- [4]. Dziuba R. et al.: *Asynchroniczny napęd tramwaju z falownikami IGBT*. Technika Transportu Szynowego, nr 1-2, 2004, p. 72-75
- [5]. Van Dongen L., Schuit J. H.: *Energy-Efficient Driving Patterns in Electric Railway Traction*. International Conference on Main Line Railway Electrification, York UK, 1989, p. 154-158
- [6]. IEC 1133 *Electric traction – Rolling stock – Test methods for electric and thermal/electric rolling stock on completion of construction and before entry into service*.
- [7]. Kozierekiewicz M.: *Wpływ rodzaju układu napędowego na zużycie energii lokomotywy uniwersalnej zasilanej z systemu 3 kV prądu stałego*. Praca doktorska. Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, 2003
- [8]. Lehmann H.: *Energiesparende Fahrweise bei der Deutschen Bahn*. Elektrische Bahnen nr 7, 2007, p. 397-402
- [9]. Talar W.: *Kolejne modernizacje wagonów 805Na z napędem asynchronicznym ENI-ZNAP w MPK Łódź Sp. z o. o.* Technika Transportu Szynowego, nr 1-2, 2006, p. 38-40

Autorzy

mgr inż. Marcin Jędrzycka
e-mail: marcin.jedryczka@pesa.pl
tel. 052 339 13 56

dr inż. Mirosław Miszewski
e-mail: miroslaw.miszewski@pesa.pl
tel. 052 339 13 77

Pojazdy Szynowe PESA Bydgoszcz S.A. Holding, ul. Zygmunta Augusta 11
85-082 Bydgoszcz