

## KOLEJ METROPOLITALNA W TRÓJMIEŚCIE – INNE SPOJRZENIE

Przemysław PAZDRO<sup>1</sup>, Sławomir JUDEK<sup>2</sup>, Jacek SKIBICKI<sup>3</sup>

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. J. Sobieskiego 7, 80-216 Gdańsk  
tel: 58 347 14 16, fax: 58 341 08 80, e-mail: pazdro@ely.pg.gda.pl
2. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. J. Sobieskiego 7, 80-216 Gdańsk  
tel: 58 347 11 68, fax: 58 341 08 80, e-mail: s.judek@ely.pg.gda.pl
3. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. J. Sobieskiego 7, 80-216 Gdańsk  
tel: 58 347 29 71, fax: 58 341 08 80, e-mail: j.skibicki@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** Pomorska Kolej Metropolitalna jest jedną z największych planowanych inwestycji transportowych w rejonie aglomeracji trójmiejskiej. W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania fragmentu tej inwestycji jako umożliwienie szybkiego połączenia Lotniska Rębiechowo z centrum Gdańska. Zaproponowano rozwiązania techniczne konieczne do realizacji takiego połączenia dotyczące pojazdu i układu zasilania.

**Słowa kluczowe:** Pomorska Kolej Metropolitalna, trakcja elektryczna, zasilanie trakcyjne.

### 1. WPROWADZENIE

W numerze 9/2009 Techniki Transportu *Szynowego* ukazał się artykuł prezentujący projekt tzw. Pomorskiej Kolei Metropolitalnej w Trójmieście: Gdańsk – Sopot – Gdynia [1]. Przypomnijmy pewne założenia tego projektu. Celem jest realizacja:

- szybkiego połączenia szynowego międzynarodowego lotniska Gdańsk – Rębiechowo z Trójmiastem,
- dogodnego połączenia kolejowego Trójmiasta z zapleczem zachodnim – Kaszubami,
- sprawnego połączenia Szybką Koleją Miejską Trójmiasta z zachodnimi dzielnicami mieszkaniowymi.

Kluczowym elementem projektu jest odbudowa linii kolejowej uruchomionej w 1914 r. i zniszczonej w wyniku działań wojennych w 1945 r. Ta, jednotorowa linia, pokonuje ok. 100. metrową różnicę wzniesień na trasie ok. 10 km i przebiega w stosunkowo trudnym (ale malowniczym) terenie wzgórz morenowych.

Zniszczonych jest kilka wiaduktów, w tym 5 ponad wielopasmowymi obecnie trasami drogowymi. Pozostały na trasie wykopy i częściowo naruszone nasypy.

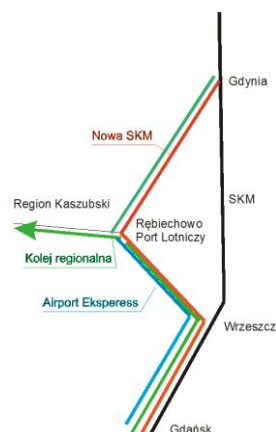
Po odbudowie przewiduje się połączenie tej linii z historyczną, funkcjonującą, tzw. linią węglową, której odcinek z Kościerzyny do Gdyni jest fragmentem rozpatrywanego projektu.

Rozpatrywane są obecnie trzy warianty projektu:

- pełnowymiarowa, dwutorowa, zelektryfikowana linia typu SKM, łącząca Gdańsk – Rębiechowo – Gdynię i zaplecze kaszubskie,
- wariant tramwajowo – kolejowy,

- wariant oszczędnościowy z wykorzystaniem taboru spalinowego.

Schematycznie projektowaną linię, a właściwie zespół linii, pokazano na rys. 1. Nakładają się tu na siebie połączenia o całkowicie różnym charakterze funkcjonalnym (tabl. 1).



Rys. 1. Schemat połączeń Pomorskiej Kolei Metropolitalnej

Jak widać z powyższego zestawienia zadania funkcjonalne trzech podsystemów są całkowicie różne i konfliktowe z punktu widzenia eksploatacyjnego. Połączenie różnych sprzecznych ze sobą systemów jest możliwe, ale w rezultacie zaden z tych systemów nie będzie działał poprawnie.

Proponujemy ograniczenie budowy PKM do dwóch podsystemów: szybkiego połączenia lotniska im. Lecha Wałęsy z Gdańskiem i Gdynią oraz Kolei Metropolitalnej łączącej Trójmiasto z zapleczem kaszubskim.

Dlaczego zrezygnować z funkcji szybkiej kolei miejskiej (SKM)? Projektowana trasa przebiega na obrzeżach dużych osiedli mieszkaniowych. Dla przykładu odległość planowanego przystanku „Niedźwiednik” do osiedla o tej nazwie wynosi ok. 1 km, a dodatkowo przystanek ma być usytuowany na wysokim nasypie ok. 15 m nad poziomem ulicy. Identyczna jest sytuacja w odniesieniu do przystanku „Morena”.

Tablica 1. Warianty realizacji Kolei Metropolitalnej

Podsystem	Funkcja	Charakterystyka
Nowa SKM	Szybka kolej miejska łącząca zachodnie dzielnice mieszkaniowe i lotnisko z centrum Gdańska i Gdyni.	Duża częstotliwość ruchu, liczne przystanki, tabor o dużej pojemności, sztywny rozkład jazdy, prędkość handlowa rzędu 30 km/h.
Kolej Regionalna	Połączenie kolejowe Trójmiasta z regionem kaszubskim.	Częstotliwość ruchu umiarkowana, zmienna. Przystanki na terenie trójmiasta węzłach przesiadkowych. Prędkość handlowa około 50 km/h.
Połączenie z lotniskiem [Airport Ekspres]	Szybkie, priorytetowe połączenie międzynarodowego lotniska z centrum Gdańska i Gdyni.	Częstotliwość ruchu zmienna, dostosowana do rozkładu lotów. Ilość przystanków ograniczona. Prędkość handlowa duża, max. 100 km/h

Jest kanonem urbanistycznego planowania komunikacji miejskiej zapewnienie tzw. strefy ciężenia o promieniu ok. 500 m od przystanku. Gdy ten warunek nie jest spełniony, linia transportowa nie będzie w pełni wykorzystana, tym bardziej, że działa komunikacja autobusowa i przewidywana jest rozbudowa sieci tramwajowej.

Zajmujemy się głównie linią Wrzeszcz – Rębiechowo, ale można też zwrócić uwagę, że SKM nie rozwiąże problemów komunikacyjnych dzielnicy Osowa. Stacja PKP znajduje się na peryferiach dzielnicy i przypisanie jej funkcji SKM niewiele zmieni.

Pozostaje więc funkcja połączenia szynowego z lotniskiem i z zapleczem kaszubskim.

Odbudowa linii Wrzeszcz – Kokoszki i dobudowanie stosunkowo krótkiego odcinka do lotniska pozwoli na realizację tych dwóch funkcji, przy równoczesnym znacznym ograniczeniu kosztów budowy.

Priorytetem powinno być szybkie, niezawodne połączenie szynowe z lotniskiem. Rozwiązania takie są stosowane w wielu aglomeracjach na świecie. Zakłada się odbudowę linii z Wrzeszcza do Kiełpina jako jednotorowej i budowę nowego odcinka do portu lotniczego Rębiechowo. Założenie odbudowy linii jako jednotorowej prowadzi do zasadniczego obniżenia kosztów wiaduktów i rewitalizacji nasypów, również dzięki ograniczeniu liczby przystanków. Dla zwiększenia przepustowości linii zakłada się długą mijankę w połowie trasy, pozwoli to na mijanie się pociągów bez zatrzymywania się i ograniczenia prędkości (przy zastosowaniu odpowiednich rozjazdów). Linia ma profil poziomy z ok. 50% długości łuków o promieniu powyżej 1000 m, a minimalny promień łuku wynosi 450 m. Pozwala to na założenie prędkości maksymalnej na poziomie 100 km/h [2].

## 2. CHARAKTERYSTYKA I PARAMETRY EKSPLOATACYJNE LINII

Połączenie Gdańska z Lotniskiem Rębiechowo, będzie zrealizowane przy wykorzystaniu fragmentów dwóch linii kolejowych. Linii nr 202 na odcinku Gdańsk Główny – Gdańsk Wrzeszcz, oraz linii nr 234 na odcinku Gdańsk Wrzeszcz – Kokoszki z dobudowanym odgałęzieniem do lotniska w Rębiechowie. Obie linie należą do różnych kategorii i cechują się odmiennymi parametrami. Odcinek

Gdańsk Główny – Gdańsk Wrzeszcz to fragment linii magistralnej o charakterze nizinny, będącej głównym kręgosłupem transportowym aglomeracji trójmiejskiej na osi północ-południe. Odcinek Gdańsk Wrzeszcz – Rębiechowo, to fragment linii lokalnej łączącej przed wojną Gdańsk z Kartuzami. Linia ta, na rozpatrywanym fragmencie, ma charakter linii podgórskiej. Na długości 14 km wznosi się ona z poziomu 18,8 m n.p.m. (stacja Gdańsk Wrzeszcz) do 140 m n.p.m. (przystanek Rębiechowo), a więc o ponad 120 m. Nachylenia sięgają 13,4% oraz występują liczne łuki o promieniach od 450 do 1200 m. Do analizy ruchowej założone następujące prędkości maksymalne. Na odcinku Gdańsk Główny – Gdańsk Wrzeszcz 120 km/h, gdyż taka prędkość maksymalna będzie obowiązywała na całym odcinku pomiędzy Gdańskiem a Gdynią po przeprowadzeniu planowanej na najbliższe lata modernizacji. Odcinek Gdańsk Wrzeszcz – Rębiechowo ze względu na trudny profil może zostać przystosowany do prędkości 100 km/h za wyjątkiem dwukilometrowego odcinka od strony Wrzeszcza, gdzie z powodu ciasnego łuku (450 m) wymagane jest ograniczenie do 80 km/h i takie wartości przyjęto do obliczeń.

## 3. DOBÓR TABORU

Dla obsługi szybkiego połączenia na lotnisko wymagany jest tabor o odmiennych parametrach niż w przypadku ruchu typu SKM. Wynika to ze specyfiki ruchu lotniczego, która powoduje, że dopływ pasażerów jest nieregularny, a związany z obsługą poszczególnych samolotów. Pojemność pociągu powinna być dostosowana do przyjęcia pasażerów przylatujących z jednego, dwóch lub najwyżej trzech samolotów, a czas oczekiwania na pociąg nie powinien przekraczać 15 minut, gdyż w przeciwnym razie pasażerowie wybiorą inny środek transportu. Obecnie gdańskie lotnisko obsługuje około 80 przylotów i tyleż odlotów dziennie. Należy przewidywać, że liczba ta będzie się zwiększać. Obecnie czas pomiędzy kolejnymi przylotami jest nieregularny (podobnie jak pomiędzy odlotami) i waha się od 5 minut do prawie godziny. W przyszłości jednak, dzięki modernizacji lotniska odstępy te będą ulegały redukcji. Ograniczeniem jest tu pojedynczy pas startowy. Zakładając częstotliwość przylotów na poziomie 20 na godzinę otrzymamy średni czas odstępu pomiędzy samolotami wynoszący 3 minuty. Ponieważ połączenia lotnicze z Gdańska obsługiwane są przez maszyny małej i średniej wielkości, przyjęto średnią pojemność samolotu wynoszącą ok. 150 miejsc. Daje to strumień pasażerów wynoszący ok. 3000 pas./h w każdym kierunku. Zakładając, że z tej liczby połowa pasażerów będzie chciała dojechać do Gdańska, a kolejne 50% z nich wybierze kolej jako środek transportu otrzymamy potok pasażerów wynoszący około 750 pas/h w każdym kierunku. Należy zatem zapewnić taką liczbę miejsc, przy jednoczesnym spełnieniu warunku długości czasu oczekiwania na pociąg. Liczba miejsc w pociągu musi zatem wynosić około 120 (przy założeniu 6 kursów na godzinę). Pożądane jest również aby pojazd cechował się jak najmniejszą energochłonnością i wartością prędkości konstrukcyjnej wynoszącą 120 km/h. Wyższa prędkość nie jest potrzebna, gdyż parametry trasy nie pozwolą na jej wykorzystanie. Z dostępnych na rynku pojazdów warunki te spełnia np. elektryczny wagon silnikowy typu EN 81 produkcji PESA Bydgoszcz. Widok i podstawowe parametry techniczne pojazdu przedstawiono na rys. 2 i w tabl. 2 [3].



Rys. 2. Widok pojazdu EN 81 [3]

Tablica 2. Podstawowe dane techniczne pojazdu EN 81

Producent	PESA Bydgoszcz
Napięcie zasilania	3 kV DC
Prędkość maksymalna	120 km/h
Liczba miejsc siedzących	60
Liczba miejsc stojących	70
Moc silników trakcyjnych	560 kW
Przyspieszenie rozruchu	1 m/s <sup>2</sup>

Pojazd ten może kursować samodzielnie, w trakcji podwójnej lub z wagonem doczeptym (przy ograniczonych parametrach trakcyjnych). Dla obliczeń przyjęto, że wykorzystane zostaną pojedyncze pojazdy, jak również przeliczono wariant dla trakcji podwójnej.

#### 4. OBLICZENIA PRZEJAZDU TEORETYCZNEGO

Obliczenia przejazdu teoretycznego wykonano w arkuszu kalkulacyjnym przy następujących założeniach:

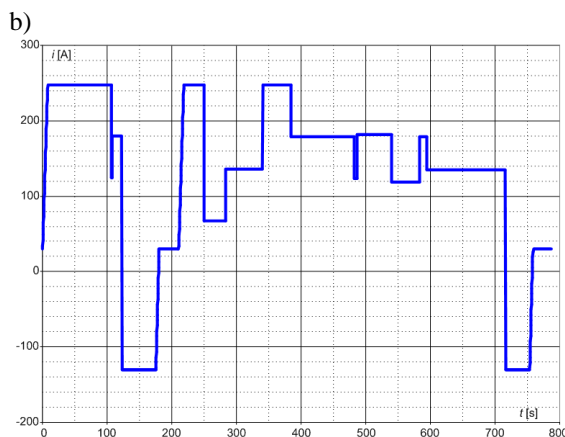
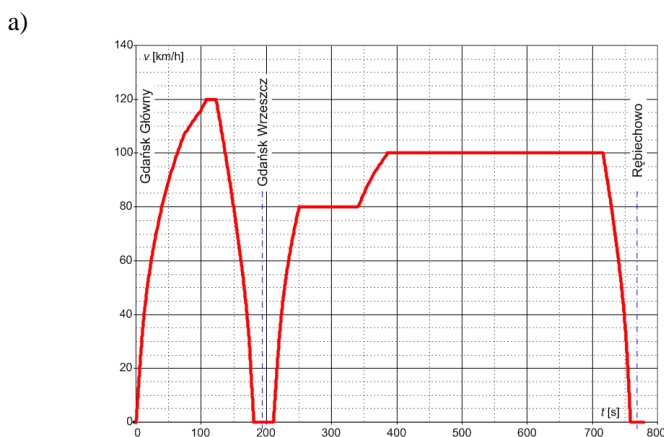
- obliczenia wykonano analitycznie metodą średnich prostokątów przy założonym kroku zmiany prędkości wynoszącym  $\Delta v = 1 \text{ km/h}$ ;
- pojazd traktowany jest jako punkt materialny;
- profil linii został uproszczony zgodnie z obowiązującymi zasadami;
- opory ruchu zależne od prędkości wyliczono z empirycznego wzoru CNTK [9]:

$$W = (0,65 + 0,054 \cdot v) \cdot Q + 147 \cdot n + (2,7 + z) \cdot 1,271 \cdot v^2, \quad (1)$$

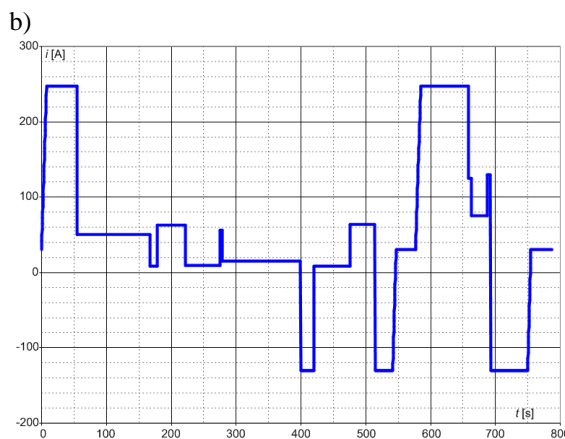
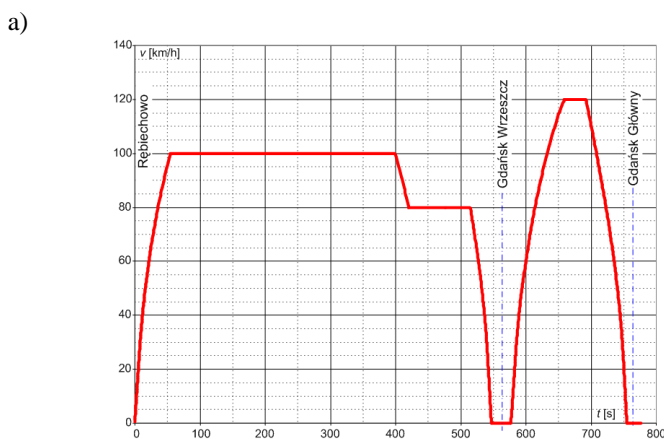
gdzie:  $W$  – opory ruchu [N];  $v$  – prędkość [m/s];  $Q$  – nacisk zespołu na tor [kN];  $n$  – liczba osi w zespole;  $z$  – liczba wagonów zespołu;

- przyjęto maksymalne zapełnienie pojazdu;
- założono, że ogrzewanie (klimatyzacja) są włączone;
- wszystkie przejazdy wykonano dla forsownej techniki jazdy (bez wybiegu) [6, 7, 9].

Poniżej na rys. 3 i 4 przedstawiono podstawowe wyniki obliczeń przejazdu teoretycznego, tj przebiegi prędkości w funkcji czasu i prądu pobieranego przez pojazdy dla obu kierunków ruchu.

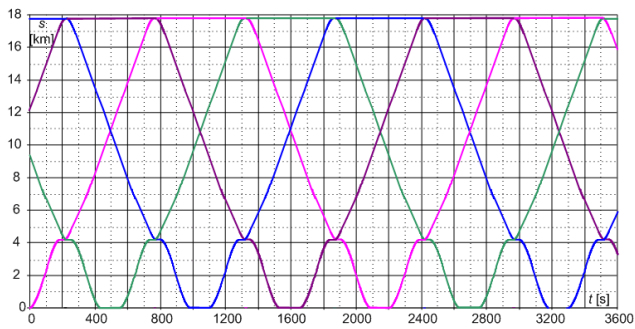


Rys. 3. Wyniki obliczeń przejazdu teoretycznego dla jazdy w relacji Gdańsk Główny - Rębiechowo, gdzie: a) przebieg prędkości; b) przebieg prądu pobieranego przez pojazd (dla trakcji pojedynczej)



Rys. 4. Wyniki obliczeń przejazdu teoretycznego dla jazdy w relacji Rębiechowo - Gdańsk Główny, gdzie: a) przebieg prędkości; b) przebieg prądu pobieranego przez pojazd (dla trakcji pojedynczej)

Na podstawie otrzymanych wyników i uwzględniając przedstawione wcześniej założenia odbudowy linii (linia jednotorowa z długą mijanką pośrodku trasy) opracowano rozkład jazdy przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. Proponowany rozkład jazdy

Jak można zauważyć dla przyjętych założeń, przepustowość linii jest wystarczająca i umożliwia zrealizowanie założonej liczby połączeń (sześć kursów na godzinę w każdą stronę), a do obsługi trasy potrzebne są cztery jednostki taborowe.

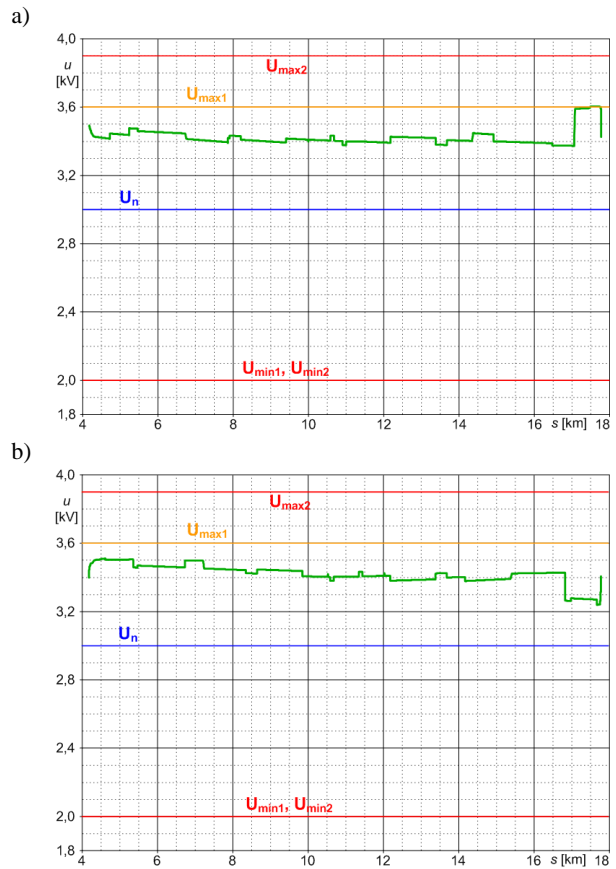
## 5. ZASILANIE LINII

W obliczeniach dotyczących układu zasilania rozpatrzone zostały jedynie odcinki pomiędzy stacją Gdańsk Wrzeszcz a lotniskiem w Rębiechowie. Przyjęto, że układ zasilania pozostałego fragmentu trasy dobrany jest tak, iż dodatkowe obciążenie w postaci pociągów jadących na lotnisko nie wpłynie na przekroczenie dopuszczalnych poziomów napięć i prądów z podstacji. Odcinek Gdańsk Wrzeszcz – Rębiechowo wymaga doboru układu zasilania od podstaw. Obliczenia wykonano dla następujących założeń:

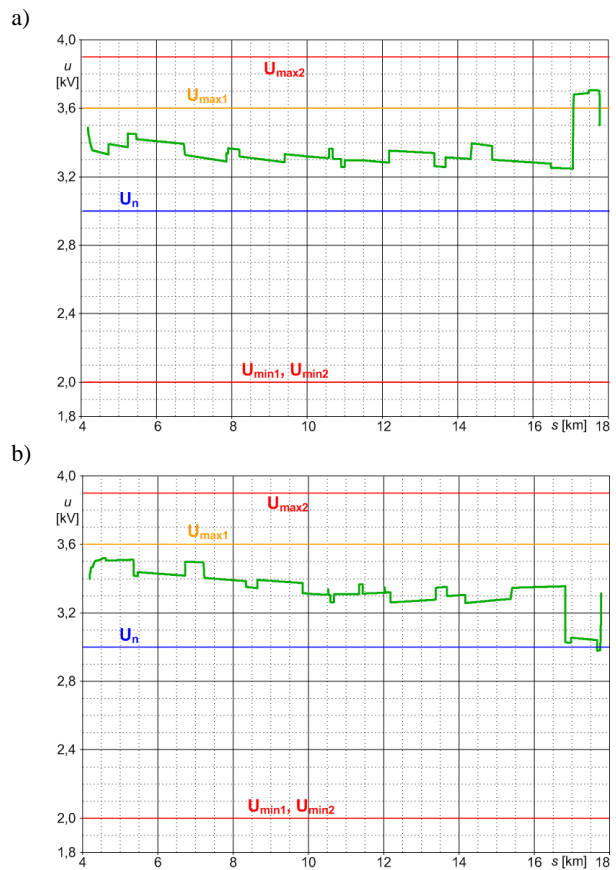
- przyjęto jednostronne zasilanie linii z podstacji trakcyjnej we Wrzeszczu (nieduża moc pojazdów i stosunkowo krótki odcinek linii umożliwiły wybór takiego założenia wstępnego);
- przyjęto, że jako sieć jezdna zostanie zastosowana sieć typu YC150-2CS150, taka sama jaka planowana jest do wykorzystania na linii SKM;
- sieć powrotna składa się z szyn typu S49 ułożonych bezстыkowo.

Obliczenia wykonano metodą symulacyjną dla wariantów obsługi linii pojedynczymi jednostkami EN 81 oraz dla obsługi takimi samymi jednostkami w trakcji podwójnej [5, 8]. Na rys. 6 i 7 pokazano zależności wartości napięcia na odbieraku prądu pojazdu w funkcji drogi dla jazdy w kierunku lotniska oraz w kierunku Wrzeszcza, odpowiednio dla pojedynczej i podwójnej obsługi trakcyjnej. Na wykresach oznaczono minimalne i maksymalne wartości napięć dopuszczalnych w sieci trakcyjnej [4]:

- $U_{min1}$  – minimalna wartość napięcia w sieci trakcyjnej dopuszczalna długotrwale (2 kV);
- $U_{min2}$  – minimalna wartość napięcia w sieci trakcyjnej dopuszczalna krótkotrwale (2 kV);
- $U_n$  – znamionowa wartość napięcia zasilania (3 kV);
- $U_{max1}$  – maksymalna wartość napięcia w sieci trakcyjnej dopuszczalna długotrwale (3,6 kV);
- $U_{max2}$  – maksymalna wartość napięcia w sieci trakcyjnej dopuszczalna nie dłużej niż 2 minuty (3,9 kV).



Rys. 6. Wartości napięcia na odbieraku prądu pojazdu w funkcji długości odcinka dla obsługi linii trakcją pojedynczą, gdzie: a) jazda w kierunku lotniska; b) jazda w kierunku Gdańsk Gł.

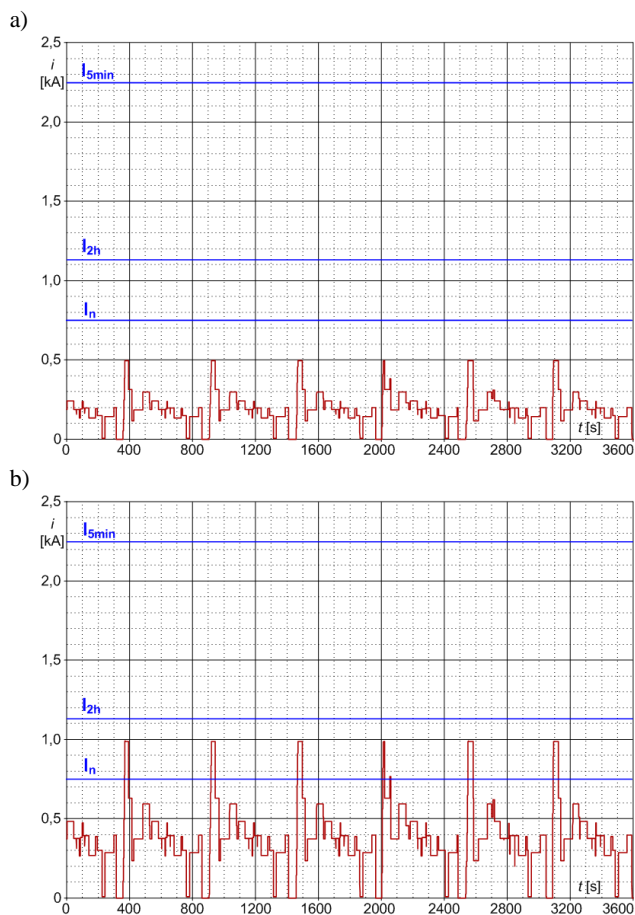


Rys. 7. Wartości napięcia na odbieraku prądu pojazdu w funkcji długości odcinka dla obsługi linii trakcją podwójną, gdzie: a) jazda w kierunku lotniska; b) jazda w kierunku Gdańsk Gł.



Na uwagę zasługuje fakt, że dla przyjętych założeń parametry zasilania elektrotrakcyjnego spełniają obowiązujące normy, a zasilanie jednostronne linii jest całkowicie wystarczające.

Dobre do zadań przewozowych pojazdy cechuje niewielka wartość prądu pobieranego z podstacji. Obliczenia wykazały, że do zasilania linii wystarczy doposażyć podstację Wrzeszcz w jeden zespół prostownikowy typu PK-17/3,3. Na rys. 8 pokazano przebiegi prądu pobieranego z podstacji w czasie jednej godziny.



Rys. 8. Przebieg prądu pobieranego z podstacji trakcyjnej, a) dla obsługi linii trakcją pojedynczą; b) dla obsługi linii trakcją podwójną

Na przebiegach zaznaczono wartości prądów maksymalnych dopuszczalnych dla przyjętego typu zespołu prostownikowego. Wyniki przedstawiono odpowiednio dla obsługi linii trakcją pojedynczą i podwójną.

Widać, że moc pojedynczego zespołu prostownikowego PK-17/3,3 jest wystarczająca a wartości prądów maksymalnych nie zostały w żadnym przypadku przekroczone. Potwierdzają to wyliczone wartości prądów maksymalnych, średnich oraz skutecznych przedstawione w tabl. 3.

Tablica 3. Podstawowe dane techniczne pojazdu EN 81

Wariant obsługi linii	1 x EN81	2 x EN81
Prąd maksymalny [A]	495	988
Prąd średni [A]	185	371
Prąd skuteczny [A]	212	423

## 6. WNIOSKI

Autorzy opracowania zdają sobie sprawę, że przedstawiona w opracowaniu propozycja jest dyskusyjna. Przytoczone rozważania pokazują, że wykorzystując infrastrukturę planowanej Pomorskiej Kolei Metropolitalnej jest możliwe zrealizowanie szybkiego połączenia trójmiejskiego portu lotniczego z centrum Gdańska. Wymaga to jednak rezygnacji z funkcji SKM dla planowanej linii. Należy mieć świadomość, że decyzja z różnych względów nie należy do łatwych. Na obecnym etapie prac projektowych zapewne nie zostanie podjęta, chyba że zadecydują tu warunki finansowania. Funkcja szybkiego połączenia lotniska z centrum miasta może jednak zostać zrealizowana w czasie, gdy przewozy SKM nie są prowadzone, przy jednoczesnym występowaniu ruchu lotniczego, czyli w godzinach nocnych, lub poza godzinami szczytu komunikacyjnego. Pozwoliłoby to na zapewnienie, przynajmniej w pewnych porach dnia, ekspresowego połączenia szynowego portu lotniczego z centrum miasta.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Szczyt A.: Kolej Metropolitalna w Trójmieście. TTS 09/2009. ISSN 1232-3829
2. Koc W.: Znaczenie linii Wrzeszcz – Stara Piła w obsłudze regionu. Sympozjum: „Transport szynowy w obsłudze regionu”, Gdańsk 2000.
3. Elektryczny zespół trakcyjny EN81 dla województwa świętokrzyskiego. Materiały firmowe PESA S.A.
4. PN-EN 50163:2006. Zastosowania kolejowe – Napięcia zasilania systemów trakcyjnych.
5. Hanasz M., Ostaszewicz J., Wdowiak J.: Sieci i podstacje trakcji elektrycznej. WKiŁ, Warszawa 1965.
6. Destraz B., Barrade P., Rufer A., Klohr M.: Study and Simulation of the Energy Balance of an Urban Transportation Network. Materiały konferencji EPE 2007, Aalborg 2007.
7. Szelaż A.: Zagadnienia analizy i projektowania systemu trakcji elektrycznej prądu stałego z zastosowaniem technik modelowania i symulacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
8. Judek S., Skibicki J.: Wyznaczanie parametrów elektrycznych trakcyjnego układu zasilania dla złożonych warunków ruchu przy wykorzystaniu programu PSpice. Przegląd Elektrotechniczny, nr 12, 2009.
9. Podoski J., Kacprzak J., Mysłek J.: Zasady trakcji elektrycznej. WKiŁ, Warszawa 1980.

## METROPOLITAN RAILWAY IN TRICITY - OTHER LOOK

**Key-words:** Pomeranian Metropolitan Railway, electric traction, traction power supply

Pomeranian Metropolitan Railway is one of the largest transport investment planned in the Tri-City area. The article presents the concept used as part of this investment to enable a fast connection to allow Rębiechowo Airport to the centre of Gdansk. Technical solutions necessary to achieve this combination of vehicle and power system has been proposed.

