

KWAŚNIKOWSKI Jerzy¹
GRAMZA Grzegorz²
SMOCZYŃSKI Piotr³

ANALIZA SYMULACYJNA I WIZUALIZACJA RUCHU TRAMWAJU

Praca zawiera zastosowanie wizualizacji wyników symulacji komputerowych procesu ruchu tramwaju. Opisano krótko pakiet wykorzystanych w tym celu programów symulacyjnych RSEL/RSDL oraz oprogramowanie wizualizacyjne RONG. Przedstawiono przykładowe zastosowanie tych programów komputerowych w symulacji ruchu tramwajów Konstal 105Na i Tatra/HCP RT6N1 na trasie Poznańskiego Szybkiego Tramwaju (PST)

SIMULATION AND VISUALIZATION OF TRAMWAY CAR MOVEMENT

In this paper the use of tramway car movement simulation and visualisation is presented. At the beginning, a package of simulation programs RSEL/RSDL and a visualization program RONG are shortly described. An example application of this software with two tram types: Konstal 105Na i Tatra/HCP RT6N1 on an existing track in Poznań and are given.

1. WSTĘP

W obrębie dużych aglomeracji miejskich organizacja transportu publicznego ma bardzo duże znaczenie. Poprawne rozwiązania komunikacyjne transportu zbiorowego pozwalają na uniknięcie wielu zagrożeń współczesnych miast związanych z wypadkami komunikacyjnymi i stratami czasu z powodu kongestii ruchu, a sprawnie działający system transportu publicznego stanowi konkurencję dla transportu indywidualnego. Jednym ze sposobów realizacji zadań w publicznym transporcie zbiorowym są przewozy transportem szynowym – pociągami, metrem i tramwajami. Sprawnie funkcjonująca sieć połączeń tramwajowych – szczególnie z wydzielonym torowiskiem – pozwala na szybkie przemieszczanie się dużych potoków pasażerów. Nie jest to jedyna forma realizacji przewozów zbiorowych na terenie aglomeracji miejskich. Często wykorzystywana jest w tym celu sieć połączeń autobusowych. Każda forma realizowanych przewozów posiada

¹ Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel.: (61) 665 2612, e-mail: jerzy.kwasnikowski@put.poznan.pl,

² Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel.: (61) 665 2017, e-mail: grzegorz.gramza@put.poznan.pl,

³ Student specjalności Transport Szynowy, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, e-mail: psmoczyński@wp.pl

pewne cechy np. techniczne, ekonomiczne, jakościowe, które decydują o zastosowaniu odpowiedniej technologii przewozów. Teoretyczna maksymalna zdolność przewozowa poszczególnych środków transportu przedstawiona została w tab. 1. Ostatecznie tylko takie rozwiązania mogą stać się konkurencyjne i na tyle atrakcyjne aby mogły zostać wdrożone do realizacji, które pozwolą na spełnienie określonych wymagań odnośnie jakości ruchu.

Tab. 1. Teoretyczna maksymalna zdolność przewozowa poszczególnych środków transportu

Środek komunikacji	Prędkość handlowa [km/h]	Potok pasażerski [tys. pas./h]	Wydajność [tys. pas. km/h]
Autobus, Trolejbus	20 - 25	9-10	180-250
Tramwaj tradycyjny	10 - 20	12,5 - 18	125-360
Tramwaj szybki	25 - 30	20	500-600
Metro	35 - 40	40	1400-1600
Kolej podmiejska	40-50	50	2000-2500

Bibliografia: [5, 16]

Ocena przydatności rozwiązań komunikacji publicznej może być wspomagana analizą symulacyjną. Metody modelowania i symulacji komputerowej często umożliwiają również wizualizację wyników badań w celu ich obrazowego przedstawienia i szybszej analizy. W pracy przedstawiono zastosowanie oprogramowania do analiz symulacyjnych przejazdów pojazdów szynowych RSEL, oraz programu RONG do wizualizacji wyników symulacji. Przykładowe przejazdy symulacyjne wykonano na wydzielonej trasie Poznańskiego Szybkiego Tramwaju (PST). Celem badań było porównanie realizacji zadań przez dwa typy tramwajów wykorzystywanych przez MPK Poznań Sp. z o.o – Konstal 105Na i Tatra/HCP RT6N1.

2. NARZĘDZIA WYKORZYSTANE W ANALIZIE SYMULACYJNEJ

2.1 Symulator procesu ruchu pojazdu szynowego RSEL/RSDL

Do analiz symulacyjnych wykorzystano symulator cyfrowy procesu ruchu pociągu RSEL. Jest to jeden z programów pakietu RSEL/RSDL (Run Simulation of Electric Locomotives/Run Simulation of Diesel Locomotives). Pakiet ten umożliwia odwzorowanie ruchu pojazdu szynowego według trzech sposobów sterowania:

- minimalno-czasowego (forsownego – MR),
- przy zadanym czasie przejazdu (quasi-forsownego – SL)
- energooszczędnego, również przy zadanym czasie przejazdu (FC).

Przejazd minimalno-czasowy dostarcza informacji o najkrótszym czasie przejazdu zadanej trasy oraz możliwościach trakcyjnych pojazdu przy obciążeniu ekstremalnym. Przejazd quasi-forsowny realizowany jest w zadanym czasie przejazdu dłuższym od minimalnego przy konwencjonalnym sposobie sterowania, podobnym do obserwowanego u maszynistów nie przeszkolonych do jazdy energooszczędnej. Przejazd energooszczędny odbywa się w zadanym czasie, a regulacja czasu przejazdu wykonywana jest przez wymuszanie odcinków jazdy wybiegiem (bez napędu) przed hamowaniem i na spadkach profilu. Szczegółowy opis podstawowych procedur programów RSEL/RSDL znajduje się

w pracy [7]. Zastosowanie tych programów i wybrane wyniki symulacji przedstawiono w pracach [6, 8, 9, 10, 11, 12].

2.2 Program do wizualizacji analiz symulacyjnych RONG

Do wizualizacji wyników symulacji wykorzystano program RONG (z estońskiego: *pociąg*), który powstał w ramach pracy inżynierskiej na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej [17]. W jego opracowaniu wykorzystano zarówno własne doświadczenia autora w pracy z wcześniejszym oprogramowaniem wizualizacyjnym HASLER [2], jak i analizę możliwości innych rozwiązań informatycznych [1, 3, 4]. Program posiada nowoczesny interfejs, dzięki któremu możliwe jest nie tylko tworzenie wykresów, ale także intuicyjne wyświetlanie wyników symulacji liczonych przez pakiet symulacyjny RSEL/RSDL. Wykresy można w dużym zakresie dostosowywać do własnych potrzeb, na przykład poprzez powiększanie interesujących fragmentów i zmianę proporcji. Utworzone wizualizacje można zapisywać w plikach graficznych różnych formatów i w zadanej rozdzielczości.

3. ANALIZA SYMULACYJNA PRZEJAZDU TRAMWAJÓW

3.1 Linia tramwajowa PST (Poznański Szybki Tramwaj)

Poznański Szybki Tramwaj (PST) to ok. sześciokilometrowa zupełnie bezkolizyjna trasa tramwajowa, wiodąca z centrum miasta na osiedla mieszkaniowe Winograd i Piątkowa. Trasa ta składa się z ponad półkilometrowej estakady nad Bogdanką oraz z torowisk położonych w specjalnie wykonanym wykopie. Wszystko to pozwala na jazdę z prędkością 70 km/h. Pierwsza koncepcja budowy linii szybkiego tramwaju w Poznaniu powstała już w 1928 roku. Linia ta biegnąca torami kolejowymi w wykopie miała połączyć Luboń z Winiarami przechodząc wiaduktem nad ul. Poznańską. Poznański Szybki Tramwaj planowany od wielu lat został zaprojektowany w 1978 roku. Miał on być linią szybkiej kolei miejskiej lub metra. Budowę PST rozpoczęto w roku 1982. Trasa ta miała być linią oddzieloną od torowisk miejskich, posiadającą własny tabor - specjalny typ tramwaju, przystosowany do wysokich peronów - oraz specjalną zajezdnię na tzw. Trójkpolu (dziś w tym miejscu znajduje się centrum handlowe). W tzw. dziurze toruńskiej miała powstać druga pętla. Do dzisiaj pozostały tam słupy trakcyjne. Przygotowano również wyprofilowane nasypy pod torowiska oraz wiadukt do planowanej zajezdni. W chwili obecnej wiadukt służy jako dojazd do centrów handlowych. Na początku lat 90-tych XX wieku wystąpiły trudności finansowe. Najpierw pojawiła się koncepcja obsługi linii spalinowymi szynobusami, a w 1992 roku podjęto decyzję o przyłączeniu linii PeSTki do sieci torowisk miejskich. W związku z tym tory u wyjścia PST połączono z torami na ulicy Roosevelta. Cięcia kosztów spowodowały, że zrezygnowano z budowy zajezdni, stacji Wielkopolska oraz pętli przy Moście Teatralnym. Wybudowano za to przystanki na pętli na os. Sobieskiego. Planowano też połączyć pętlę Połabska (wtedy Serbska) i Piątkowska z trasą PST, ale skończyło się tylko na planach. Trasę otwarto 1 lutego 1997 roku. Na początku trasę obsługiwały głównie tramwaje z Niemiec i Holandii oraz tramwaje generacji 105N, jednak na przełomie 1997/98 na trasę wyjechały niskopodłogowe tramwaje typu RT6N1 Tatra a w latach 2003-04 tramwaje typu Siemens Combino. Od roku 2011 między

ul. Roosevelta a pętlą na os. Sobieskiego kursują także tramwaje Tramino produkcji Solarisa (opracowano na podstawie [18]).

Poznański Szybki Tramwaj posiada 6 przystanków. Nad wszystkimi stacjami, oprócz tej przy Lechickiej, znajdują się przystanki autobusowe. Jadąc od centrum w kierunku północnym są to:

- Słowiańska,
- Aleje Solidarności,
- Lechicka/Poznań Plaża,
- Kurpińskiego,
- Szymanowskiego,
- pętla Os. Jana III Sobieskiego.

3.2 Tramwaje wykorzystane w analizie symulacyjnej

W analizie symulacyjnej wykorzystano charakterystyki dwóch typów tramwajów stosowanych na sieci MPK Poznań Sp. z o.o. Pierwszy z nich to dwuwagonowy skład tramwaju 105Na produkcji Konstalu, najbardziej rozpowszechniony pojazd na torach tramwajowych w Polsce. W latach 1979-1992 wyprodukowano łącznie 1443 sztuk, z których w Poznaniu do dnia dzisiejszego pozostaje prawie 200 sztuk [15].



Rys.1. Tramwaj typu 105Na na pętli na os. Sobieskiego w Poznaniu (fot. własna)

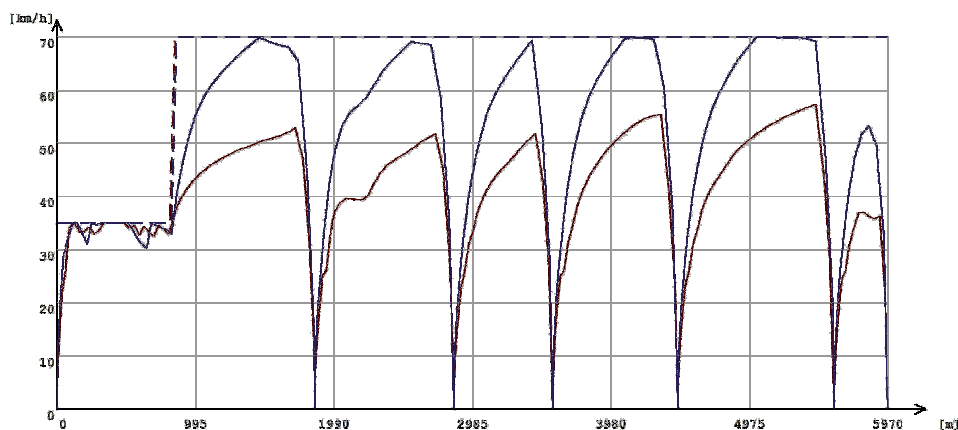
Każdy wagon posiada dwa dwuosiove wózki skłętne i 4 silniki o mocy 41,5 kW każdy. Prędkość maksymalna tramwaju wynosi 70 km/h, jego długość to 13,5 metra, a masa – 17 ton. W stosowanej w Poznaniu konfiguracji dwuwagonowej tramwaj może przewieźć 250 pasażerów, w tym 40 na miejscach siedzących.

Nowszą konstrukcją jest drugi tramwaj RT6N1, wyprodukowany przez konsorcjum czeskiego ČKD i poznańskiego HCP. W latach 1997-1998 dla MPK Poznań powstało łącznie 10 sztuk, które nadal znajdują się na stanie przewoźnika [15]. Sam projekt

konstrukcji jest nieco starszy, prace nad nim rozpoczęto już w 1990 roku. Pojazdy charakteryzują się stosunkowo niską niezawodnością. Pewnym problemem jest także szerokość pudła, przekraczająca polskie normy – pojazd cały czas posiada jedynie warunkowe dopuszczenie do ruchu. Konstrukcja jest trójwózkowa, sześćoosiowa i posiada 4 silniki o mocy 102,5 kW każdy. Maksymalna prędkość tramwaju to 80 km/h, długość wynosi nieco ponad 26 m, a masa – około 33 tony. W jednym pojeździe mieści się 309 pasażerów, w tym prawie 50 na miejscach siedzących. Tramwaj jest w 63% niskopodłogowy. Prócz Poznania, pojedyncze sztuki wyprodukowane zostały dla Pragi oraz Brna (opracowano na podstawie [13]).

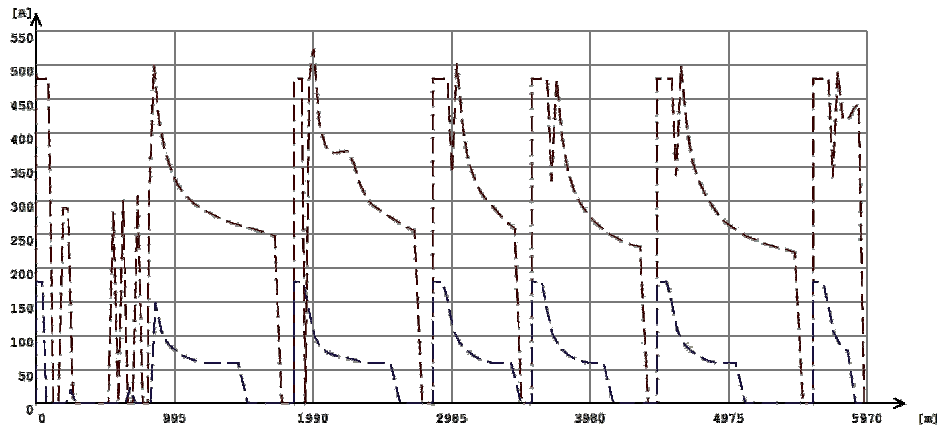
3.3 Wyniki badań

W ramach badań wykonano symulacje przejazdów opisanymi tramwajami na trasie PST w kierunku północnym, z ul. Roosevelta na pętli na os. Sobieskiego. Wykorzystano minimalno-czasową procedurę prowadzenia pociągu, pozwalającą na porównanie parametrów biegowych obu konstrukcji. Na rysunku 2. przedstawiono wykres prędkości w funkcji drogi dla obu tramwajów.



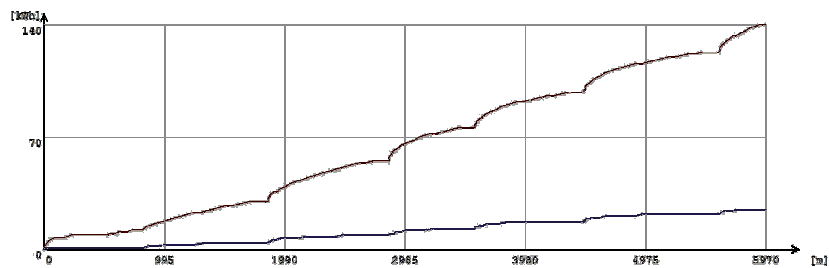
Rys.2. Wykres trajektorii $v(s)$ symulowanego przejazdu z ul. Roosevelta na os. Sobieskiego, kolorem niebieskim oznaczono tramwaj Tatra/HCP RT6N1, a kolorem brązowym – Konstal 105Na

Linia przerywaną na wykresie zaznaczono obowiązującą na trasie prędkość maksymalną. Ograniczenie na początkowym odcinku związane jest z pokonaniem ciasnych łuków przeprowadzających tory tramwajowe pod wiaduktem kolejowym. Z wykresu wyraźnie widać, że jazda tramwaju RT6N1 jest zdecydowanie bardziej dynamiczna. Wyższe o około 50% niż w przypadku polskiej konstrukcji wartości przyspieszeń umożliwiają wykorzystanie prędkości maksymalnej obowiązującej na PST. Dla tramwaju 105Na jest ona nieosiągalna z powodu zbyt małych odległości między przystankami. Skutkuje to różnicą w najkrótszym możliwym czasie przejazdu, który dla starszego tramwaju wynosi 617 sekund, a dla nowszego tylko 500 sekund. To przekłada się na prędkość techniczną, wynoszącą odpowiednio 34 i 43 km/h.



Rys.3. Wykres natężenia prądu zespołu silników podczas symulacji przejazdu z ul. Roosevelta na os. Sobieskiego, kolorem niebieskim oznaczono tramwaj Tatra/HCP RT6N1, a kolorem brązowym – Konstal 105Na

Na rysunku 3 zobrazowane zostały wartości natężenia prądu zespołu silników podczas symulowanych przejazdów. W obu przypadkach największe natężenia prądu występują podczas ruszania pojazdów ze stacji, zdecydowanie różne są jednak wyrażone liczbowo ich wartości maksymalne. Dla starszej konstrukcji prąd zespołu silników osiąga natężenie rzędu 500 A, w przypadku nowszego tramwaju jest to tylko 200 A. Można więc stwierdzić, że nowsze silniki nie tylko pozwalają pojazdowi na bardziej dynamiczną jazdę, ale są także zdecydowanie bardziej energooszczędne. Różnica zużytej energii na całości trasy wynosi 115 kWh. Wzajemny stosunek zużytej energii dla obu przejazdów przedstawiony został na rysunku 4.



Rys.4. Wykres energii zużytej na przejazd trasy PST, kolorem niebieskim oznaczono tramwaj Tatra/HCP RT6N1, a kolorem brązowym – Konstal 105Na

4. PODSUMOWANIE

Pakiet symulacyjny RSEL/RSDL w połączeniu z nowym programem wizualizacyjnym RONG jest narzędziem pozwalającym na symulowanie ruchu zarówno pociągów, jak i tramwajów. Symulacje dostarczyć mogą cennych informacji dotyczących zużycia energii, a także możliwych do uzyskania czasów przejazdów między przystankami. Wyniki przedstawionych symulacji prowadzą do wniosku, iż wyeliminowanie starych pojazdów z sieci tramwajowej w Poznaniu umożliwiłoby korzystne dla pasażerów zmiany w rozkładach jazdy. Jednocześnie osiągnięto by zmniejszenie kosztów zużywanej energii elektrycznej. Istnieje możliwość wykonania przejazdów dowolnymi pojazdami, pod warunkiem dostarczenia odpowiednich danych wejściowych, przede wszystkim charakterystyk pojazdów i trasy.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Burak-Romanowski R.: Energetyczne aspekty poprawy stanu infrastruktury kolejowej. *Infrator*, nr 5/2009.
- [2] Dzioba T.: Problemy doboru parametrów pojazdów trakcyjnych. Praca magisterska pod kierunkiem B. Kasprzaka, Politechnika Poznańska 1991.
- [3] Gaudyn R.: Komputerowa symulacja ruchu pociągu w ujęciu praktycznym. Praca inżynierska pod kierunkiem J. Kwaśnikowskiego, Politechnika Poznańska 2010.
- [4] IVE DYNAMIS Program [online, dostęp 20.09.2011], <http://www.ivembh.de/dynamis/programm.en.htm>.
- [5] Kacprzak J., Kelles-Krauz M.: Podstawy trakcji elektrycznej w komunikacji miejskiej. Wyższa Szkoła Inżynierska, Radom 1995.
- [6] Kwaśnikowski J.: Energetyczne i czasowe skutki ograniczeń prędkości dla pociągu prowadzonego lokomotywą EU07. *Technika Transportu Szynowego*, 3/1994, str. 28-30.
- [7] Kwaśnikowski J.: Modelowanie i symulacja komputerowa procesu ruchu pociągu. Wyd. Politechniki Poznańskiej, serii rozprawy, nr 264, Poznań 1992.
- [8] Kwaśnikowski J.: Ograniczenia prędkości a forsowność jazdy pociągu. *Problemy Eksploatacji*, vol. 44, nr 1/2002 str. 167-175.
- [9] Kwaśnikowski J.: Wpływ wzniesień i zakłóceń ruchu na zużycie energii i czas jazdy lokomotywy ET22 z pociągiem towarowym. *Technika Transportu Szynowego*, nr 6/1994, str. 38-41.
- [10] Kwaśnikowski J., Gramza G.: Porównanie własności trakcyjno-ruchowych lokomotyw EU07 i ET22 ze składem towarowym. *Mat. XII Krajowej i VI Międzynarodowej Konferencji „QSEV’ 09”*, Kraków 15-16 czerwca 2009 r., str. 153-159.
- [11] Kwaśnikowski J., Gramza G.: Wpływ zakłóceń ruchu i profilu trasy na zużycie energii przez lokomotywę elektryczną EU07 prowadzącą pociąg pasażerski. *Mat. IX Konferencji TransComp, Zakopane 5-8 grudnia 2005. Prace Naukowe Politechniki Radomskiej - Elektryka*, nr 1 (9) 2005, str. 131-136.
- [12] Kwaśnikowski J., Komar D.: Wpływ sposobu prowadzenia pociągu lokomotywą elektryczną EU07 na czas jazdy i zużycie energii. *Mat. IX Konferencji TransComp, Zakopane 5-8 grudnia 2005. Prace Naukowe Politechniki Radomskiej - Elektryka*, nr 1 (9) 2005, str. 137-142.

- [13] Lubka A., Stiasny M.: Atlas tramwajów. Poznański Klub Modelarzy Kolejowych, Wyd. 1, Poznań 2004.
- [14] MaSzyzna EU07-424 symulator pojazdów szynowych (online, dostęp 20.09.2011), <http://eu07.pl/>.
- [15] Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Poznaniu – Tabor Tramwajowy (online, dostęp 6.10.2011), <http://www.mpk.poznan.pl/o-mpk/tabor/63-tabor-tramwajowy>.
- [16] Rataj M., Ostaszewicz J.: Szybka komunikacja miejska, WKiŁ, Warszawa 1979.
- [17] Smoczyński P.: Wizualizacja wyników komputerowych symulacji procesu ruchu pociągu. Praca inżynierska pod kierunkiem G. Gramzy, Politechnika Poznańska 2011.
- [18] Strona internetowa "Komunikacja Miejska: Poznańska Komunikacja" (online, dostęp 20.09.2011) <http://www.kmpk.cba.pl/>.

Praca finansowana z projektu N R 10 0037 06