

# Symulacja krakowskiej sieci tramwajowej

Kamil Kulig, Łukasz Mróz, Aleksandra Pierzchała

## 1. Wstęp

Funkcjonowanie komunikacji miejskiej jest zależne od wielu parametrów, takich jak maksymalne prędkości pojazdów, ich pojemność, czas postoju na przystankach i pora dnia. Czynniki te są ze sobą mocno powiązane – w godzinach porannych środki transportu publicznego są zwykle zatłoczone, co wiąże się z dłuższą wymianą pasażerów na przystankach, ale też z większą częstotliwością odjazdów danych linii. Normalne kursowanie pojazdów może być zakłócone przez awarie, wypadki, remonty oraz inne niespodziewane zdarzenia.

Celem projektu jest symulacja ruchu tramwajowego w Krakowie. Godziny odjazdów i przyjazdów na poszczególnych przystankach dla każdej linii zostały pobrane ze strony Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego [1], a rozmieszczenie przystanków i trasy pomiędzy nimi ze strony Open Street Map [2] (Fig. 1). Mapy udostępniane przez tę stronę posłużą również do wizualizacji symulacji. W predykcji napełnienia pojazdów pomogły dane zamieszczone przez Zarząd Infrastruktury Komunalnej i Transportu [3].

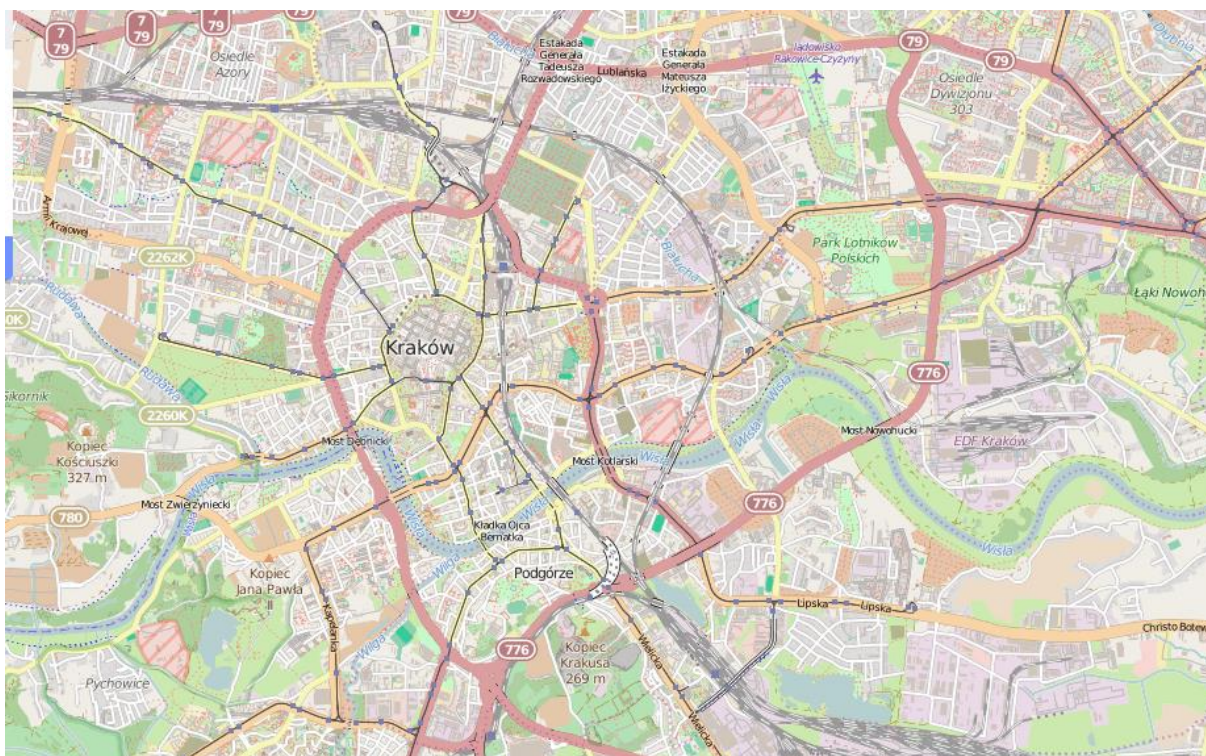


Fig. 1 Plan Krakowa z zaznaczonymi trasami tramwajów i przystankami [2]

Model będzie uwzględniał wszystkie tramwaje wszystkich linii poruszające się w danym momencie po Krakowie. Tramwaje będą miały różne kolory w zależności od przewidywanego napełnienia.

Jako dane wejściowe dla każdego z tramwajów przyjmujemy ich trasę – kolejne przystanki i godziny przyjazdu na każdy z nich. Współrzędne przystanków i trasy poszczególnych tramwajów są zapisane w pliku XML.

## 2. Przegląd literatury

Staines [4] sugeruje wykorzystanie kolorowanych sieci Petriego (CPN) i postępowanie według następującego schematu:

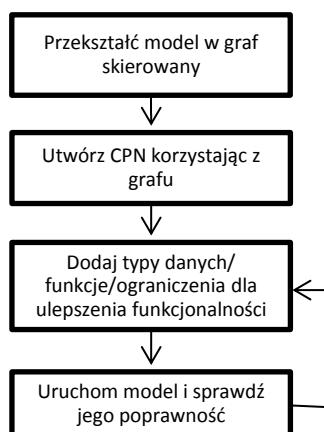


Fig. 2 Proponowane rozwiązanie – opracowanie własne na podstawie [4]

Połączone ze sobą przystanki tworzą graf nieskierowany, który jest bazą do skonstruowania CPN. Aby umożliwić działanie modelu i sprawić, by odzwierciedlał rzeczywiste poruszanie się tramwajów, autor sugeruje dodanie 3-elementowych krotek postaci:  $(n_1, n_2, n_3)$ , gdzie  $n_1$  – numer linii,  $n_2$  – kierunek jazdy,  $n_3$  – identyfikator pojazdu [4].

[5] proponuje rozwiązanie uwzględniające następujące parametry wejściowe: zależną od pory dnia liczbę pasażerów pojawiających się na przystankach, macierz zawierającą początkowe i końcowe stacje, liczbę tramwajów na danej linii, pojemność pojazdów i zachowanie pasażerów. Tworzy model stochastyczny składający się z 3 elementów: zbioru pojazdów (M), zbioru przystanków (S) oraz zbioru pasażerów. Dwa pierwsze zbiory składają się z podzbiorów  $M_i$  i  $S_i$ , gdzie  $i$  to kolejne numery linii. Pasażerowie pojawiają się na stacji zgodnie ze złożonym modelem Poissona.

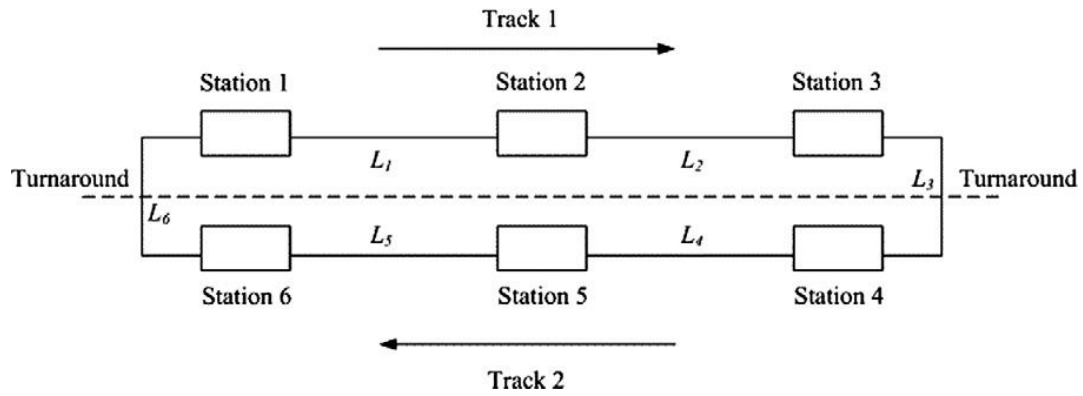


Fig. 3 Trasa jednej linii (rysunek z pracy [5])

Ważnym aspektem jest czas postoju tramwajów na przystankach. Podczas godzin szczytu większa liczba pasażerów korzysta z transportu miejskiego i w efekcie ten czas się zwiększa, równocześnie wydłużając całkowity czas przejazdu tramwaju. Na każdym kolejnym przystanku opóźnienie jest większe [6].

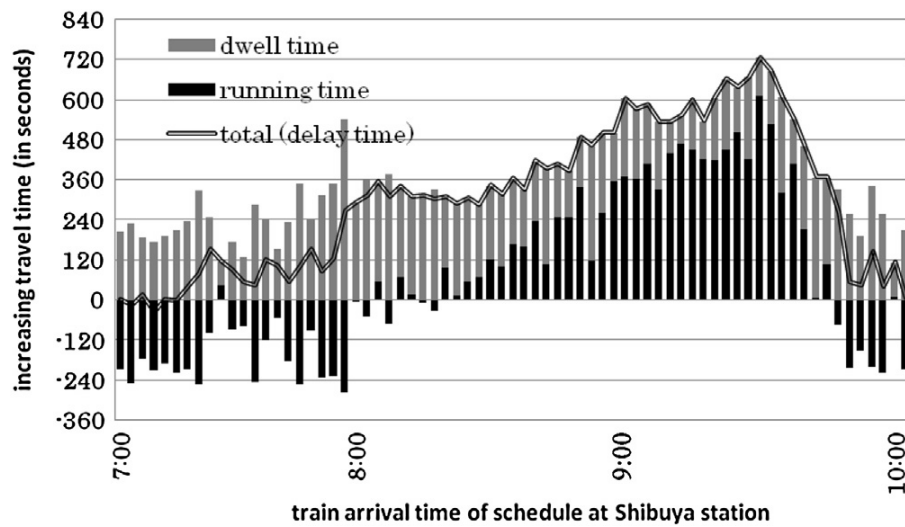


Fig. 4 Opóźnienie pojazdów na stacji Shibuya w godzinach 7:00-10:00 [6]

1. <http://rozklady.mpk.krakow.pl>
2. <https://www.openstreetmap.org>
3. <http://zikit.krakow.pl/aktualnosci/5595-wyniki-pomiarow-w-pojazdach-komunikacji-miejskiej-w-krakowie>
4. Staines A.S. *A Colored Petri Net Model for the France Paris Metro System*; Department of Computer Information Systems, University of Malta.
5. Grube P.; Núñez F.; Cipriano A. *An event-driven simulator for multi-line metro systems and its application to Santiago de Chile metropolitan rail network*, College of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, 2010.
6. Keiji K.; Naohiko H.; Shigeru M. *Simulation analysis of train operation to recover knock-on delay under high-frequency intervals*, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency, Japan and National Graduate Institute for Policy Studies, Japan, 2014.