

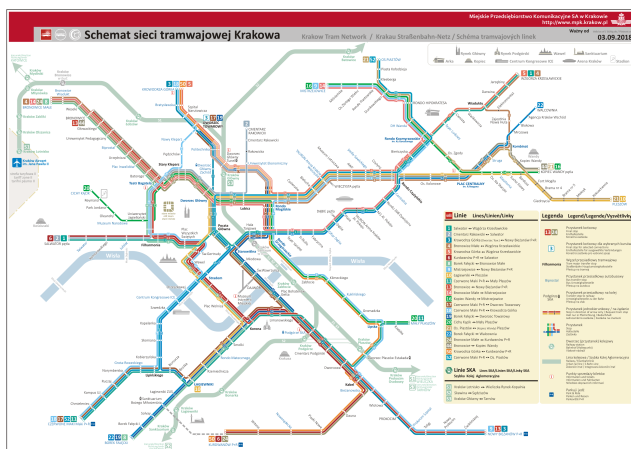
Dokumentacja symulacji krakowskich sieci tramwajowych

Juliusz Ryłko, Bartłomiej Zachariasz, Miłosz Szwedo

Styczeń 2019

1 Wprowadzenie do tematu

Celem projektu było zasymulowanie działania rzeczywistej krakowskiej sieci tramwajowej. Istotą symulacji było zobrazowanie zapelnienia tramwajów w ciągu dnia. Podstawową kwestią był sposób uzyskania danych. Możliwe byłoby to za pomocą tzw. 'web scrapingu' rozkładów jazdy strony internetowej MPK, jednak zastosowaliśmy inne, bardziej zgodne z rzeczywistością rozwiązanie. MPK od jakiegoś czasu udostępnia API tablic dynamicznej informacji pasażerskiej, które pokazują przewidywany czas przyjazdu tramwaju wykorzystując położenie GPS. Stwierdziliśmy że wykorzystanie informacji z tego źródła znacznie lepiej odda stan faktyczny. Skorzystaliśmy z danych w formacie CSV, które Adam Czeplik[2] pobrał ze strony <https://mpk.jacekk.net>, które przedstawiają rzeczywiste zachowanie tramwajów w Krakowie, w dniu 23 lipca 2018 r.



Rysunek 1: Krakowska sieć tramwajowa



Rysunek 2: Tablica Informacji Pasażerskiej

2 Przegląd literatów

Wszystkie źródła z których korzystaliśmy w celu rozeznania się w problemie zostały zawarte w sekcji Literatura na samym końcu dokumentacji

3 Proponowany model

3.1 Przystanki

Każdemu przystankowi została przypisana jego nazwa, położenie na mapie oraz współczynnik, będący swego rodzaju wagą przystanku względem całej puli przystanków. Obliczony jest on na podstawie ilości odwiedzeń danego przystanku przez tramwaje względem ilości wszystkich zanotowanych odwiedzeń dowolnego przystanku. Suma współczynników równa się zatem 1.

$$F_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

$$\sum_{i=1}^n F_i = 1$$

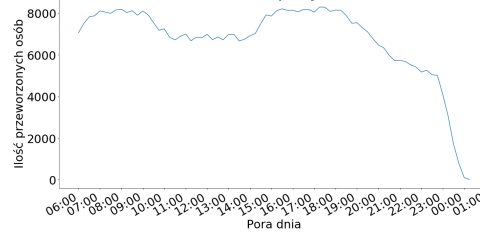
Gdzie:

F_i : współczynnik przystanku o indeksie i

S_i : ilość odwiedzeń przystanku o indeksie i

n : ilość wszystkich przystanków

Natężenie ruchu w zależności od pory dnia, mierzone co 15 minut



Rysunek 4: Natężenie ruchu w zależności od pory dnia, mierzone co 15 minut, dla I wynoszącego 500 000

wuje się w miarę realistycznie.

$$P_i(time) = \frac{f(time) * F_i * I}{T}$$

Gdzie:

$P_i(time)$: prawdopodobieństwo pojawienia się człowieka na przystanku i podczas jednej sekundy, w czasie $time$

$f(time)$: funkcja wyznaczająca natężenie ruchu na podstawie pory dnia $time$

T : okres pomiaru w sekundach

I : sumę wszystkich niezależnych kursów tramwajowych w danym dniu

3.2 Tramwaje

Tramwaje w przedstawionym modelu poruszają się między przystankami względem rzeczywistych rozkładów jazdy. Każdy numer tramwaju ma określony model pojazdu (np. 4 - Krakowiak, 18 - Bombardier), który został odpowiednio przydzielony zgodnie z rzeczywistością. Każdy z tych modeli ma określoną maksymalną ilość miejsc siedzących i stojących, którą udało się zweryfikować na stronie głównej MPK w zakładce informującej o obecnym taborze.

Tramwaje na każdym przystanku zabierają (chyba że to pętla końcowa), i wysadzają (chyba że to pętla początkowa) pasażerów.

3.2.1 Reguła zabierania pasażerów

Tramwaj przy zabieraniu ludzi z przystanku uwzględnia ilość przystanków do końca (na początku wiadomo że wsiądzie największy procent osób i można założyć, że procent ten będzie malał wraz z kolejnymi przystankami) oraz ilość ludzi na przystanku C . Dodatkowo wykorzystany został czynnik regulujący R o wartości 0.9, gdyż w tym modelu taki dobrze się sprawdzał. Oczywiście wiadomo



Rysunek 5: Wagon PESA Krakowiak 2014 N najbardziej pojemny tramwaj w Krakowie, jest w stanie pomieścić 284 pasażerów

że nie wejdzie do tramwaju więcej osób niż ma on pojemności, to też mieliśmy na uwadze.

$$E_i = \min(\maxCapacity - currentCapacity, (C_i * R * (1 - \frac{i}{L_t})))$$

Gdzie:

E_i : ilość ludzi wchodzących do tramwaju na przystanku i

C_i : ilość ludzi na przystanku i

R : czynnik regulujący

i : indeks przystanku wobec całej trasy tramwaju

L_t : długość trasy tramwaju t

Zgodnie z tym równaniem, tramwaj na pętli początkowej zabiera 90% osób, na pętli końcowej 0 osób, a na przystanku będącym środkowym przystankiem trasy tramwaju - 45% osób. Jest to zwykła funkcja liniowa.

3.2.2 Reguła wysadzania pasażerów

Ilość pasażerów wysiadających z tramwaju bierze pod uwagę współczynnik obecnego przystanku i wszystkich które zostały na trasie.

$$L_i = C_i * \frac{F_i}{\sum_{j=i}^{n-1} F_j}$$

L_i : ilość ludzi wysiadających z tramwaju na przystanku i

C_i : ilość ludzi na przystanku i

i : indeks przystanku wobec całej trasy tramwaju

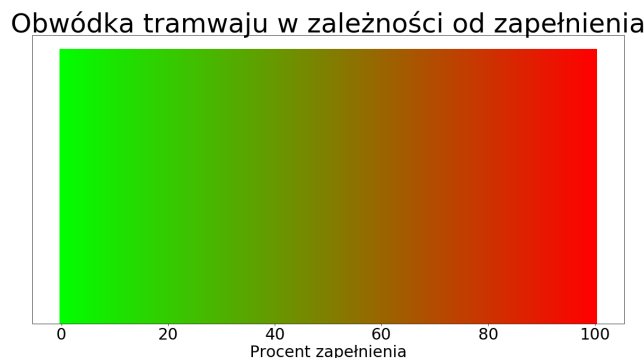
n : długość trasy tramwaju

F_i : współczynnik przystanku i

Zgodnie z tym równaniem, tramwaj na pętli początkowej wysadza 0 osób, a na pętli końcowej 100% osób.

3.2.3 Reprezentacja zapełnienia tramwaju

Zapełnienie tramwaju reprezentowane jest za pomocą kolorów obwódki wokół kółka reprezentującego tramwaj.



Rysunek 6: Gama kolorów reprezentująca procent zapełnienia

4 Wybór technologii

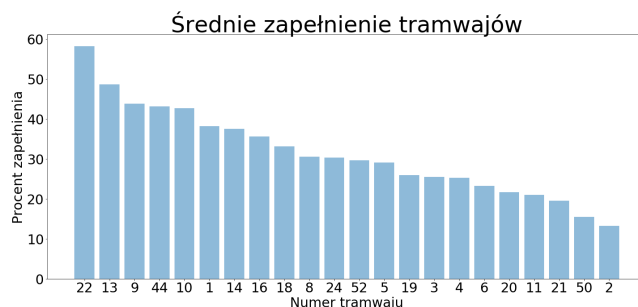
Do wykonania symulacji wykorzystaliśmy język Python, wraz z wspomagającą go biblioteką numpy, usprawniającą obliczenia wektorowe. Do wizualizacji animacji użyliśmy biblioteki tkinter. Przydatne biblioteki, które użyliśmy do obróbki danych i wizualizacji danych statystycznych to kolejno pandas i matplotlib.

5 Statystyki

Poniżej zaprezentowane są statystyki z 23 lipca 2018 roku, przy założeniu $I = 500\ 000$

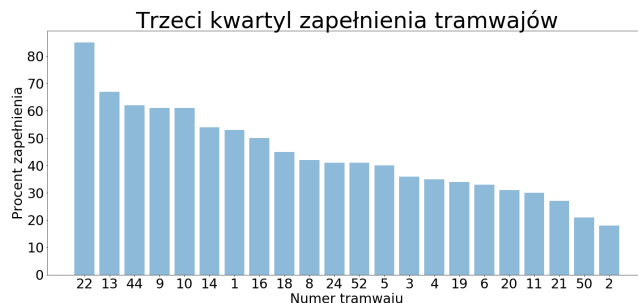
5.1 Średnia

Obserwujemy znaczące przodownictwo tramwaju 22 jeżeli chodzi o średni tłum. Czynniki które to powodują to niewątpliwie jego model, który mieści tylko 138 osób, podczas gdy trasa tego tramwaju należy do jednych z najbardziej wymagających (Borek Fałęcki - Kopiec Wandy).



Rysunek 7: Średnie zapełnienie tramwajów w procentach

5.2 Trzeci kwartyl



Rysunek 8: Trzeci kwartyl zapełnienia tramwajów w procentach

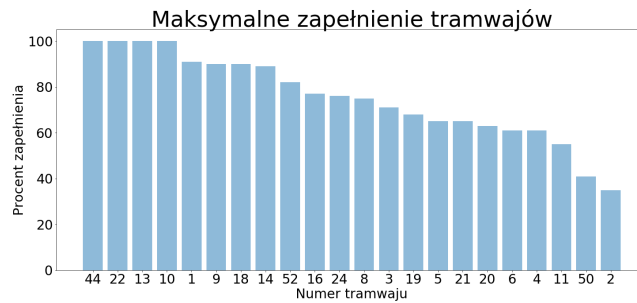
Wykres w zasadzie prezentuje się podobnie jak w przypadku średniej, jednak jest on przesunięty o około 25% do góry. Warty uwagi jest fakt, że ludzie jeżdżą tramwajem nr 22 w absolutnie niekomfortowych warunkach (ok. 85% zapełnienia) aż 25% czasu.

5.3 Maksymalna zanotowana wartość

Do puli tramwajów na które należało by zwrócić uwagę dochodzą tramwaje nr 44,13,10, które to osiągają w pewnym momencie w ciągu dnia maksymalne przepełnienie. Wiemy, że takie sytuacje mają miejsce w życiu i warto mieć na uwadze ich przyczynę. Wszystkie z wymienionych wyżej tramwajów używają starych modeli, z pojemnością wynoszącą 138 osób.

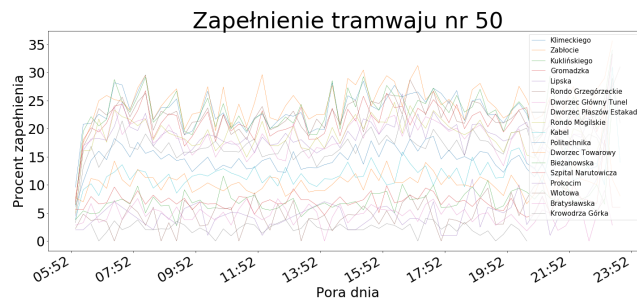
5.4 Zapełnienie w zależności od pory dnia oraz przystanku

Na pierwszy rzut oka wykres wydaje się nieczytelny, jednak daje on szersze pojęcie na temat zapełnienia danego tramwaju w każdym momencie dnia. Widać że dla tramwaju numer 50, nie przekracza ono nigdy 35% ("Pięćdziesiątki"jeżdżą



Rysunek 9: Maksymalne zapełnienie tramwajów w procentach

na Krakowiakach). Dobry obraz daje też legenda, która pokazuje przystanku posortowane od najbardziej do najmniej zapełnionego. Stąd widać, że ruch na Klimeckiego i Zabłociu był największy, a na Krowodrzy Górze - najmniejszy.



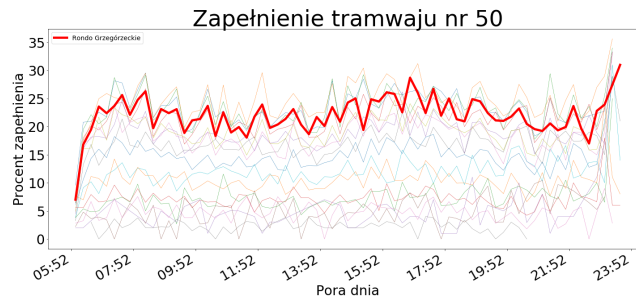
Rysunek 10: Zapełnienie tramwaju w procentach w zależności od pory dnia oraz przystanku

5.4.1 Wyróżnienie przystanku

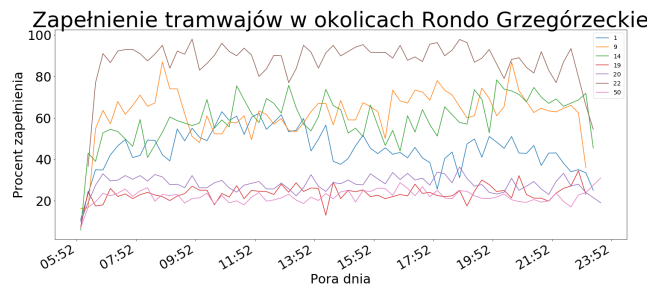
Można też wyróżnić też wśród tego gąszczy kolorowych linii wyróżnić jeden interesujący nas przystanek, i wtedy rzeczywiście dobrze widać zachowanie danego tramwaju na danym przystanku.

5.5 Zapełnienie tramwajów na danym przystanku

Zapełnienie można pokazać też od drugiej strony, tym razem patrząc stricte na dany przystanek i tramwaje które mają go na swojej trasie. Widzimy, że sławny tramwaj numer 22 nie jest oszczędzany na Rondzie Grzegorzeckim.



Rysunek 11: Zapełnienie tramwaju w procentach w zależności od pory dnia z wyróżnieniem danego przystanku (Rondo Grzegorzeckiego)



Rysunek 12: Zapełnienie tramwajów w procentach w zależności od pory dnia dla danego przystanku

6 Wnioski

Symulacja dostarcza wielu cennych informacji, dotyczących aktualnego stanu komunikacji w Krakowie. Wprowadzenie pewnych zmian do sytuacji mogłoby pomóc w optymalizacji rozkładu jazdy, zarówno w kwestii godzin odjazdów oraz natężenia, jak i odpowiedniego doboru modelu pojazdu. Nasza symulacja dotyczy okresu wakacyjnego, z tego powodu obciążenie ruchu jest wyraźnie mniejsze. Studenci oraz uczniowie stanowią znaczny procent użytkowników komunikacji miejskiej, szczególnie w godzinach porannych i popołudniowych. Przeprowadzenie symulacji, korzystając z danych z roku szkolnego (akademickiego) dałoby prawdopodobnie inne rezultaty dotyczące opóźnień oraz natężenia ruchu. Inną kwestią jest też fakt, iż wakacje są bardzo dobrym momentem na wszelakie remonty, dlatego podczas naszej symulacji wiele odcinków jest wyłączonych z ruchu, a niektóre tramwaje mają inny rozkład niż w pozostałej części roku. Dostarczona przez nas statystyka pokazuje, że obecny rozkład można znacznie poprawić, składa się na to fakt, że przez znaczną część dnia przykładowy tramwaj nr. 22 jest zapełniony, dokładając do tego konieczność dostosowania się do warunków atmosferycznych (latem - wysoka temperatura, zimą - grube kurtki) skutkuje bardzo złymi warunkami, co skutecznie zniechęca znaczną część ludzi

z korzystania z komunikacji miejskiej. Miasto Kraków za cel powinno obrać poprawę warunków oraz optymalizację sieci tramwajowej, dalszy jej rozwój pozwoli na rozładowanie miasta, konsekwencją czego będzie wzrost zadowolenia mieszkańców, ze względu na szybszy i wygodniejszy transport.

Literatura

- [1] Dong R.-J.-Zhang M. Chen Y.-K. Bai, H.-J. Optimization method of bus time based on synchronization diversity. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2013.
- [2] Adam Czeplik. Spóźnienia krakowskich tramwajów. <https://aczepielik.github.io/post/kraktram/>, 2018.
- [3] Chen X. Yu-L.-Wu L. Gong, H. An application-oriented model of passenger waiting time based on bus departure time intervals. Transportation Planning and Technology, 2016.
- [4] Son B. Chung-J.-H. Kim E Kim, W. Development of real-time optimal bus scheduling and headway control models. Transportation Research Record, 2009.
- [5] Vitalii Naumov. Oszacowanie optymalnej liczby autobusów dla linii komunikacji miejskiej na podstawie symulacji komputerowych. http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-f903f00a-3145-4414-8935-f2e943fd03db/c/126_112_A_ET_NAUMOV.pdf, 2016.