



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej

Symulacja krakowskiej sieci tramwajowej

Dokumentacja projektu

Autorzy:

Mikołaj Białek
Małgorzata Duda
Marcin Kalaus

Kraków, 13.10.2022 - 13.01.2023

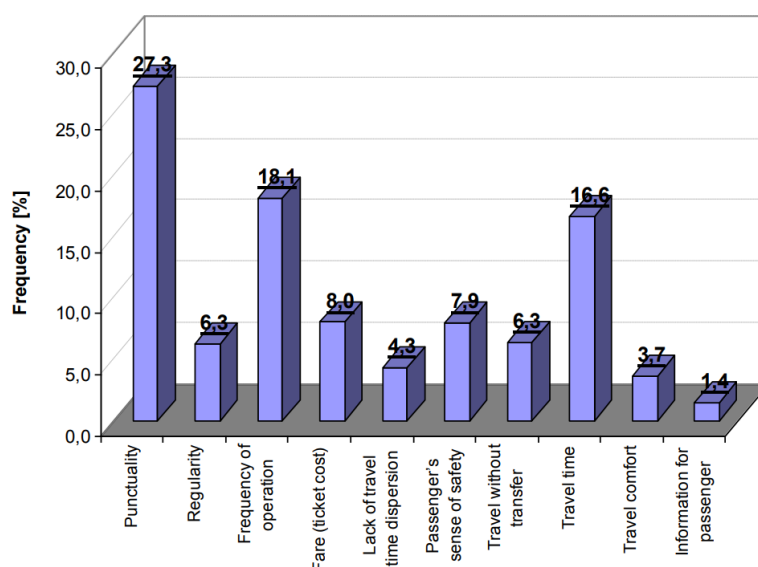
Spis treści

1. Wprowadzenie	3
2. Analiza literatury	4
2.1. Simulation model of tram route operation	4
2.2. Agent-based simulation framework for mixed traffic of cars, pedestrians and trams	4
2.3. Problematyka modelowania ruchu miejskiego z wykorzystaniem automatów komórkowych	4
3. Dostępne dane	5
3.1. Dane o kursach tramwajów	5
3.2. Dane geograficzne z OpenStreetMap - ÖPNVKarte	6
3.3. Rozkład jazdy	8
4. Dane wejściowe	9
4.1. Prędkość	9
4.2. Zatłoczenie	9
5. Model	10
6. Etapy rysowania drogi wraz z przystankami	11
6.1. Nałożenie przystanków – dane ZTP	11
6.2. Nałożenie przystanków – dane OpenStreetMap	11
6.3. Podejście łączone (finalne)	12
7. Skrzyżowania tramwajowe	13
8. Tworzenie linii tramwajowych	13
9. Aplikacja	14
10. Opis działania symulacji	15
10.1. Główne klasy oraz jej najważniejsze zmienne	15
10.2. Etapy symulacji	16
10.3. Parametry nieuwzględniane w symulacji	16
11. Analiza wyników symulacji	17
12. Błędy	19
13. Wnioski	19
Źródła	20

1. Wprowadzenie

Celem projektu jest stworzenie symulatora krakowskiej sieci tramwajowej na podstawie aktualnego rozkładu jazdy. W dużych miastach komunikacja miejska jest ważnym aspektem, pomaga przemieszczać się nie tylko mieszkańcom, ale również turystom. Sprawnie działająca sieć tramwajowa przyczynia się do zmniejszenia ruchu na drogach, ponieważ wiele osób rezygnuje z użycia własnego samochodu, na rzecz podróży publicznym środkiem transportu. Dzięki temu ludzie oszczędzają swój czas, unikając jazdy autem na zatłoczonych ulicach, gdzie często powstają zatory drogowe. Wiele osób wybiera podróż tramwajem z powodów ekonomicznych, paliwo jest bardzo drogie, dlatego warto dopasować rozkład jazdy tak, aby jak najbardziej zachęcić ludzi do wyboru komunikacji miejskiej. Ma to również znaczny wpływ na ekologię, między innymi zmniejsza produkcję spalin, zapobiega obniżaniu jakości powietrza, co jest ważną kwestią w Krakowie.

Głównym problemem jest ustalenie rozkładu jazdy tak, aby był jak najbardziej efektywny. Zdarza się, że tramwaje kursują prawie puste lub przepełnione. Częstość odjazdów tramwajów powinna być ustalona ze względu na godzinę, miejsce odjazdu i dzień tygodnia. Symulacja pozwoli przeanalizować dane i ustalić jak najlepszy rozkład jazdy.



Rysunek 1 Preferencje pasażerów tramwajów w Krakowie [1]

Z powyższego wykresu wynika, że dla pasażerów zdecydowanie najważniejsza jest punktualność i siatka połączeń, dzięki której nie będzie trzeba długo czekać na przystanku. Należy zwrócić uwagę, że tramwaje nie są w ruchu miejskim bytem niezależnym. W Krakowie często pojazdy te dzielą jezdnię razem z samochodami. W obrębie funkcjonowania samych tramwajów również nadawane są pewne priorytety.

2. Analiza literatury

2.1. Simulation model of tram route operation

M. Bauer, M. Richter, H. Weiß

Autorzy dokumentu przeprowadzili badania statystyczne na ośmiu liniach tramwajowych w Krakowie. Opisali oni bardzo istotne czynniki, które warto wziąć pod uwagę podczas budowania modelu symulacyjnego. Prócz oczywistych rzeczy takich jak przystanki, prędkości oraz trasy tramwajowe, zwracają uwagę na aspekty sygnalizacji świetlnej, rodzaju infrastruktury miejskiej oraz typów skrzyżowań. Bardzo ważnym czynnikiem są także pasażerowie, którzy wpływają na długość zatrzymywania się tramwaju na danych przystankach.

2.2. Agent-based simulation framework for mixed traffic of cars, pedestrians and trams

Hideki Fujii, Hideaki Uchida, Shinobu Yoshimura

Artykuł opisuje symulację ruchu samochodowego, pieszych oraz tramwajów, który powstał, aby tworzyć plan rozbudowy sieci tramwajowej. Dokładny model jest potrzebny, szczególnie w miejscach wzmożonego ruchu, gdzie interakcje między poszczególnymi uczestnikami są nieuniknione. Analiza problemu pozwala określić wpływ planowanej sieci tramwajowej na uczestników ruchu drogowego oraz pieszego. Model linii tramwajowej jest stworzony na podstawie rozkładu jazdy oraz został skonsultowany z operatorami tramwajów.

2.3. Problematyka modelowania ruchu miejskiego z wykorzystaniem automatów komórkowych

J. Wąs, R. Biciński, B. Gajewski, P. Orzechowski

W niniejszej pracy autorzy pochylają się nad modelem dla samochodowego ruchu miejskiego. Model powinien uwzględniać sposób poruszania się pojedynczego samochodu, w tym zmiany pasów, przyspieszanie i hamowanie. Możliwe powinno być również wykorzystanie mapy drogowej miasta w celu stworzenia topografii. W artykule rozpatrywany jest model Nagela-Schreckenberga, który przewidziany został do symulacji ruchu samochodów na autostradzie. Autorzy uznają, że klasyczny model Nagela-Schreckenberga nie jest wystarczający na potrzeby symulacji ruchu miejskiego i proponują zmiany, które umożliwiają symulację zmiany pasa oraz uwzględniają skrzyżowania. Na potrzeby symulacji ruchu tramwajowego, klasyczny model wydaje się być wystarczający.

3. Dostępne dane

Po weryfikacji źródeł okazuje się, że bardzo ciężko uzyskać dane o zatłoczeniu poszczególnych tramwajów w konkretnych godzinach oraz ich średnim opóźnieniu. W tym celu została wystosowana wiadomość do ZTP z prośbą o udostępnienie ww. danych.

Ostatecznie nie udało się uzyskać danych o ilości pasażerów, poruszających się liniami tramwajowymi.

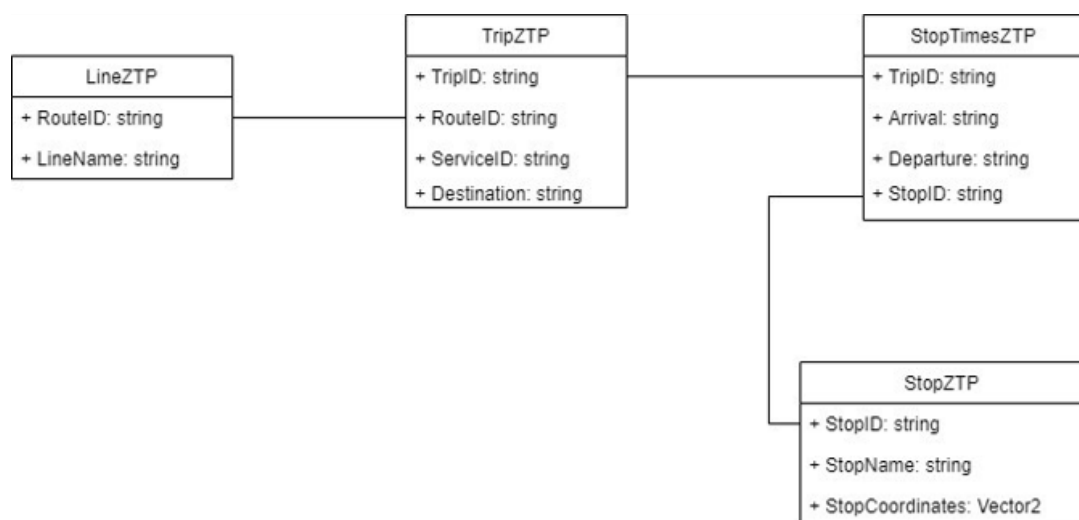
3.1. Dane o kursach tramwajów

Dane zostały pobrane ze strony krakowskiego ZTP: <https://gtfs.ztp.krakow.pl/>. Znajdują się na niej wszystkie linie tramwajowe, nazwy przystanków oraz godzinowy rozkład jazdy obowiązujący w dni powszednie, w soboty, jak i w święta. Na stronie jest wyświetlona data planowanych zmian oraz data, od której obowiązuje aktualny rozkład.

Rozkład jest podzielony na 8 plików, w projekcie zostały wykorzystane 5 z nich:

- routes.txt (LineZTP) - informacje dotyczące istniejących linii:
 - id (route_id),
 - numer (route_short_name).
- trips.txt (TripZTP) - informacje o kursach:
 - id (trip_id),
 - id linii (route_id),
 - stację docelową (trip_headsign),
 - dzień tygodnia (service_id).
- stops.txt (StopsZTP) - informacje o przystankach:
 - id (stop_id),
 - nazwę (stop_name),
 - współrzędne x (stop_lat),
 - współrzędne y (stop_lon).

- stop_times.txt (StopTimes ZTP) - informacje o godzinach odjazdu:
 - id kursu (trip_id),
 - godzina przyjazdu (arrival_time),
 - godzina odjazdu (departure_time),
 - id przystanku (stop_id).
- calendar.txt - informacje określające, w których dniach kursuje tramwaj (service):
 - service_1 - od poniedziałku do czwartku
 - service_2 - piątek
 - service_3 - sobota
 - service_4 – niedziela

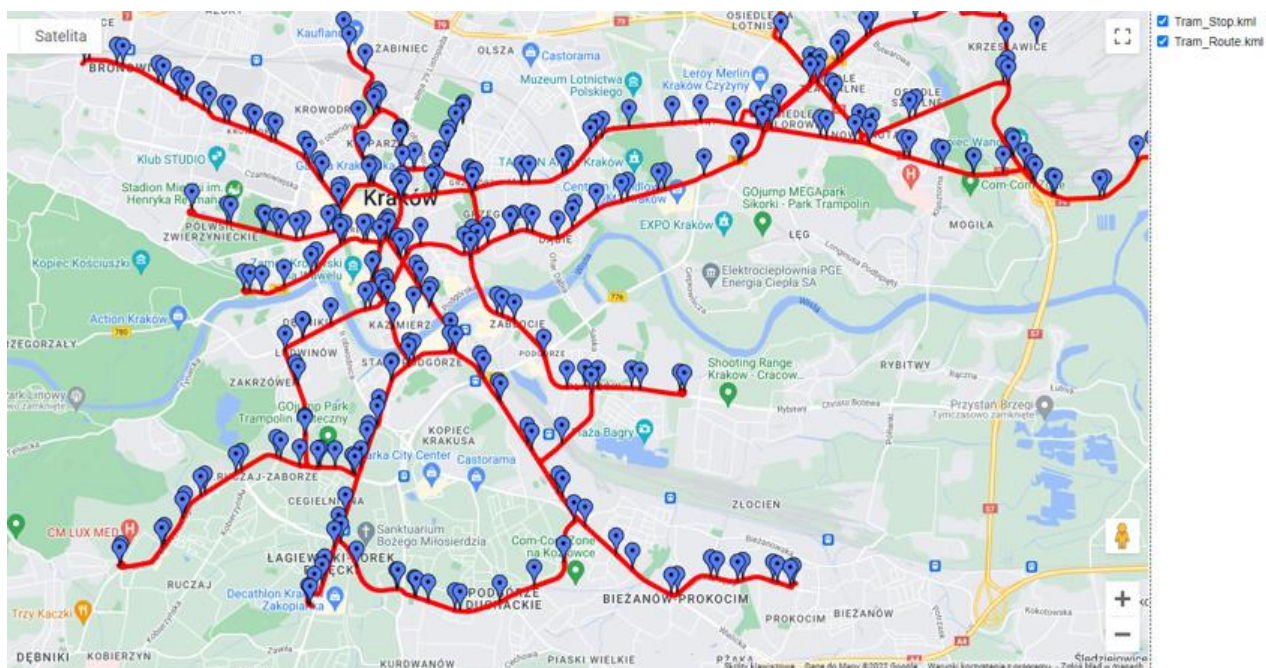


Rysunek 2 Diagram wykorzystanych w projekcie danych [opracowanie własne]

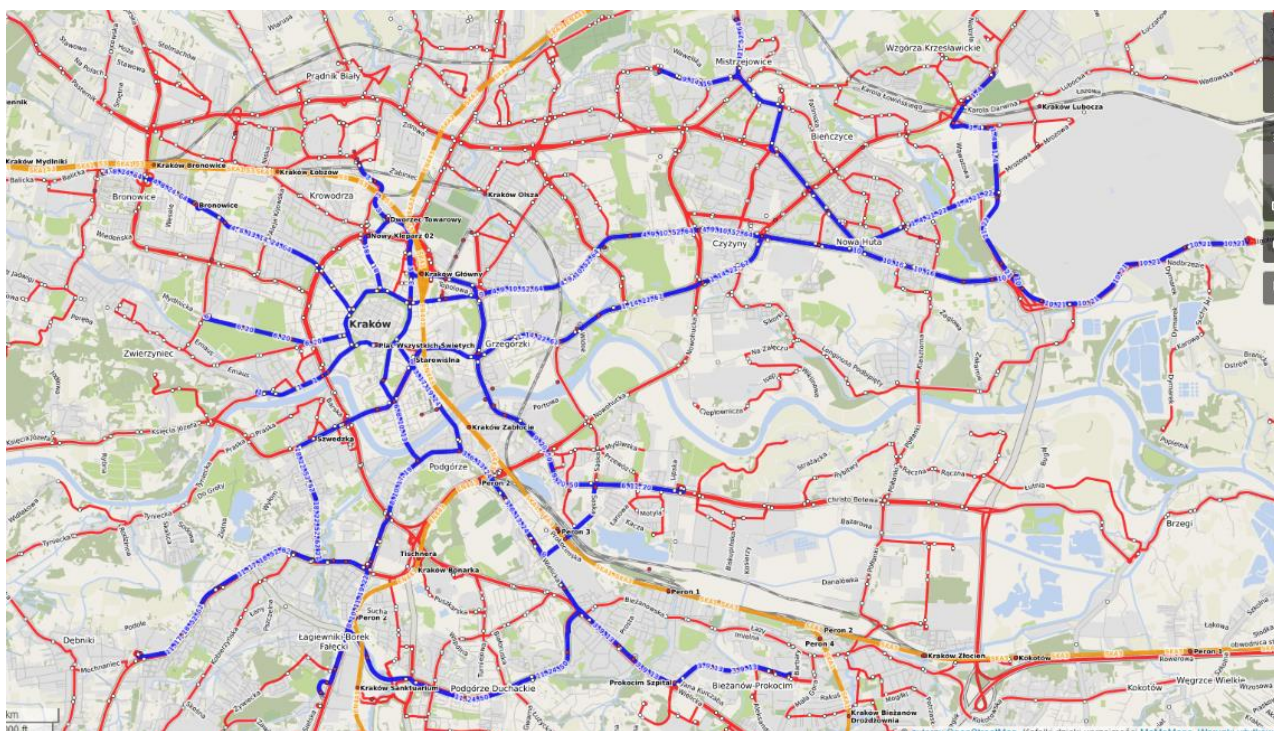
3.2. Dane geograficzne z OpenStreetMap - ÖPNVKarte

Na stronie <https://www.openstreetmap.org/relation/449696> znajduje się mapa Krakowa wraz z liniami oraz przystankami tramwajowymi (warstwa ÖPNV Karte).

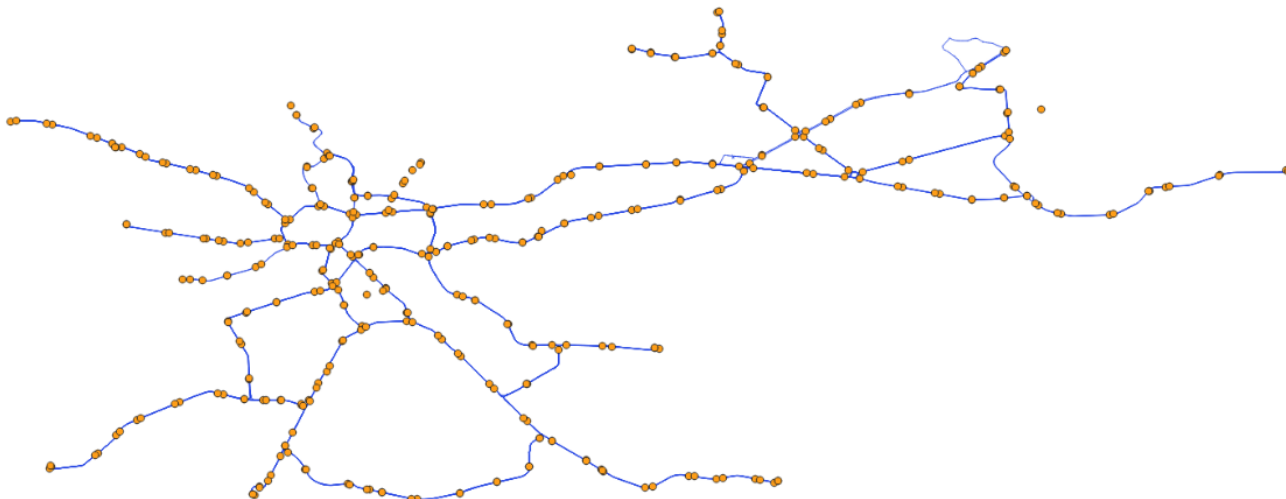
Wyeksportowane dane (rys 4) zawierają nazwy przystanków pokrywające się z nazwami z rozkładu jazdy (rys 2), co bardzo ułatwi późniejszą integrację tych dwóch zbiorów danych



Rysunek 3 Screen z Google Maps wraz z plikami .kml
 Tram_Route (czerwony) - linie tramwajowe
 Tram_Stop (niebieski) - przystanki tramwajowe



Rysunek 4 Połączenia tramwajowe, oznaczone kolorem niebieskim



Rysunek 5 Wyeksportowane trasy tramwajowe wraz z przystankami w programie QGIS z OPENSTREETMAP

3.3. Rozkład jazdy

Najlepszym źródłem informacji i najbardziej wiarygodnym, jest strona Zarządu Transportu Publicznego w Krakowie. Znajdują się na niej wszystkie linie tramwajowe, nazwy przystanków oraz godzinowy rozkład jazdy obowiązujący w dni powszednie, w soboty, jak i w święta. Na stronie jest wyświetlona data planowanych zmian oraz data, od której obowiązuje aktualny rozkład.

Aktualny rozkład jazdy: 2022-10-20

Zmiana rozkładu jazdy od dnia: 2022-10-22 , 2022-10-24

Linie tramwajowe:

1	3	4
6	8	9
10	11	13
14	16	17
18	19	20
21	22	24
50	52	

Linie tramwajowe nocne:

62	64
----	----

Linie tramwajowe zastępcze:

70	74
----	----



4

Wzgórze Krzesławickie - Bronowice Małe
Bronowice Małe - Wzgórze Krzesławickie

(Od: Wzgórze Krzesławickie
Do: Bronowice Małe)

Trasa:
Kocmyrzowska, Łowińskiego, Ujastek, al. Solidarności, al. Jana Pawła II, Mogińska, Lubicz, Basztowa, Dunajewskiego, Karmelicka, Królewska, Bronowicka

Przystanki

- Wzgórze Krzesławickie 01
- Jarzębiny 02
- Darwina 02
- Wiadukty 02
- Elektromontaż 01
- Zajezdnia Nowa Huta 01
- Kombinat 02
- Struga 02
- Plac Centralny im. R.Reagana 01
- Os. Kolorowe 02
- Rondo Czyżyńskiego 02
- Czyżyny 02
- Stella-Sawickiego 02
- AWF 02
- Muzeum Lotnictwa 02



Wzgórze Krzesławickie 01

Godzina	Dni powszednie	Soboty	Święta
3			
4	45	58	43
5	02 22 38 51	18 38 58	13 43
6	08 23 38 53	18 38 58	13 43
7	08 23 38 53	18 37 58	13 41
8	08 23 38 53	18 38 58	11 38 58
9	08 23 38 53	18 38 58	18 38 58
10	08 23 38 53	18 38 58	18 38 58
11	08 23 38 53	18 38 58	18 38 58
12	08 23 38 53	18 38 58	18 38 58
13	08 23 38 53	18 38 58	18 38 58
14	08 23 38 53	18 38 58	18 38 58
15	08 23 38 53	18 38 58	18 38 58
16	08 23 38 53	18 38 58	18 38 58

Rysunek 6 Przykładowy rozkład jazdy dla linii nr 4 [2]

4. Dane wejściowe

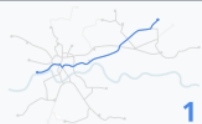
Istnieje kilka znaczących czynników, które trzeba rozważyć przy tworzeniu symulacji sieci tramwajowej. Niezbędne będzie przyjęcie odpowiednich wartości zmiennych dla poszczególnych tramwajów.

4.1. Prędkość

Prędkość można szacować wykorzystując różne sposoby np.:

- Przyjęcie jednakowej średniej prędkości dla każdej linii,
- Indywidualna średnia prędkość dla każdej linii,
- Indywidualna średnia prędkość dla każdego odcinka trasy.

Im bardziej szczegółowe dane, tym lepsza symulacja. W artykule o Tramwajach w Krakowie znajdującym się na Wikipedii [4], jest zawarty wykaz linii stałych wraz ze średnią prędkością każdej z nich. W naszej symulacji przyjmujemy wspólną prędkość dla każdego z tramwajów.

Lp. ↕	Linia ↕	Przystanek początkowy ↕	Przystanek końcowy ↕	Długość ↕	Liczba przystanków (w tym na żądanie) ↕	Średnia prędkość ↕	Rodzaj linii ↕
1		Wzgórza Krzesławickie	Salwator	13,0 km	28 (1)	17,3 km/h	Linia zwykła

Rysunek 7 Dane o linii nr 1 w tym średnia prędkość [4]

4.2. Zatłoczenie

Dane historyczne o statystyce przemieszczania wydają się niezbędne dla celów symulacji ruchu i opóźnień. Wystosowaliśmy prośbę o udostępnienie danych do MPK w Krakowie i czekamy na odpowiedź. W przypadku braku przekazania danych, będzie trzeba oszacować ilość pasażerów w ciągu dnia na podstawie własnych obserwacji.

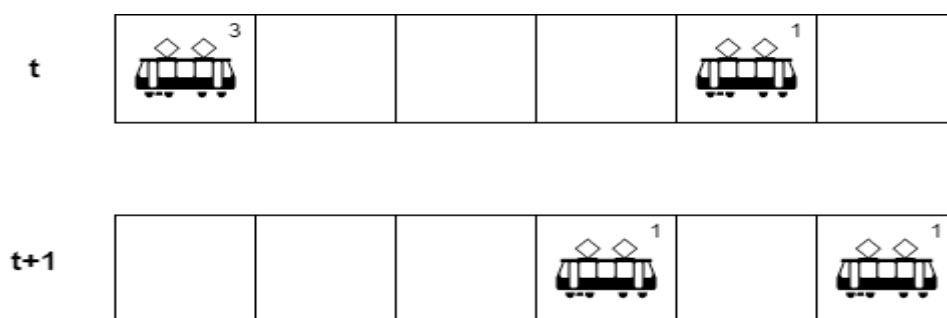
Dla każdej linii można przyjąć odpowiednio inny współczynnik oraz możliwe odchylenie, co pozwoli lepiej wyliczyć realne zatłoczenie.

5. Model

W symulacji wykorzystany zostanie model Nagela-Schreckenberga. Model ten jest klasycznym modelem, wykorzystującym automaty komórkowe. W swoim założeniu został stworzony dla odwzorowania ruchu samochodów na autostradzie, jednak nic nie stoi na przeszkodzie, aby go użyć do symulowania ruchu tramwajów. Za prędkość przyjmuje się ilość komórek o zadanej długości, które tramwaj pokona w chwili czasu.

Model opisany jest za pomocą:

- przyspieszenia,
- hamowania,
- losowego hamowania,
- ruchu.



Rysunek 8 Ruch przedstawiony na bazie komórek w kolejnych chwilach czasowych. W każdej komórce z tramwajem znajduje się liczba oznaczająca aktualną prędkość – rysunek własny na podst. [5]

Model Nagela-Schreckenberga niesie ze sobą pewnego rodzaju ograniczenia:

- przyspieszenia mogą być nierealistyczne, a hamowanie służy głównie do zapobiegania zderzeniom pojazdów,
- dynamika poruszania się pojazdu nie jest więc odwzorowana idealnie,
- tramwaje poruszają się po torach i nie mają możliwości zmiany pasów jak samochody, a zatem nie mogą się wzajemnie wyprzedzać.

Biorąc pod uwagę powyższe ograniczenia i konfrontując je ze sposobem przemieszczania się tramwajów, można przyjąć, że model Nagela-Schreckenberga będzie wystarczający na potrzeby wykonania symulacji.

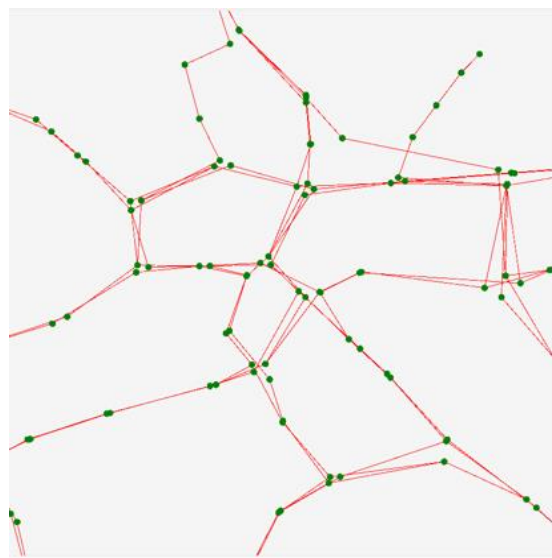
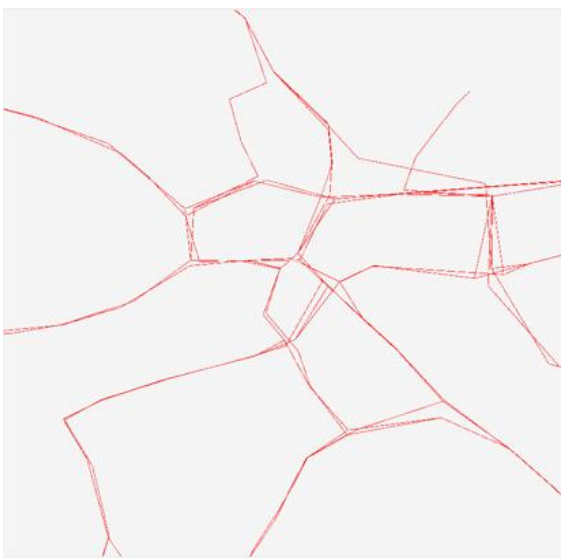
6. Etapy rysowania drogi wraz z przystankami

6.1. Nałożenie przystanków – dane ZTP

Linie zostały połączone tylko na podstawie plików ZTP

Zielony punkt = przystanek

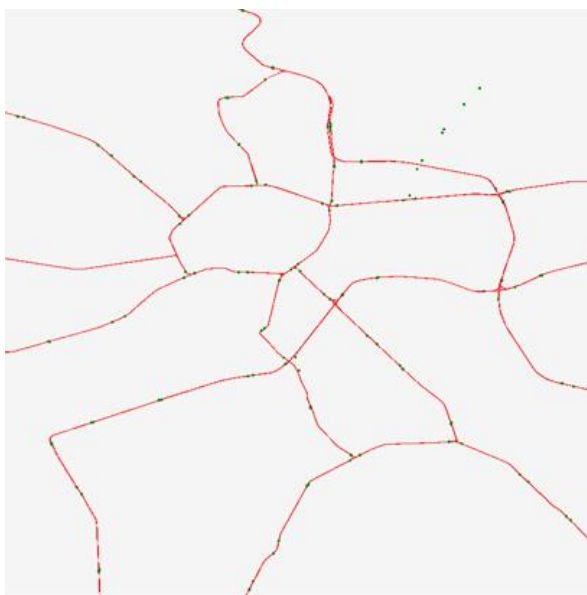
Zastosowane rozwiązanie nie pozwoliło na dalsze prace.



Rysunek 9 Przystanki na mapie wg danych ZTP [opracowanie własne]

6.2. Nałożenie przystanków – dane OpenStreetMap

Stworzenie drogi na podstawie pliku Tram_Route.kml oraz punktów z pliku Tram_Stop.kml (pobranych i wygenerowanych przez OpenStreetMap - ÖPNVKarte).



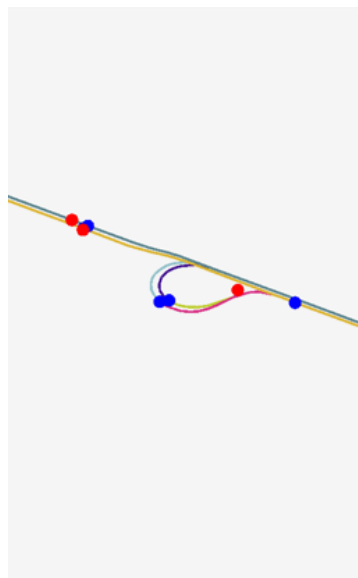
Rysunek 10 Przystanki na mapie wg danych OpenStreetMap [opracowanie własne]

6.3. Podejście łączone (finalne)

Przypisanie do przystanków z TramStop.kml (na podstawie najbliższego sąsiada):

- (niebieski): Tram_Stop.kml,
- (czerwony): ZTP.

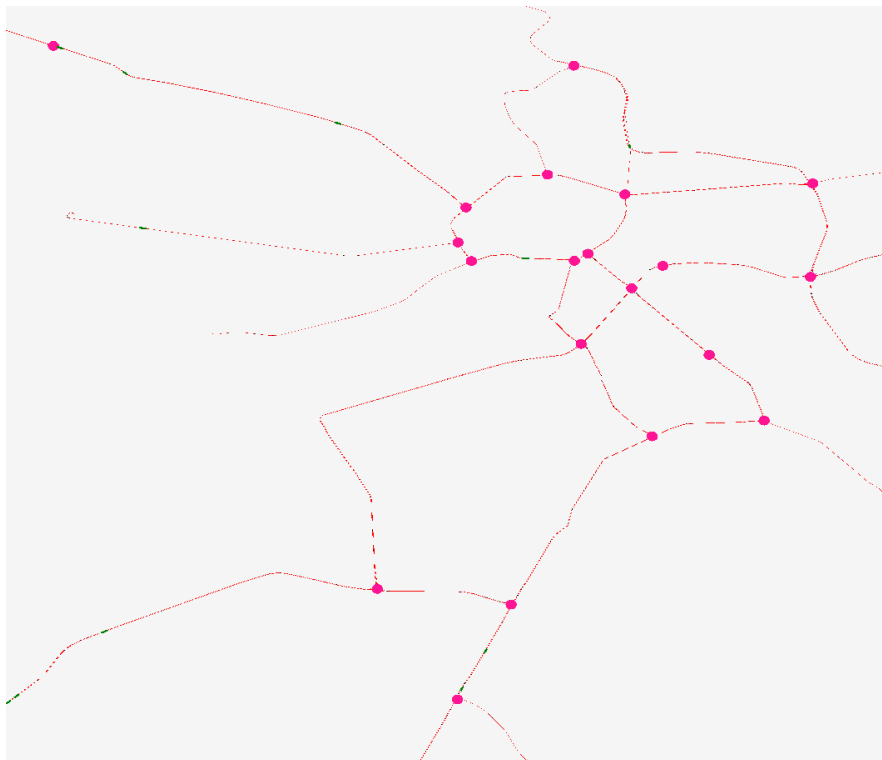
Do niebieskich punktów, które są naszymi prawidłowymi przystankami - przypisujemy ID najbliższego przystanku tramwajowego z danych od ZTP.



Rysunek 11 Przystanki na mapie wg danych łączonych [opracowanie własne]

7. Skrzyżowania tramwajowe

Skrzyżowania tramwajowe zostały wyznaczone ręcznie. Ich liczba wynosi ok 28. Są one możliwe do edycji w pliku *intersection.txt* w folderze *OWN*.



Rysunek 12 Wyznaczenie skrzyżowań na mapie Krakowa [źródło własne]

8. Tworzenie linii tramwajowych

Inicjalizacja linii na podstawie przystanku początkowego oraz jego godziny odjazdu:

```
trip_id,route_id,service_id,trip_headsign,trip_short_name,direction_id,block  
block_7_trip_1_service_1,route_807,service_1,Borek Fałęcki,"",0,block_7,,  
block_7_trip_2_service_1,route_807,service_1,Bronowice Małe,"",1,block_7,,  
block_7_trip_3_service_1,route_807,service_1,Borek Fałęcki,"",0,block_7,,
```

Rysunek 13 Pojedyncze kursy dla linii

```
trip_id,arrival_time,departure_time,stop_id,stop_sequence,stop_headsign,picku  
block_7_trip_1_service_1,04:25:00,04:25:00,stop_314_92249,2,"",1,0,,1  
block_7_trip_1_service_1,04:27:00,04:27:00,stop_361_282119,3,"",1,0,,1  
block_7_trip_1_service_1,04:28:00,04:28:00,stop_1280_364359,4,"",1,0,,1  
block_7_trip_1_service_1,04:30:00,04:30:00,stop_309_74619,5,"",1,0,,1  
block_7_trip_1_service_1,04:31:00,04:31:00,stop_312_82419,6,"",1,0,,1  
block_7_trip_1_service_1,04:33:00,04:33:00,stop_310_74719,7,"",1,0,,1  
block_7_trip_2_service_1,04:37:00,04:37:00,stop_310_74719,1,"",0,1,,1
```

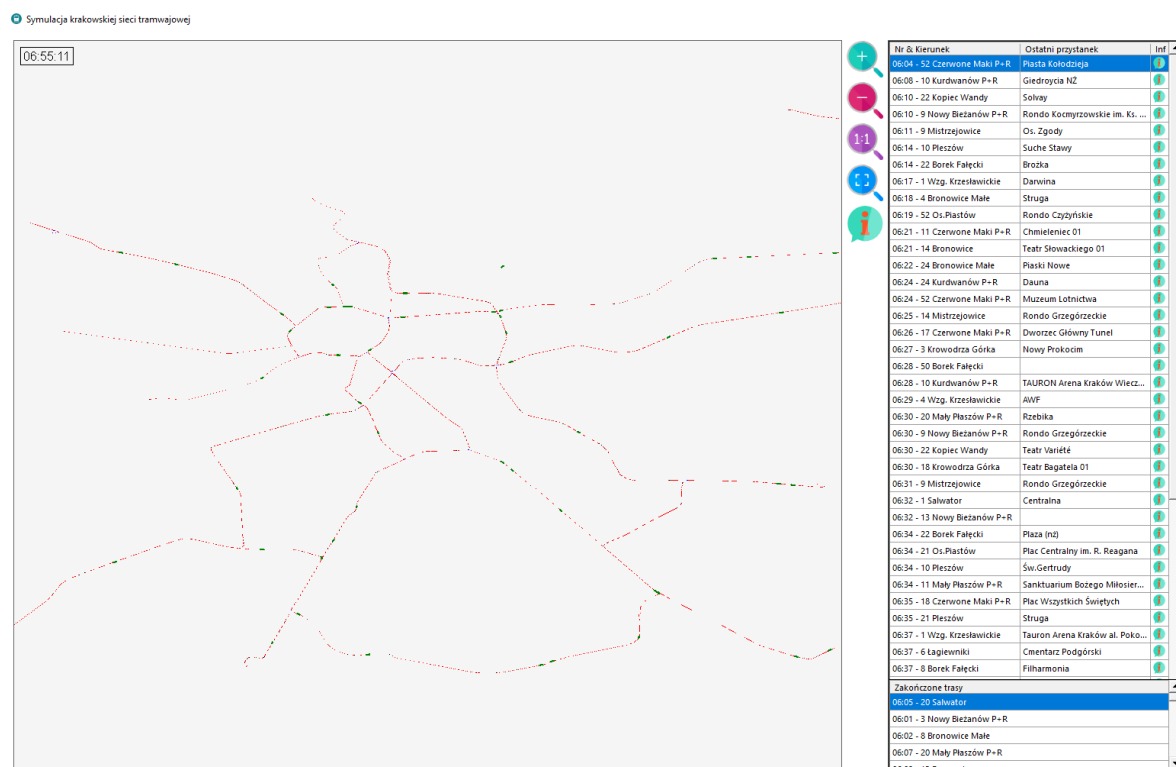
Rysunek 14 Zatrzymania na kolejnych przystankach dla danego kursu

9. Aplikacja

Przed uruchomieniem aplikacji możemy ustawić parametry takie jak:

- Jednostka symulacyjna (czas w milisekundach - domyślnie 1000),
- Czas odświeżania (milisekundy - domyślnie 10),
- Czas startu (domyślnie 05:00:00)
- Czas końca (domyślnie 07:00:00)
- Maksymalna prędkość (w km/h - domyślnie 25)
- Czas do osiągnięcia pełnej prędkości (w sekundach - domyślnie 5)

Powyższe parametry znajdziemy odpowiednio w plikach TimeConsts.cs oraz VehicleConsts.cs.



Rysunek 15 Okno aplikacji

Po lewej stronie znajduje się widok z animacją poruszających się tramwajów.

Po prawej stronie znajduje się lista z tramwajami. Jest ona podzielona na dwie sekcje – aktywne kursy znajdują się w pierwszej, zakończone w drugiej. Po kliknięciu wiersza z kursem tramwaju - podświetli się tramwaj na trasie, a animacja będzie go śledzić. Po kliknięciu w ikonę informacji – dostaniemy szczegóły danej trasy.

Nr & Kierunek	Ostatni przystanek	Inf
05:00 - 22 Borek Fałęcki	Struga	
05:01 - 3 Nowy Bieżanów P+R	Teatr Słowackiego 04	
05:01 - 9 Mistrzejowice	Włotowa	
05:01 - 14 Bronowice	DH Wanda	
05:01 - 1 Wzg. Krzesławickie	Starowiślna	
05:02 - 8 Bronowice Małe	Rzemieślnicza	
05:02 - 17 Cmentarz Rakowicki	Norymberska 02	
05:02 - 13 Bronowice		
05:02 - 24 Bronowice Małe	Biprostal	
05:02 - 10 Kurdwanów P+R	Łągowniki	
05:04 - 24 Kurdwanów P+R	Głowackiego	
05:04 - 52 Czerwone Maki P+R	Ruczaj 02	
05:04 - 62 Zajezdnia Podgórze	Centralna	
05:04 - 52 Czerwone Maki P+R	Ruczaj 02	
05:05 - 13 Nowy Bieżanów P+R		
05:05 - 20 Salwator	Oleandry	
05:05 - 14 Mistrzejowice	Dunikowskiego	
05:06 - 17 Czerwone Maki P+R	Chmieleniec 02	
05:07 - 3 Krowodrza Górka	Szpital Narutowicza 02	
05:07 - 4 Wzg. Krzesławickie	Bronowice SKA 02	
05:07 - 20 Mały Płaszów P+R	Reymana	

05:00 - 22 Borek Fałęcki

Podsumowanie

Trip ID: block_411_trip_2_service_2

Linia: 22

Kierunek: Borek Fałęcki

Godzina startu: 05:00

Szybkość: 25,00km/h

Współrzędne: N: 50,0599 E: 19,9730

Ilość odwiedzonych przystanków: 13

Historia przystanków:

05:02 - Kombinat

05:06 - Struga

05:09 - Plac Centralny im. R. Reagana

05:10 - Os. Kolorowe

05:13 - Rondo Czyżyńskie

05:14 - Centralna

05:16 - Rondo 308. Dywizjonu

05:17 - M1 Al. Pokoju

05:18 - M1 Al. Pokoju

05:20 - Plaza (nż)

05:21 - Dąbie

05:21 - Ofiar Dąbia

Rysunek 16 Aplikacja – lista kursów oraz szczegóły kursu linii 22

10. Opis działania symulacji

10.1. Główne klasy oraz jej najważniejsze zmienne

Główna klasa **Vehicle** zawiera m.in. informacje takie jak:

- Linia tramwaju (nr linii oraz kurs)
- Czas startu
- Pozycję geograficzną
- Prędkość
- Maksymalna prędkość
- Listę punktów (tradycyjny graf złożony z listy **Node**)
- Aktualne skrzyżowanie (**TramIntersection** jeśli obiekt się na nim znajduje)
- Historia przystanków (nazwy + godziny)

Klasa **Node** jako poszczególny punkt w grafie:

- Id przystanku tramwajowego (jeśli jest)
- Nazwa przystanku tramwajowego (jeśli jest)
- Typ (normalny, skrzyżowanie, przystanek)
- Skrzyżowanie (**TramIntersection**, jeśli nim jest)
- Następny/Następne **Node**

Klasa **TramIntersection** reprezentująca skrzyżowanie:

- Lista Node (punkty, które tworzą skrzyżowanie)
- Kolejka Vehicle (zakolejkowane tramwaje)
- Aktualny Vehicle (Aktualny tramwaj, który wjechał na skrzyżowanie)

10.2. Etapy symulacji

1. Sprawdzenie czy istnieje tramwaj, który rusza o danej godzinie i dodanie do listy.

2. Dla każdego symulowanego tramwaju, w i-tej chwili czasowej:

- obliczana jest prędkość w przykładowych przypadkach:
 - pobyt na przystanku lub czekanie w kolejce na skrzyżowaniu (prędkość = 0),
 - obecność innego tramwaju na drodze przed sobą (prędkość się dostosowuję),
 - zbliżanie się do przystanku/skrzyżowania (prędkość jest zmniejszana),
 - wolna droga (prędkość wzrasta stopniowo do maksymalnej prędkości).
- jeśli tramwaj wjeżdża na punkt typu stop, czas oraz nazwa przystanku jest zapisywana do listy odwiedzonych przystanków,
- na podstawie aktualnej prędkości wyznaczany jest następny punkt położenia tramwaju na mapie,
- usuwanie tramwaju z symulacji, jeśli dotarł do przystanku końcowego.

3. Kolejnowanie skrzyżowania - na każdym ze skrzyżowań może znajdować się maksymalnie po jednym tramwaju. Po wyjechaniu jednej jednostki - wjeżdża następna itd.

10.3. Parametry nieuwzględniane w symulacji

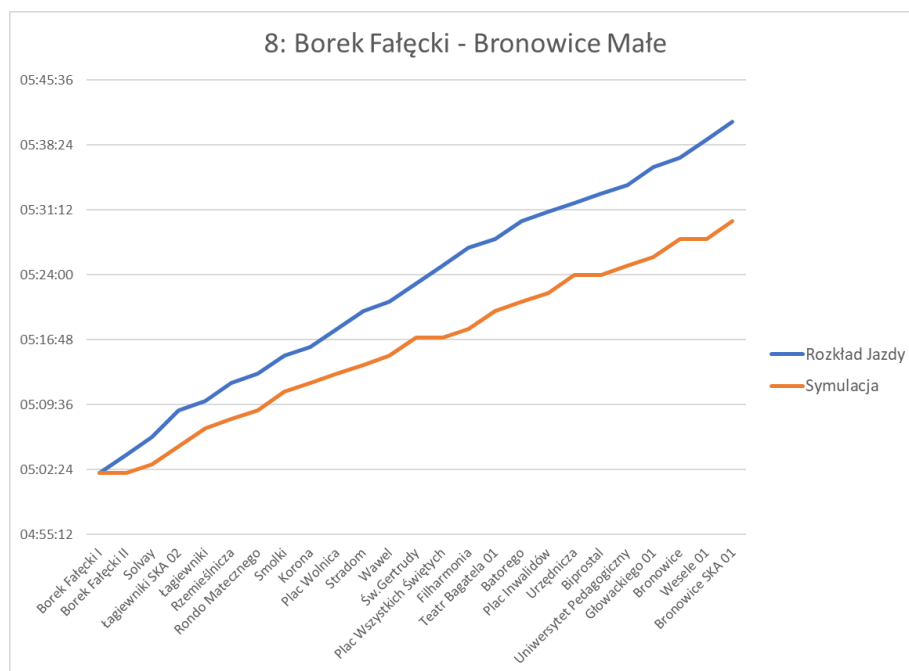
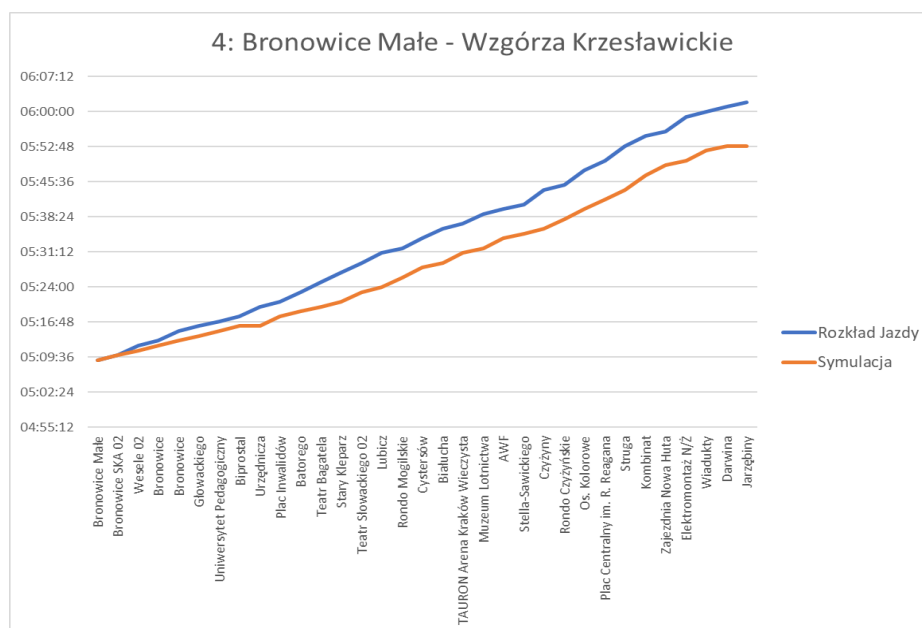
- Sygnalizacja świetlna (brak danych, duża trudność implementacji),
- Pasażerowie (brak dostępnych danych)

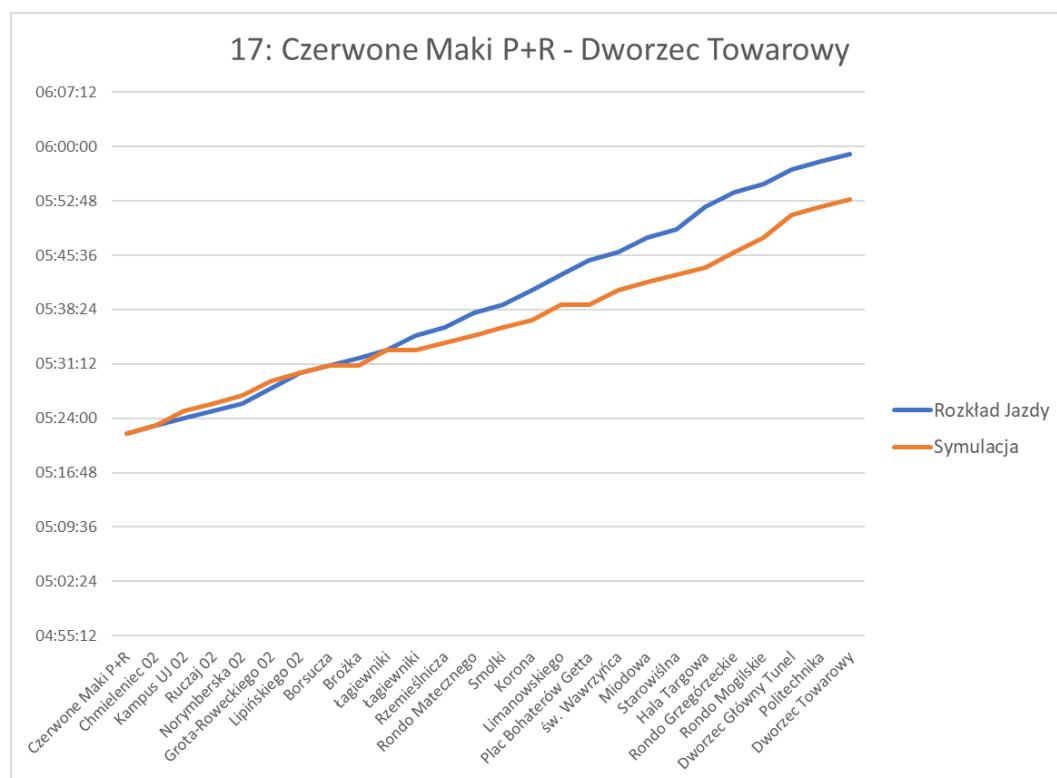
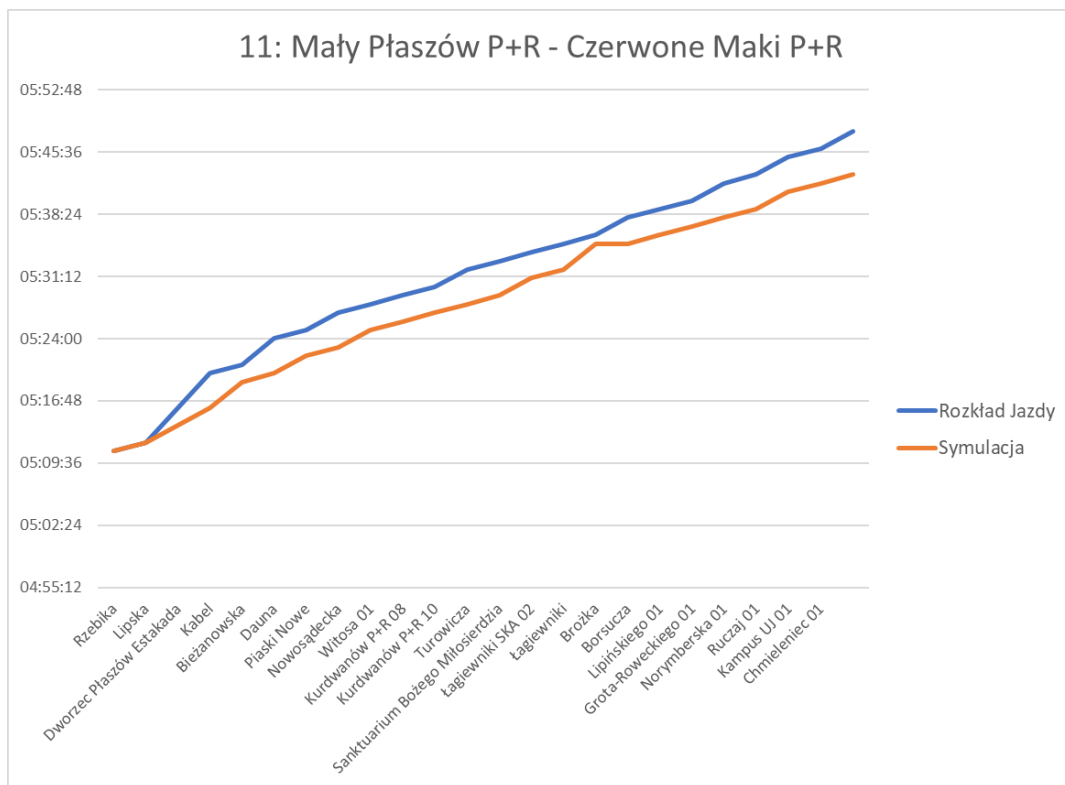
11. Analiza wyników symulacji

Analizę przeprowadzono dla poszczególnych danych:

- Czas symulacji: 05:00:00 – 06:30:00
- Maksymalna prędkość: 25 km/h
- Czas potrzebny do uzyskania maksymalnej prędkości: 5 s

Poniżej przedstawiono zestawienie kilku otrzymanych wyników oraz aktualnego rozkładu jazdy ze strony ZTP. Bardzo ważnym aspektem jest brak uwzględnienia sygnalizacji świetlnej oraz miejskiego ruchu samochodowego. Jednak tendencja wzrostu oraz spadku czasu przejazdu między kolejnymi przystankami jest podobna do tej w rozkładzie jazdy.

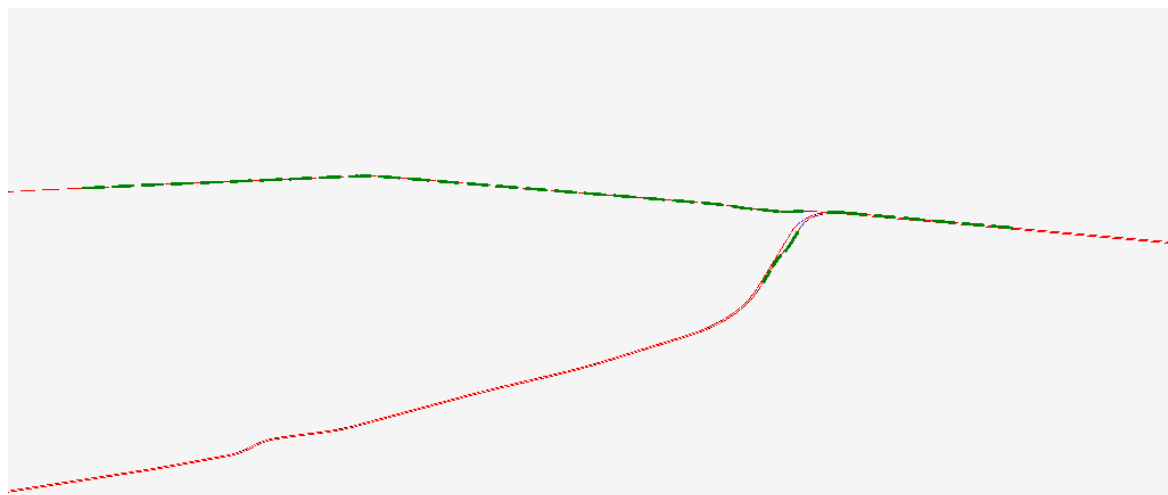




Rysunek 17 Wykresy reprezentujące porównanie wyników z symulacji do tych z rozkładu jazdy

12. Błędy

W niektórych przypadkach może zdarzyć się sytuacja, w której części torów, głównie skrzyżowania lub pętle “zakorkują się” i ruch tramwajów zostanie znacznie spowolniony.



Rysunek 18 "Zakorkowane skrzyżowanie" [źródło własne]

13. Wnioski

W przeprowadzonej symulacji nie udało się zrealizować wszystkich założeń z początku pracy nad projektem. Problem okazał się być bardzo złożony implementacyjnie. Nie udało się uzyskać danych o zapelnieniu pojazdów, do których można byłoby się odwołać przy symulowaniu potoków pasażerskich. Przeprowadzona symulacja nie odwzorowuje idealnie rzeczywistego rozkładu jazdy tramwajów, jednakże po analizie wyników (przedstawionej w punkcie 11) można zauważyć, że różnice są niewielkie. Możemy zatem uznać, że poruszanie się pojazdów zaimplementowano poprawnie, co może stanowić podstawę do dalszego rozwoju symulacji, uwzględniając dodatkowe czynniki. Rozwój symulacji mógłby pomóc usprawnić rozkład jazdy i pomóc pasażerom dotrzeć do pracy na czas.

Źródła

- [1] *SIMULATION MODEL OF TRAM ROUTE OPERATION* M. Bauer*, M. Richter and H. Weiß
<https://core.ac.uk/download/pdf/224742307.pdf>
- [2] *Rozkład jazdy KMK*
<https://ztp.krakow.pl/transport-publiczny/komunikacja-miejska/rozklady-jazdy-kmk>
- [3] *Mapa Krakowa w serwisie openstreetmap*
<https://www.openstreetmap.org/export#map=13/50.0555/19.9927&layers=O>
- [4] *Tramwaje w Krakowie*
https://pl.wikipedia.org/wiki/Tramwaje_w_Krakowie
- [5] *Problematyka modelowania ruchu miejskiego z wykorzystaniem automatów komórkowych*, 2009
Wąs J., Bicliński R., Gajewski B., Orzechowski P.