Porównanie symulatorów ruchu miejskiego

Zuzanna Brzezińska, Agnieszka Szynalik

March 2023

Spis treści

1 Analiza problemu i dziedziny

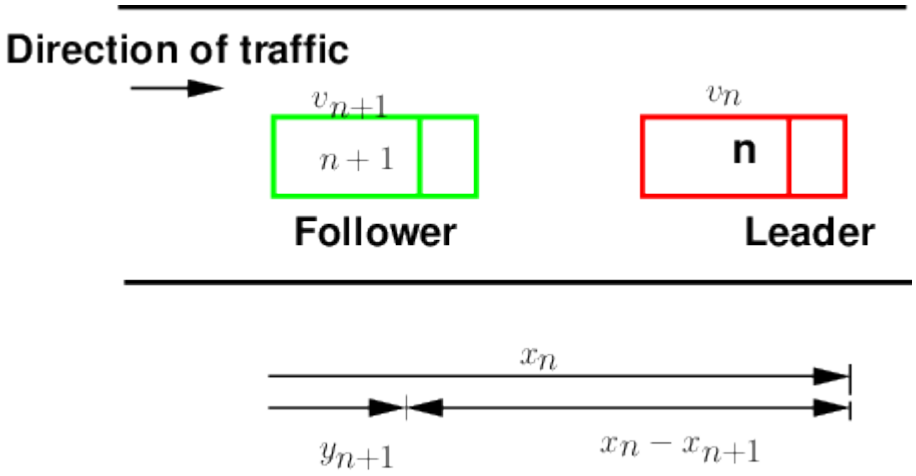
1.1 Modele i systemy

Modele dzielimy ze względu na ich szczegółowość - wyróżniamy modele mikro, mezo i makroskopowe.

- **Modele mikroskopowe** symulują każdy pojedynczy pojazd. Ich logika zawiera algorytmy opisujące jak pojazdy poruszają się oraz jak wchodzą w interakcje z innymi obiektami. Symulacja uwzględnia pozycję, prędkość przyspieszenie i wiele innych parametrów dla każdego pojedynczego pojazdu. Takie modele pozwalają również na symulowanie innych cech otoczenia pojazdów, takich jak sygnalizacja świetlna czy piesi.
- **Modele mezoskopowe** - stanowi niejako model pośredni między mikro i makroskopowym. Symulacja jest obliczana dla grup pojazdów, jednak pojazdy mogą mieć indywidualne cechy.
- **Modele makroskopowe** - symulują przepływ ruch. Uwzględniają średnią prędkość oraz gęstość strumienia pojazdów, bez symulowania pojedynczych obiektów.

*S*ystem może być dyskretny oraz ciągły. W systemie dyskretnym update stanu odbywa się w określonych odstępach czasowych, a zmiany mają charakter dyskretny, a w systemie ciągłym zmiany zachodzą w sposób ciągły.

Model Car-Following - opisuje jak pojazd podąża za innym pojazdem za pomocą równań różniczkowych. Parametrami wejściowymi w tym modelu są prędkość danego pojazdu, prędkość pojazdu przed nim oraz odległość między tymi dwoma pojazdami. Na ich podstawie obliczane są położenia oraz prędkości każdego z samochodów. Przykładami takich modeli są np. model Gippsa czy model Wiedemanna.



Rysunek 1: Car Following Model

Model Lane-Changing - symuluje zachowanie pojazdów zmieniających pas ruchu w celu uniknięcia przeszkód lub optymalizacji czasu podróży. Bierze pod uwagę takie czynniki, jak szerokość pasa ruchu, natężenie ruchu oraz prędkość i rozmiar innych pojazdów.

Model Intersection - opisuje zachowanie pojazdów i pieszych na skrzyżowaniach. Uwzględnia czas sygnalizacji świetlnej, skręty i przejścia dla pieszych.

1.2 Przegląd istniejących symulatorów ruchu drogowego

Nazwa	Model	System	Parametry	Cechy
MOVSIM	mikro	dyskretny i ciągły	wielopasmowość, sygnalizacja świetlna, możliwość używania różnych modeli (IDM, Gipps, Krauss, etc)	XML-based configuration, GUI, csv output
SUMO (Simulation for Urban MObility)	mikro (model Kraussa)	ciągły	wielopasmowość, sygnalizacja świetlna, piesi i rowery, VSL (Variable Speed Limit), Rerouter	model ruchu może być zdefiniowany przez użytkownika, xml-based output
AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks)	mikro (oparty na Gipps)	ciągły	pojazdy mogą zmieniać wybraną trasę na podstawie natężenia ruchu, wielopasmowość, przejścia dla pieszych, VSL (VMS), różne typy dróg	GUI, animowany output 2D i 3D
Vissim	mikro (model Wiedemann)	ciągły	dużo rodzajów pojazdów	COM (Component Object Model) programming interface - umożliwia użytkownikowi implementację symulacji przy użyciu różnych języków programowania

SMARTS (Scalable Microscopic Adaptive Road Traffic Simulator)	mikro (IDM model)	dyskretny	planowanie trasy pojazdów, sygnalizacja świetlna, transport piubliczny, generowanie ruchu, blokowanie dróg	OSM, możliwość wizualizacji wyników
MATSim (Multi-Agent Transport Simulation)	mezo (Krauss model)	dyskretny	transport publiczny, planowanie trasy pojazdów, sygnalizacja świetlna	plik konfiguracyjny XML, paczki rozszerzające zakres funkcjonalnści, graficzne wyświetlanie wyników
Visum	makro	dyskretny / ciągły	różne modele (Wiedemann, Krauss, etc), użytkowanie gruntów, sygnalizacja świetlna, trasport publiczny, czynniki środowiskowe	integracja GIS, analiza wydajności, optymalizacja, prognozowanie
TRANSIMS (Transportation Analysis and Simulation)	mikro (Nagel-Schreckenberg model)	dyskretny	syteza populacji, parametryzacja pojazdów, sygalizacja świetlna, transport publiczny, pogoda	wydajny, import map z różnych źródeł, wiele bibliotek, optymalizacja i prognozowanie
GAMA (Generic Architecture for Modular Agents)	mezo / mikro / makro	dyskretny	różne modele (IDM, Gipps, Krauss), plugiy, sganlizacja, wielopasmowość	mapa w formacie shaprefile, wykresy

2 Analiza i wybór narzędzi

2.1 SMARTS

2.1.1 Konfiguracja danych wejściowych

- Import mapy OpenStreetMap z możliwością pobrania jej w symulatorze.
- Wczytanie pliku XML definiującego plan trasy dla dowolnej liczby pojazdów
- Definiowanie miejsc na mapie, w których generowane są pojazdy.
- Definiowaie celu na mapie, do którego zmierzają pojazdy.
- Dodawanie oraz usuwanie sygnalizacji świetlnej.
- Blokowanie wybranych dróg.

2.1.2 Konfiguracja parametrów symulacji

- Liczba pojazdów prywatnych oraz publicznych, tj. tramwaje i busy.
- Możliwość zmiany trasy pojazdów w trakcie trwania symulacji.
- Dystans pomiędzy pojazdami.
- Sposób kontroli sygnalizacji świetlnej.
- Algorytm generowania tras.
- Ruch prawostronny lub lewostronny.

2.1.3 Wyniki symulacji

Symulator zapewnia podgląd statystyk w trakcie trwania symulacji:

- Średnia prędkość w zdefiniowanych oknach na mapie.
- Informacje na temat pojazdów: typ pojazdu, profil kierowcy, długość drogi do celu.
- Średnia prdkość na poszczególnych drogach.

Na koniec symualcji generowane są pliki wynikowe:

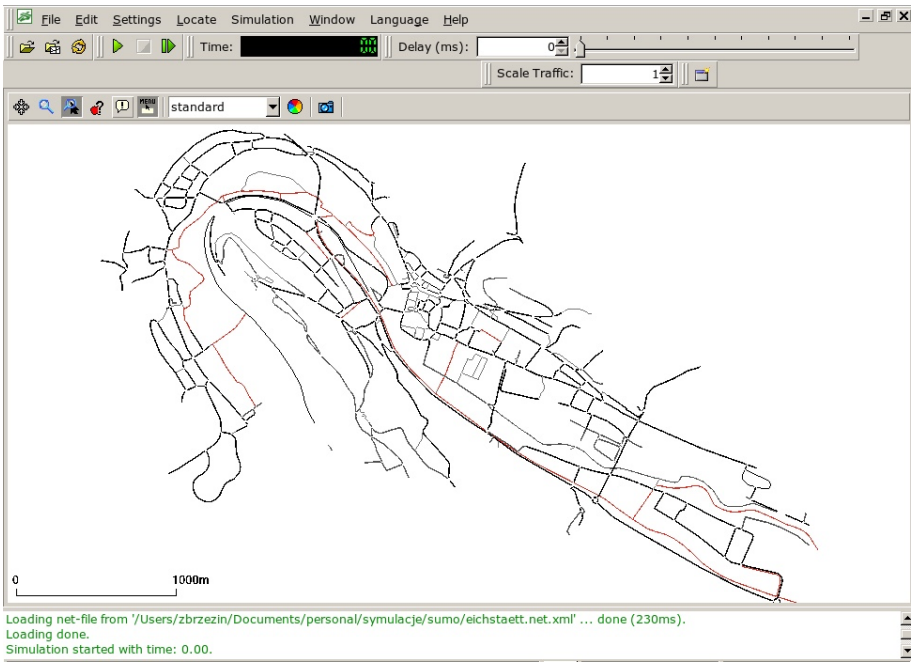
- Początkowe trasy wewnętrznie wygenerowanych losowych pojazdów. (id pojazdu, typ pojazdu, czas startu, profil kierowcy, lista node'ów)
- Czas podróży pojazdów, które dotarły do celu. (id pojazdu, czas podróży)
- Ogólne informacje, tj. czas trwania symulacji, średnia prędkość pojazdów. (timestamp, czas trwania symulacji, średnia prędkość pojazdów)
- Pozycje pojazdów w czasie. (id pojazdu, typ pojazdu, timestamp, długość i szerokość geograficzna)

2.2 SUMO

2.2.1 Konfiguracja danych wejściowych

Open street map - jest możliwość przetworzenia pliku .osm na plik .net.xml za pomocą polecenia netconvert

- Typemaps - są to rozszerzenia ktore dodają brakujące informacje, takie jak infrastruktura czy zasady panujące na określonej drodze. Przykładowe typemaps to:
  - osmNetconvertUrbanDe (dodaje typowe dla miast ograniczenia prędkości)
  - osmNetconvertPedestrians (dodaje chodniki)
  - osmNetconvertBicycle (dodaje ścieżki rowerowe)
- Opcje (flagi):
  - –geometry.remove - uproszcza sieć bez zmiany topologii
  - –ramps.guess - dodaje pasy rozbiegowe
  - –lefthand - ustawia ruch lewostronny

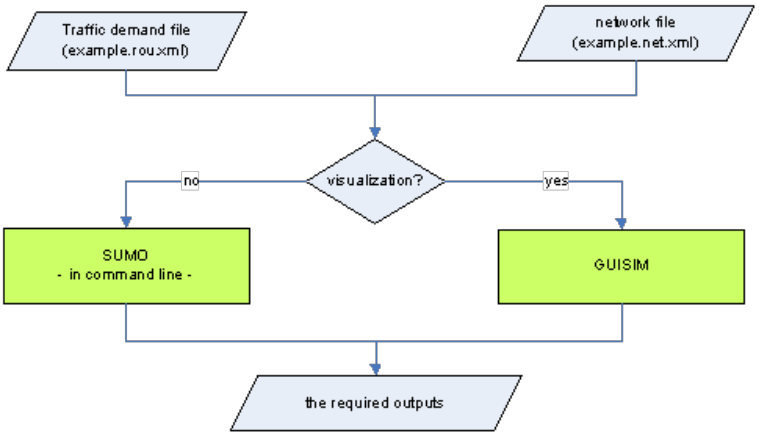


Rysunek 2: Mapa OSM zaimportowana do SUMO

GUI - przy użyciu narzędzia NETEDIT jesteśmy w stanie tworzyć sieci i definiować ich własności oraz dodawać pojazdy wraz z ich cechami. Netedit posiada dwa głowne tryby:

- Network - w ramach tego trybu możemy tworzyć nody i modyfikować połączenia między nimi, w tym:
  - definiować liczbę pasów
  - blokować wybrane drogi
  - dodawać i usuwać sygnalizację świetlną
  - tworzyć przejścia dla pieszych
  - tworzyć TAZs (Traffic Analysis Zones), czyli grafy skierowane, działające jak sieci przepływowe
- Demand - dzięki temu trybowi tworzymy pojazdy oraz definiujemy ich zachowania - wyznaczamy ich sposób poruszania się, czyli na przykład:
  - Route (trasa) - sekwencja odcinków dróg, które muszą zostać pokonane przez pojazd, aby dotrzeć z punktu A do punktu B.
  - Trip - ruch pojazdu z jednego miejsca do drugiego określony przez krawędź początkową, krawędź docelową i czas odjazdu
  - Flow - trip dotyczący wielu pojazdów

2.2.2 Konfiguracja symulacji



Rysunek 3: Sposoby przeprowadzania symulacji w SUMO

Command line - symulacja przeprowadzana jest przy użyciu komendy *sumo -c <filename>.sumocfg*, z argumentem oznaczającym plik konfiguracyjny danej symulacji.

GUI - umożliwia obserwację przeprowadzania symulacji w czasie rzeczywistym, symulacja może być włączana, stopowana i uruchamiana

2.2.3 Wyniki symulacji

Dostępne pliki wynikowe:

- Dotyczące pojazdów
  - *raw vehicle positions dump* - pozycje wszystkich pojazdów razem z prędkościami w kolejnych timestampach
  - emission - zanieczyszczenia powstałe podczas jazdy dla każdego samochodu
  - *FCK Output* - Floating car data - nazwy, pozycje, kąty i typy wszystkich pojazdów
  - *Trip information* - zagregowane dane dotyczące podróży każdego auta
- Dotyczące pasów/krawędzi
- Dotyczące skrzyżowań
- Dotyczące świateł

2.3 Movsim

2.3.1 Konfiguracja danych wejściowych

Konfigurację sieci zawieramy w pliku Opendrive, jednak nie wszystkie cechy charakterystyczne dla tego typu pliku są zaimplementowane w symulatorze Movsim. Możemy w nim definiować takie rzeczy jak:

- drogi <road>
- pasy ruchu <lane>
- sygnalizację świetlną i znaki <signals>
- limity prędkości
- tory <railroads>

2.3.2 Symulacja

Do uruchomienia symulacji niezbedne są dwa pliki:

- projectName.xprj - ogólna specyfikacja projektu, używająca xml
- projectName.xodr: -specyfikacja sieci w formacie Opendrive Dodatkowo można dodać plik projectName.properties (w przypadku jego braku używany jest plik defaultowy).

  Plik specyfikujący symulację umożliwia dodawanie układów pojazdów (TrafficComposition), źródeł ich wyjazdu (TrafficSource) oraz definiowanie outputu (OutputConfiguration). Dostępne jest rówież kilka typów modelu car-following do wyboru, min Newella, Kraussa czy Gippsa.
  Symulację możemy przeprowadzić na dwa sposoby - używając Movsim Viewer oraz Movsim Core. Pierwsza wersja zapewnia GUI z możliwością blokowania i wznawiania symulacji, podglądem aktualnego stanu dla całej symulacji (liczba pojazdów, ich średnia prędkość, liczba stojących pojazdów), jak i stanu pojedynczego pojazdu (pozycja, prędkość, przyspieszenie, cel). Dostępne są również logi postaci:

  ```
  476266 [Thread-41] DEBUG (RoadSegment.java:
      updateVehiclePositionsAndSpeeds:964) - Vehicle [
      id=1074, label=IDM1, length=6, frontPosition
      =997.001, frontPositionOld=997.001, speed=0,
      accModel=1.2, acc=0, accOld=0, vehNumber=-1, lane
      =1, brakeLightOn=false]
  ```

Z kolei Movsim Core nie zawiera strony wizualnej, jedynie logi pojawiające się w konsoli.

Wyniki symulacji zapisywane są do plików CSV, których zawartość różni się od typu outputu zdefiniowanego w pliku symulacji:

- FloatingCarOutput - po jednym dla każdego pojazdu, zawiera min następujące informacje:
  - położenie - x[m]
  - prędkość - v[m/s]
  - przyspieszenie
  - kąt pod jakim położony jest pojazd slope[rad]
  - odległość od celu distToTL[m]
  - id poprzedzającego pojazdu - frontVehID

Rysunek 4: Symulacja za pomocą Movsim Viewer

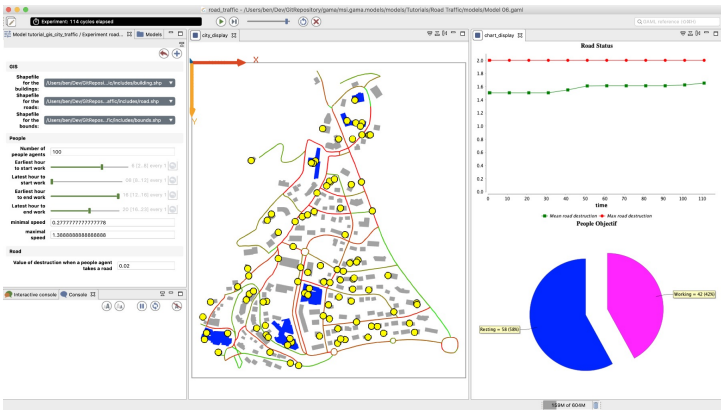
2.4 GAMA

2.4.1 Konfiguracja

- Import danych w formacie GIS podzielonych na warstwy, np. budynki i drogi.
- Konwersja pliku OpenStreetMap do pliku shapefile.
- Możliwość skorzystania z gotowych pluginów. Jednak brakuje w nich niektórch funkcjonalności, więc wymagałyby ręcznej konfiguracji modelu w celu uzyskania odpowiednich statystyk.
- Dodanie agentów zdefiniowanych przez użytkownika.
- Zamodelowanie sposobu zachownania wprowadzonych agentów.
- Ręczne ustalenie zasad działania eksperymentu.

2.4.2 Wyniki symulacji

- Metryki wyświetlane na wykresach w trakcie trwania symulacji - zdefiniowane przez użytkownika w modelu, np. średnia prędkość.



Rysunek 5: Widok panelu symulacji w GAMA

3 Określenie celu i zakresu prac

Celem naszej pracy jest porównanie symulatorów ruchu drogowego: SMARTS oraz SUMO. Wybrane przez nas aplikacje zaliczmay do modeli mikroskopowych. Pozwalają one na symulację tych samch konstrukcji drogowych oraz wspierają funkcjonalności, tj. sygnalizacja świetlna oraz wielopasmowość. Umożliwiają także skorzystanie z tego samego typu modelu car following - IDM.

Biorąc pod uwagę możliwości, jakie dostarczają przeanalizowane przez nas rozwiązania, a przede wszystkim dane wyjściowe, zdefiniowany został zakres metryk. Między innymi porównywać będziemy *Floating Car Data/ Output*, na podstawie którego wyciągnąć moża następujące informacje:

- Średnia prędkość wszystkich pojazdów
- Liczba pojazdów na wybranym obszarze w czasie
- Liczba pojazdów o średniej prędkości w różnych przedziałach

4 Konfiguracja symulacji

Z racji, że oba symulatory wspierają import pliku OpenStreetMap, rozważanym przez nas obszarem będzie dzielnica Krakowa - Krowodrza. Mapę uzyskałyśmy z serwisu OpenStreetMap, a następnie wgrałyśmy do symulatorów (w przypadku SUMO uprzednio konieczne było przekonwertowanie jej poleceniem netconvert)

Rysunek 6: Widok mapy Krowodrzy w programie Netedit

Parametr	Wartość
Czas trwania	3600s
Liczba samochodów w symulacji	50, 100, 200, 500
Kroki na sekunde	5
Typy pojazdów	samochody osobowe, rowery
Model car-follow	IDM

Tabela 1: Parametry wspólne dla obu symulacji

Parametr	Wartość dla samochodu	Wartość dla roweru
Długość [m]	5	1.8
Prędkość maksymalna [m/s]	70.0	12
Zwalnianie	4.5	1.5
Przyspieszanie	2.6	0.8
Prawdopodobieństwo pojawienia się	0.95	0.05

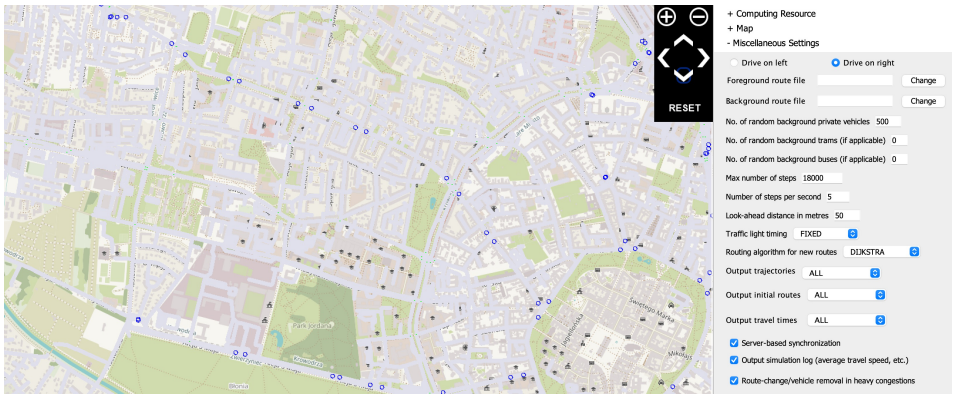
Tabela 2: Parametry ustawione dla SUMO

Symulować będziemy ruch na przestrzeni jednej godziny, gdzie na sekundę wykować będziemy 5 kroków. Ważnym aspektem, który należy wziąć pod uwagę, jest konfiguracja wejściowa. Chcemy, aby symulacja przeprowadzona była w tych samych warunkach. Ze względu na ograniczenia, jakie narzuca przede wszystkim symulator SMARTS, zdecydowałyśmy się na scenariusz, w którym wybrana licza pojazdów będzie poruszać się ruchem prawostronnym w spoób losowy na przestrzeni całej mapy. Dodatkowo uwzględnimy także rowerzystów.

Dodatkowo, program SUMO pozwala na określenie większej liczby parametrów niż SMARTS, dlatego przeprowadziłyśmy wstępne symulacje i dopasowałyśmy konfigurację SUMO, aby była najbardziej zbliżona do wartości defaultowych w SMARTS.

4.1 SMARTS

Odpowiednie parametry symulacji ustawione zostały w GUI aplikacji. Dostosowana została między innymi liczba kroków tak, aby symulacja trwała godzinę czasu rzeczywistego. W celu wygenerowania odpowiedniego ruchu w trakcie jednej godziny, dostosowano także parametr odpowiadający za liczbę pojazdów prywatnych. Wygenerowane w ten sposób pojazdy zaliczyć możemy do samochodów oraz rowerów. Warto także wspomnieć, że w przypadku dużego ruchu, pojazdy mają możliwość zmiany trasy.



Rysunek 7: Widok mapy Krowodrzy w programie SMARTS wraz z dostosowanymi ustawieniami

4.2 SUMO

Do przeprowadzenia symulacji w programie SUMO niezbędne było uzyskanie trzech plików wejściowych:

- Network (o rozszerzeniu .net.xml) - zawierającego przekonwertowaną mapę Krowodrzy
- Route/Demand (.rou.xml) - zawierającego informacje o pojazdach i ich sposobach poruszania się
- Config (.sumocfg) - zawierającego ścieżki do obu poprzednich plików

Do przeprowadzenia symulacji zgodnie z naszymi założeniami kluczowy byl plik Route, który posiada następującą strukturę:

```
<routes>
    <vType/>
    ...
    <flow/>
</routes>
```

Tag vType pozwala definiować pojazdy poruszające się w ramach symulacji. W naszym przypadku są to:

- Samochody osobowe

```
<vType id="car" length="5.00" maxSpeed="70.00"
speedFactor="normc(1.00,0.20,0.20,2.00)" vClass="passenger"
accel="2.6" decel="4.5" sigma="0.2" carFollowModel="IDM"/>
```

- Rowery

```
<vType id="bike" length="1.80" maxSpeed="7.50"
speedFactor="normc(1.00,0.50,0.20,2.00)" vClass="bicycle" width="0.80"
accel="0.8" decel="1.5" sigma="0.5" carFollowModel="IDM"/>
```

- Tramwaje

```
<vType id="tram" length="40.00" maxSpeed="30.00"
speedFactor="normc(1.00,0.10,0.20,2.00)" vClass="rail_urban"
accel="0.8" decel="0.5" sigma="0.1" carFollowModel="IDM"/>
```

We wszystkich pojazdach parametr carFollowModel został ustawiony na wartość "IDM", ponieważ taki model jest używany w symulatorze SMARTS. Długości i maksymalne prędkości pojazdów zostały dopasowane, aby odwzorowywały rzeczywiste wartości.

Tag flow został skonstruowany w następujący sposób:

```
<flow id="f_4" begin="0.00" from="-126376304#1" to="365151260#3"
via="277156308" end="86400.00" vehsPerHour="1800.00"/>
```

5 Porównanie wyników

5.1 Liczba wygenerowanych pojazdów

		SMARTS		SUMO	
		Samochody	Rowery	Samochody	Rowery
Liczba pojazdów na mapie	50	458	27	460	33
	100	877	52	892	53
	200	1782	77	1487	90
	500	3714	201	2947	180

Tabela 3: Zestawienie liczby wygenerowanych pojazdów

Jak widać w tabeli 3, dla mniejszych liczb pojazdów w konfiguracji, suma wszystkich wygenerowanych samochodów jest podobna, jednak wraz ze wzrostem tej liczby sumy dla SUMO i SMARTS zaczynają się od siebie różnić. Wyjaśnienia tych rozbieżności można szukać w tabeli 4 przedstawiającej średnie prędkości.

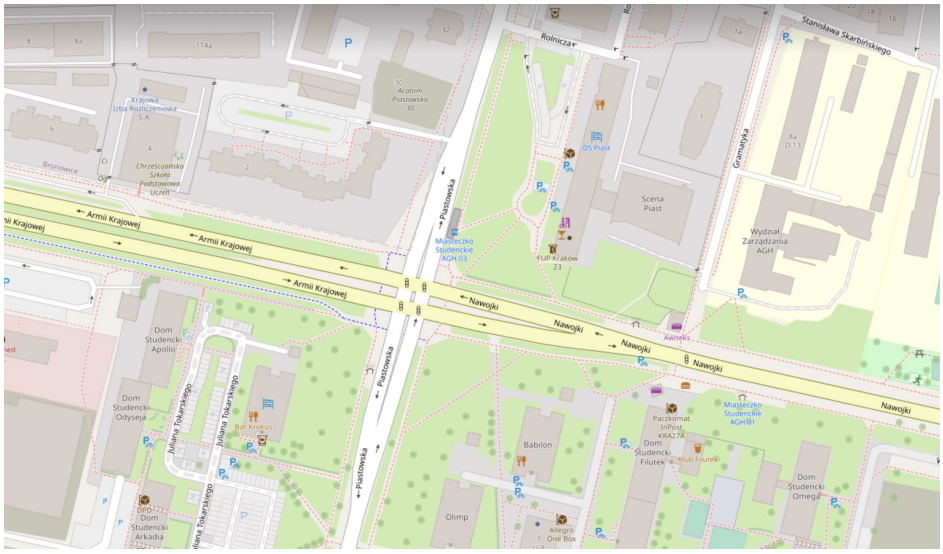
5.2 Analiza średniej prędkości wszytskich pojazdów

		SMARTS		SUMO	
		Samochody	Rowery	Samochody	Rowery
Liczba pojazdów na mapie	50	26.0478281	25.319420	28.1625573	16.0096942
	100	25.7119618	26.065195	26.9638309	15.4290642
	200	25.1383474	25.1091356	22.7052332	14.4549492
	500	21.271680	20.03338	19.7558210	13.8830458

Tabela 4: Zestawienie średniej prędkości pojazdów na przestrzeni całej symulacji

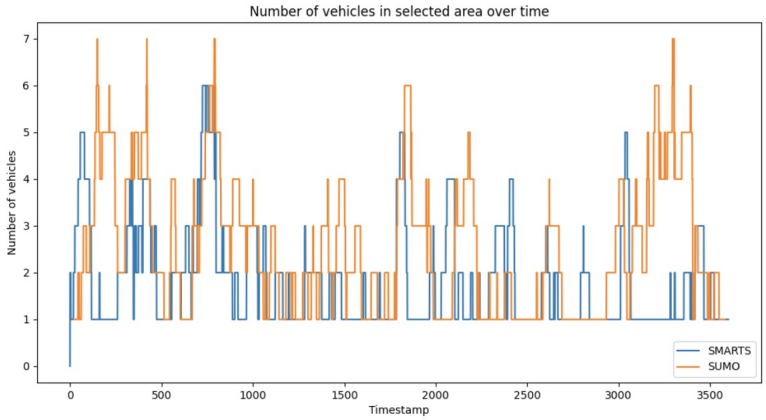
Tabela 4 przedstawia średnie prędkości pojazdów dla różnych ustawień konfiguracji - te wyniki dość mocno się różnią, w zależności od symulatora. W SUMO występują większe różnice między prędkościami rowerów i samochodów (dla najmniejszej liczby pojazdów są to wielkości ok 10 km/h), a w SMARTS te wartości są bardzo zbliżone. Dodatkowo w SUMO, liczba pojazdów jest odwrotnie-proporcjonalna do różnic w ich średnich prędkościach, podczas gdy w SMARTS ta różnica jest stała.

5.3 Analiza liczby pojazdów na wybranym obszarze

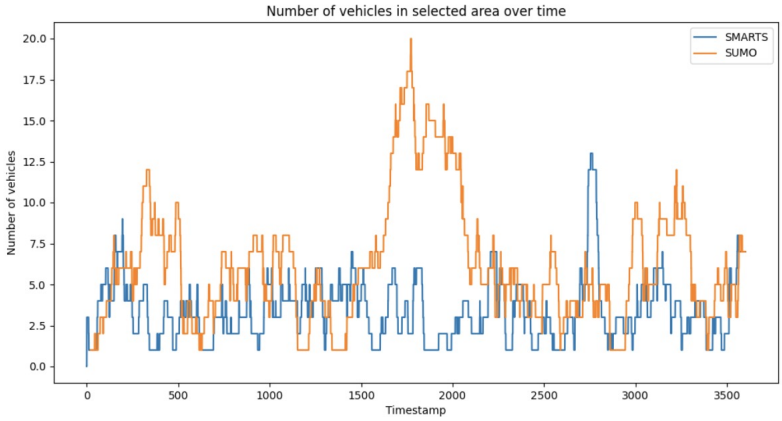


Rysunek 8: Widok wybranego obszaru w aplikacji internetowej OpenStreetMap

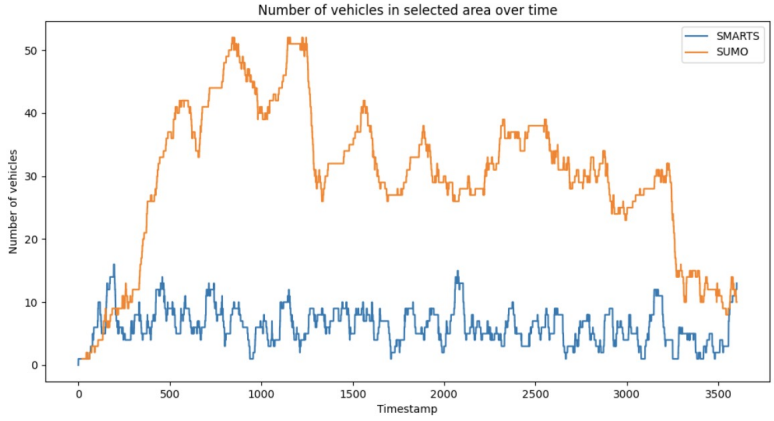
Rysunek 8 przedstawia skrzyżowanie ulic Armii Krajowej i Piastowskiej, na którym analizowana jest liczba pojazdów w czasie trwania symulacji. Wyniki tej analizy zostały zestawione na poniższych wykresach. Zauważamy, że wraz ze wzrostem liczby pojazdów na mapie pojawia się coraz więcej różnic pomiędzy symulatorami. W SMARTS liczba pojazdów utrzymuje się na stałym poziomie przez cały okres trwania symulacji, podczas gdy w SUMO obserwujemy większe natężenie ruchu oraz występowanie "skoków". Na rysunku 12 widoczny jest nagły spadek, który prawdopodobnie jest wynikiem usunięcia pojazdów przez symulator na skutek zbyt dużego korka.



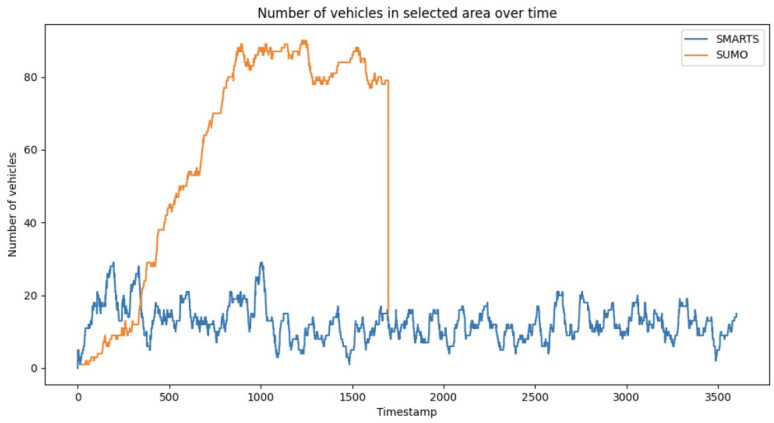
Rysunek 9: Wykres liczby pojazdów na wybranym obszarze w czasie dla liczby pojazdów na mapie równej 50



Rysunek 10: Wykres liczby pojazdów na wybranym obszarze w czasie dla liczby pojazdów na mapie równej 100



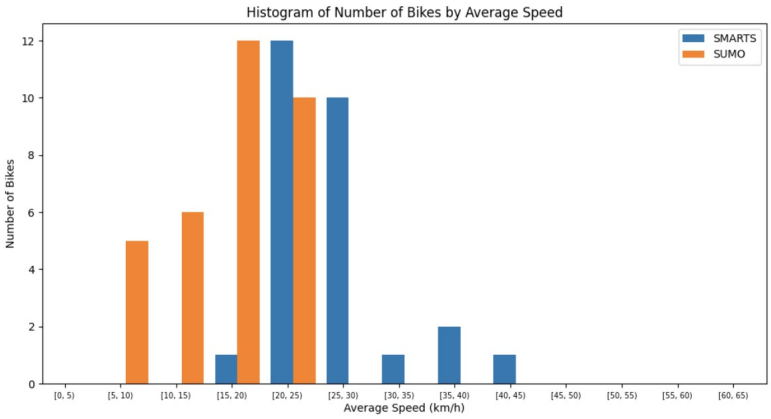
Rysunek 11: Wykres liczby pojazdów na wybranym obszarze w czasie dla liczby pojazdów na mapie równej 200



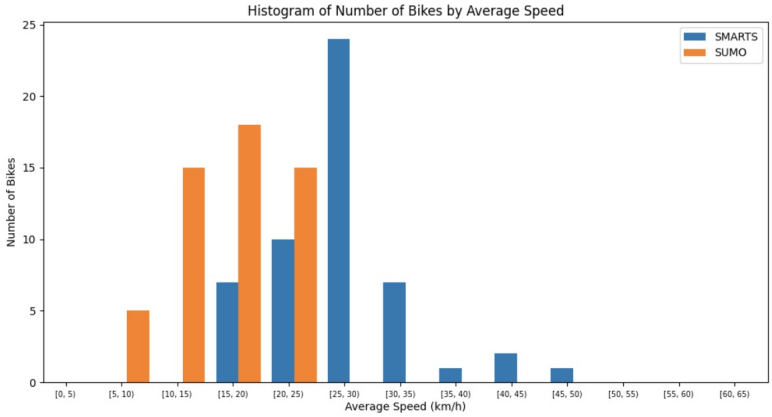
Rysunek 12: Wykres liczby pojazdów na wybranym obszarze w czasie dla liczby pojazdów na mapie równej 500

5.4 Analiza liczby pojazdów o średniej prędkości w różnych przedziałach

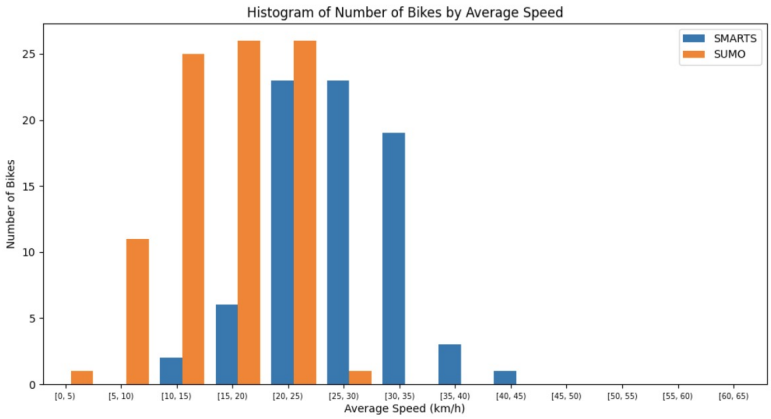
Na poniżej zamieszczonych histogramach zaobserwować możemy, że rowerzyści w symulatorze SMARTS poruszają się zdecydowanie szybciej niż w symulatorze SUMO. Jeżeli chodzi o ruch samochodów osobowych, wyniki obu aplikacji są do siebie zbliżone. Zgodnie z oczekiwaniami, większa liczba pojazdów na mapie wpływa na rozmiar kubełków z bardzo niskimi średnimi prędkościami.



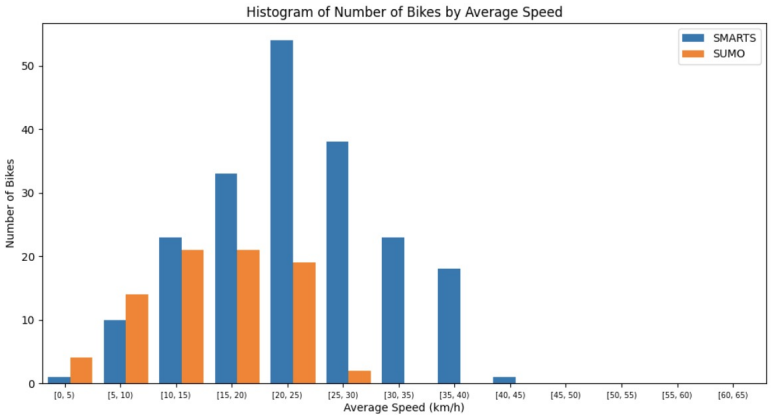
Rysunek 13: Histogram średniej prędkości rowerów dla liczby pojazdów na mapie równej 50



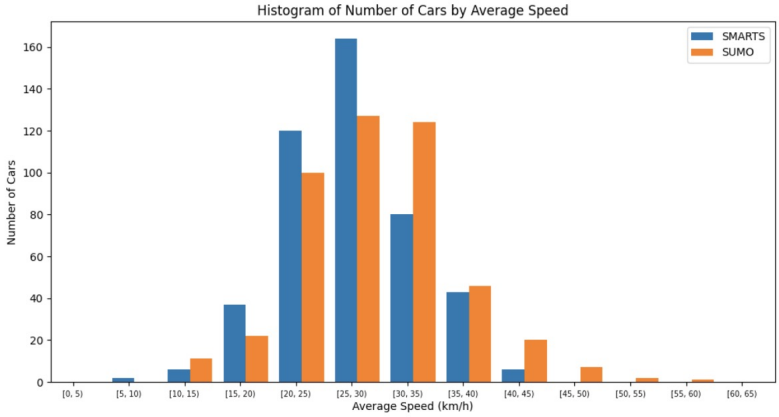
Rysunek 14: Histogram średniej prędkości rowerów dla liczby pojazdów na mapie równej 100



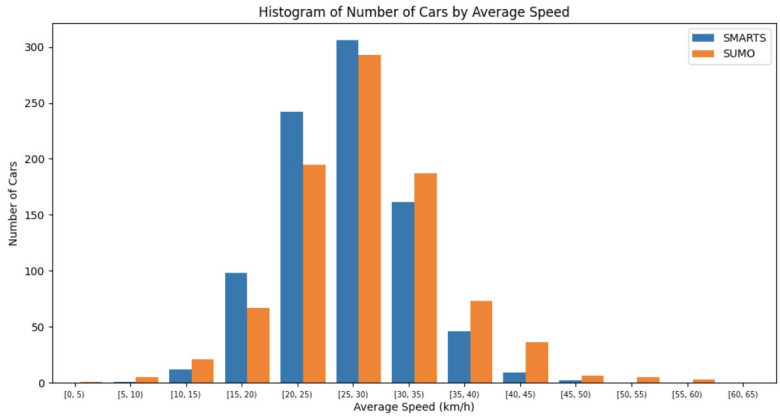
Rysunek 15: Histogram średniej prędkości rowerów dla liczby pojazdów na mapie równej 200



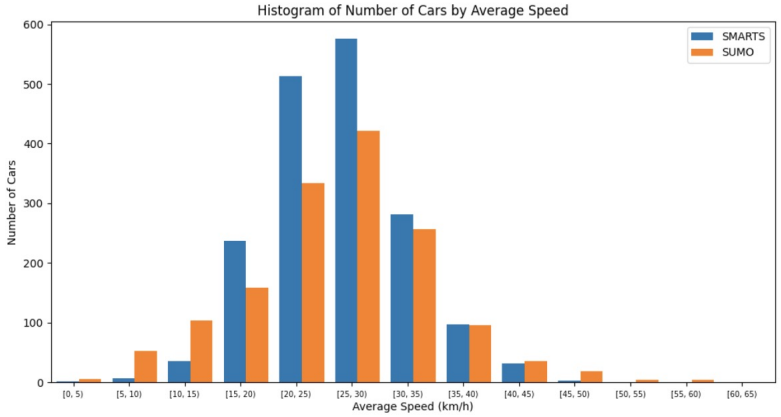
Rysunek 16: Histogram średniej prędkości rowerów dla liczby pojazdów na mapie równej 500



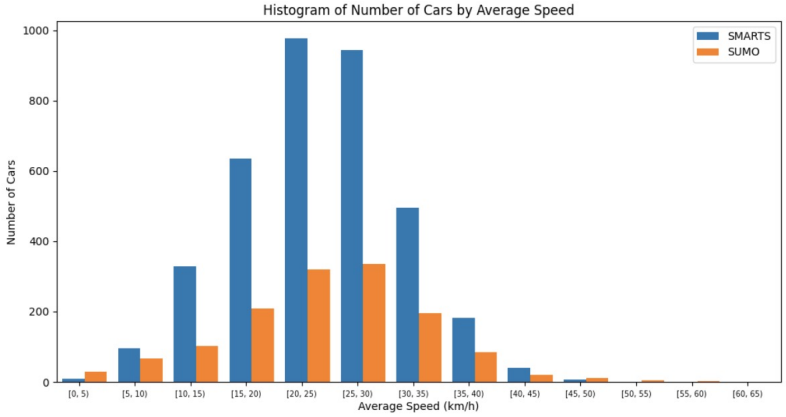
Rysunek 17: Histogram średniej prędkości samochodów dla liczby pojazdów na mapie równej 50



Rysunek 18: Histogram średniej prędkości samochodów dla liczby pojazdów na mapie równej 100



Rysunek 19: Histogram średniej prędkości samochodów dla liczby pojazdów na mapie równej 200



Rysunek 20: Histogram średniej prędkości samochodów dla liczby pojazdów na mapie równej 500

6 Podsumowanie

- Oba symulatory, SUMO i SMARTS, zapewniają realistyczne modele ruchu drogowego i umożliwiają analizę zachowań pojazdów oraz planowanie infrastruktury drogowej.
- Zarówno w SUMO, jak i w SMARTS, można przeprowadzać badania dotyczące ruchu ulicznego.
- SUMO oferuje większą liczbę parametrów i ustawień, co daje użytkownikowi większą kontrolę nad symulacją. Możliwość dostosowania różnych aspektów, takich jak sygnalizacja świetlna, trasy pojazdów, reguły ruchu, co sprawia, że SUMO jest elastycznym narzędziem do modelowania złożonych scenariuszy drogowych. SMARTS, z drugiej strony, jest bardziej okrojony pod względem parametrów i ustawień.
- W SUMO, ze względu na większą elastyczność i różnorodność dostępnych parametrów, istnieje większa możliwość symulowania różnych scenariuszy, w których mogą występować korki.
- W SMARTS można zauważyć mniejszą tendencję do tworzenia się korków w porównaniu do SUMO.
- W SUMO można zaobserwować zmniejszanie się prędkości wraz ze wzrostem liczby pojazdów na mapie. To oznacza, że większe natężenie ruchu prowadzi do spowolnienia pojazdów w symulacji. W SMARTS spadek ten wystąpił dopiero, gdy liczba pojazdów na mapie wyniosła 500.

7 Bibliografia

- Simulation Approaches in Transportation Analysis 2005 - Jaume Barcelo, Jordi Casas
- CAR-FOLLOWING MODELS. COMPARISON BETWEEN MODELS USED BY VISSIM AND AIMSUN - Ionuț-Sorin MITROI, Ana-Maria CIOBÎCĂ, Mihaela POPA
- Car Following Models - Lecture Notes in Transportation Systems Engineering - Prof. Tom V. Mathew
- A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators - Mustapha Saidallah, Abdeslam El Fergougui and Abdelbaki Elbelrhiti Elalaoui 2016
- SMARTS: Scalable Microscopic Adaptive Road Traffic Simulator - Kotagiri Ramamohanarao, Hairuo Xie, Lars Kulik, Shanika Karunasekera, Egemen Tanin, Rui Zhang, Eman Bin Khunayn
- Traffic simulation with the GAMA platform - Patrick Taillandier