

# Systemy wieloagentowe

Kajetan Zimniak i Bartosz Górka

Październik 2019

## 1 Część pierwsza

### 1.1 Opis modelowanego zjawiska / systemu

W ramach projektu zamodelowany zostanie ruch drogowy w mieście. Głównym celem symulacji jest zbadanie wielkości utrudnień drogowych (korki) i szybkości przejazdu w zależności od rozwiązań infrastruktury drogowej.

### 1.2 Opis koncepcyjny modelu

Powszechnie wiadomo, że główną przyczyną powstania korków to zbyt duże nagromadzenie pojazdów na danym odcinku trasy, wykraczające ponad możliwości przepustowe odcinka. W przypadku zmiany pasa jazdy, wymuszenia zmniejszenia prędkości przez podróżującego tym pasem, możemy zaobserwować zjawisko “fali uderzeniowej”.

Ponadto istnieje szeroko promowane zjawisko rozwijania komunikacji miejskiej celem ograniczenia liczby pojazdów. Ma to wpływ zarówno na liczbę pojazdów w mieście, jak i na powietrze (mniej pojazdów to potencjalnie mniej zanieczyszczeń). Aby było możliwe sprawne funkcjonowanie komunikacji miejskiej, powstają specjalne ułatwienia drogowe jak tzw. bus-pasy, które jednocześnie mogą utrudniać ruch innym pojazdom.

Powszechnie uważa się za negatywny, wpływ sygnalizacji drogowej (sygnalizacji świetlnej) na płynność przemieszczania się. Konieczność wyhamowania i ponownego ruszenia zakłóca płynność jazdy. Dodatkowo wielokrotnie wymuszane jest zatrzymanie pojazdu z powodu czerwonego światła, mimo braku innych pojazdów na skrzyżowaniu.

W naszej symulacji powstanie układ ulic modelowany przez “patche”, po których dopuszczamy przemieszczanie się samochodów osobowych oraz autobusów. Ilość skrzyżowań, ich typ (skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną bądź rondo) oraz liczba pasów drogowych będzie określana jako parametr uruchomienia symulacji.

### 1.3 Założenia upraszczające

Modelowanie dokładnych procesów zachodzących w mieście nie jest możliwe. W naszej symulacji nie zakładamy obecności pieszych poruszających się poza miejscami do tego przeznaczonymi. Piesi mimo obecności w symulacji nie będą przekraczać “fizycznie” przejść dla pieszych, lecz wymuszać na kierowcach zatrzymanie się przed takimi miejscami. Zakładamy możliwość wielokrotnego zablokowania wybranego przejścia dla pieszych (pieszy ma pierwszeństwo nad pojazdami, brak sygnalizacji świetlnej przy przejściach).

Dodatkowo przyjmujemy założenie o niezatrzymywaniu się samochodów z przyczyn niezależnych od innych użytkowników ruchu (np. nie dopuszczamy sytuacji, w której pojazd zwolni, ponieważ pasażer chce przeczytać reklamę uliczną).

Jako uproszczenie wprowadzamy również pominięcie kwestii przyspieszenia i hamowania pojazdów. Prędkość, mimo pierwotnych planów nie będzie częścią analizy w ramach symulacji (symulacja już zakłada znaczne skomplikowanie, wprowadzenie dodatkowych niewiadomych może wpłynąć negatywnie na eksperyment).

### 1.4 Lista typów użytych agentów, wraz z ich opisem

- Chodnik, przejście dla pieszych, jezdnia, rondo, skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną - typ *patch* - wyznaczają możliwy obszar przemieszczania się pojazdów oraz pieszych. Wjazd na skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną jest możliwy wyłącznie, kiedy zasada ruchu jest zgodna z naszą (zielone światło dla naszego agenta).
- Samochody osobowe - typ *turtle* - mogą poruszać się tylko po zwykłych jezdniach. Dopuszczalny jest wjazd na skrzyżowanie typu rondo oraz z sygnalizacją świetlną. Może znaleźć się na przejściu dla pieszych, o ile nie zostało wcześniej zablokowane przez pieszych.
- Autobus - typ *turtle* - zachowanie podobne jak w przypadku samochodów osobowych. Różnica to możliwość poruszania się zarówno po bus-pasach, jak i zwykłych jezdniach.
- Piesi - typ *turtle* - po pojawieniu się w okolicy samochodu powoduje jego obowiązkowe zatrzymanie, a tym samym zablokowanie ruchu. Mają pierwszeństwo przed pozostałymi pojazdami. Nie są pokazywani na mapie.

### 1.5 Parametry modelu, wraz z ich opisem

W ramach symulacji użytkownik może sprecyzować następujące parametry:

- Liczba ulic poziomo oraz niezależnie od tego Liczba ulic pionowo - pozwala to na sprecyzowanie układu miasta. Symulacja dynamicznie tworzy siatkę miasta, próbując jednocześnie równomiernie je rozmieścić (oddalić od siebie na taką samą odległość)

- Rozmiar świata jako cztery parametry ( $\text{minX}$ ,  $\text{maxX}$ ,  $\text{minY}$ ,  $\text{maxY}$ ) - może być wykorzystywane dla zwiększenia obszaru miasta i umożliwienia wstawienia większej liczby dróg
- Liczba skrzyżowań z sygnalizacją świetlną oraz typu rondo - charakteryzują liczbę skrzyżowań danego typu. Suma obu parametrów powinna być zgodna z liczbą przecięć dróg (liczba ulic poziomo pomnożona przez liczbę ulic pionowo)
- Czas trwania zielonego światła na skrzyżowaniu - dotyczy skrzyżowań z sygnalizacją świetlną, czas trwania w pojedynczym kroku (tick symulacji)
- Liczba pasażerów do przewiezienia w każdym kroku symulacji - wpływa na liczbę generowanych samochodów osobowych, które mogą pomieścić od 1 do 5 osób. Dla każdego pasażera losowana jest preferencja przejazdu samochodem bądź autobusem komunikacji miejskiej.
- Parametr co ile kroków symulacji możliwe jest wysłanie autobusu - autobus startuje jedynie, kiedy upłynęła wskazana liczba ticków od poprzedniego przejazdu
- Czas przejścia pieszego przez skrzyżowanie - długość w tickach, na jak długi czas będzie blokowane przejście (samochody nie mogą na nie wjechać)
- Wskazanie czy używać przejść dla pieszych umieszczonych na jedni bądź izolować je (kładki nad jezdnią)
- Liczba pasów ruchu w każdą stronę, po których mogą przemieszczać się pojazdy
- Liczba pasów ruchu wydzielona na specjalne zastosowanie przez autobusy (tzw. bus-pasy)

## 1.6 Obserwacje w modelu

Poza parametrami specyfikowanymi przez użytkownika, system podczas symulacji analizuje następujące charakterystyki:

- Liczba samochodów osobowych aktualnie znajdujących się w symulacji
- Liczba autobusów aktualnie znajdujących się w symulacji
- Ilość zablokowanych przejść dla pieszych (pieszy znajduje się na przejściu)
- Procent zablokowanych przejść dla pieszych (pieszy znajduje się na przejściu) w stosunku do liczby wszystkich przejść umieszczonych na mapie
- Liczba pasażerów w pojazdach osobowych (poruszających się po mapie)
- Liczba pasażerów w autobusach poruszających się po mapie

- Liczba pasażerów “dostarczona” przez autobusy (ilu przejechało pomyślnie przez miasto wykorzystując autobusy)
- Liczba pasażerów, którzy przejechali pomyślnie przez miasto wykorzystując samochody osobowe
- Liczba samochodów osobowych, które nie mogą wykonać ruchu (również wjechać na skrzyżowanie)
- Liczba autobusów, które nie mogą wykonać ruchu (również wjechać na skrzyżowanie)
- Łączna liczba samochodów osobowych, które przejechały przez miasto od początku symulacji
- Łączna liczba autobusów, które przejechały przez miasto od początku symulacji

## 1.7 Hipotezy badawcze

- W ramach projektu badany będzie wpływ na wielkość ruchu drogowego (korków) zamiany skrzyżowań na ronda. Przed symulacją uważa się, że ronda są korzystniejsze dla kierowców i przyspieszają ruch (zmniejszenia korków)
- Kolejną hipotezą jest zmniejszenie się korków poprzez budowanie naziemnych przejść dla pieszych, co izoluje ruch samochodowy od pieszego.
- Trzecim elementem jest badanie sensowności wyznaczania tzw. bus-pasów w kontekście korków dla ogółu użytkowników dróg w mieście.

# 2 Część druga

## 2.1 Opis implementacji modelu

Projekt został przygotowany z wykorzystaniem wielu dodatkowych obiektów, takich jak typy dróg itp. Zdecydowano się na wykorzystanie wyliczeń (enum) w celach porównań (na przykład kierunek przemieszczania się).

Model pozwala wykorzystać dynamiczne parametry co jest wymagane przez obliczenia typu batch. Dodatkowo cała mapa jest generowana dynamicznie w zależności od rozmiaru oraz liczby dróg (szczegóły umieszczono w rozdziale 1.5). Program zarządza też zmianą świateł (przełączanie reguły ruchu) po upływie wskazanej liczby kroków symulacji.

Pojazdy wjeżdżają do miasta, gdy mogą zostać umieszczone na drodze (nie ma innego agenta na danym patchu) oraz jest wystarczająca liczba pasażerów.

Najciekawszym fragmentem jest dynamiczne wyznaczanie umiejscowienia dróg o szerokości i typie zgodnym z parametrami modelu. W sposób dynamiczny również umieszczane są przejścia dla pieszych (jeżeli zdecydowano się na ich

Tabela 1: Tabela z parametrami świata dla Hipotezy 1

Liczba skrzyżowań z syg. świetlną	Czas trwania światła zielonego	Liczba rond	Liczba pasażerów co tick	Liczba bus-pasów	Liczba dróg poziomo	Liczba dróg pionowo
4 bądź 0	10	0 bądź 4	20	0	2	2
minY	minX	maxY	maxX	Liczba pasów jezdni	Czas blokady przejścia	Okres autobusów
-24	-24	24	24	2	3	5

użycie). Również w ruchu pojazdów zastosowano rozszerzenie. Poza prostą jazdą jednym pasem pojazdy starają się wyprzedzać, co minimalizuje korki (szczególnie widoczne dla autobusów, które omijają korki wykorzystując bus-pasy).

W analizie pominięto omówienie kodu. Starano się stworzyć go w możliwie jak najbardziej przejrzysty sposób, umieszczając dodatkowe komentarze, jeżeli było to konieczne.

## 2.2 Wyniki eksperymentów

### 2.2.1 Hipoteza 1: Zamiana skrzyżowań z sygnalizacją świetlną na światła ma pozytywny wpływ na redukcję zatorów w mieście

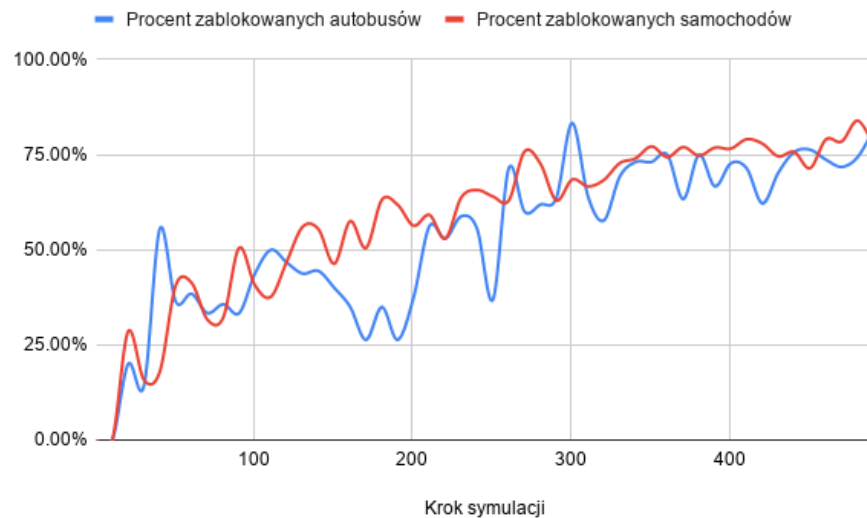
Pierwsza z hipotez dotyczyła wpływu zamiany typu skrzyżowań z użycia sygnalizacji świetlnej na rondo. Spodziewaliśmy się, że taka zamiana da pozytywny wpływ, czyli pozwoli zredukować liczbę zatrzymanych pojazdów.

Analiza oparta była o świat z parametrami wskazanymi w Tabeli 1. Obliczenia zostały powtórzone 10-cio krotnie, a wyniki zaprezentowane w postaci wykresów. Wykorzystaliśmy dwie kombinacje. W jednej zastosowano 4 skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, czas trwania światła zielonego 10 ticków. Natomiast w drugiej były to skrzyżowania typu rondo. W obu przypadkach pozwoliliśmy na ruch pieszych (przejścia dla pieszych aktywne).

Dla miasta, w którym wykorzystano sygnalizację świetlną, obserwujemy dość szybki wzrost procentowego udziału zatrzymanych pojazdów w całej grupie (Rysunek 1). Od około 250 iteracji prawie 75 procent pojazdów nie może wykonać ruchu. Część wynika oczywiście z braku pozwolenia wjazdu na skrzyżowanie (czerwone światło), jednakże jest to tylko część całej grupy. Ta niekorzystna sytuacja dotyczy zarówno samochodów osobowych, jak i autobusów (choć te drugie lepiej sobie radzą mimo braku bus-pasów).

Bardzo ciekawa charakterystyka występuje dla skrzyżowań wykorzystujących ronda (Rysunek 2). Obserwujemy dość ostre fluktuacje dla autobusów, co może wynikać z ich małego udziału w całym ruchu drogowym.

Porównanie wprost dwóch typów skrzyżowań, jakie zaprezentowano na Rysunku 3 nie pozostawia wątpliwości. Skrzyżowania wykorzystujące ronda redukują znacząco utrudnienia w przemieszczaniu się pojazdów. Różnica wynosi aż 50 punktów procentowych, czego nie spodziewaliśmy się zaobserwować (spodziewano się różnicy o około 25 punktów procentowych). Nasz model ruchu potwierdził postawioną hipotezę dotyczącą pozytywnego wpływu zmiany typu skrzyżowań z wykorzystania sygnalizacji świetlnej na rondo.



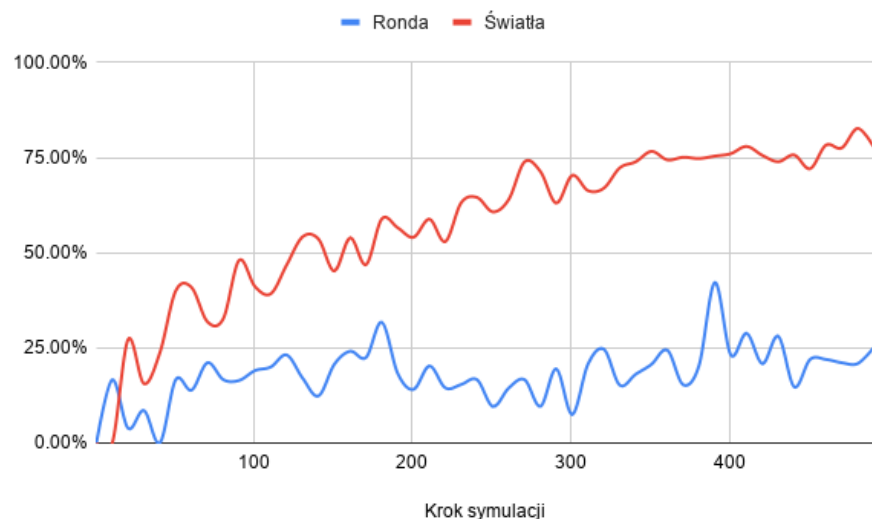
Rysunek 1: Zablokowanie pojazdów przy wykorzystaniu sygnalizacji świetlnej



Rysunek 2: Zablokowanie pojazdów w przypadku rond

### 2.2.2 Hipoteza 2: Izolacja ruchu pieszych od ruchu pojazdów zmniejsza utrudnienia w ruchu drogowym

Nasza druga hipoteza dotyczyła negatywnego wpływu ruchu pieszych na ruch pojazdów w mieście, a dokładniej wpływ na zwiększanie się korków. Pieszy



Rysunek 3: Porównanie zablockowania pojazdów dla obu typów skrzyżowań

Tabela 2: Tabela z parametrami światła dla Hipotezy 2

Liczba skrzyżowań z syg. świetlną	Czas trwania światła zielonego	Liczba rond	Liczba pasażerów co tick	Liczba bus-pasów	Liczba dróg poziomo	Liczba dróg pionowo
4	10	0	20	0	2	2
minY	minX	maxY	maxX	Liczba pasów jezdni	Czas blokady przejścia	Okres autobusów
-24	-24	24	24	2	3	5

przechodząc przez jezdnię, blokuje ruch pojazdów.

Analiza oparta była o świat z parametrami wskazanymi w Tabeli 2. Obliczenia zostały powtórzone 10-cio krotnie, a wyniki zaprezentowane w postaci wykresów.

Na wykresie 4 zaprezentowano procent zablockowanych przejść w trakcie symulacji. Zawsze minimum jedno przejście jest zablockowane, a maksymalnie połowa z nich. Samochody mogą przemieszczać się przez miasto, lecz są spowalniane i co jakiś czas zatrzymywane przez pieszych.

Kolejnym krokiem była analiza, jak różni się charakterystyka procentu zatrzymanych pojazdów (osobno dla każdego typu) dla mapy z oraz bez przejść. Zostało to zaprezentowane odpowiednio na Rysunku 5 oraz Rysunku 6. Znaczące różnice występują w przedziale od 50 do 200 iteracji. Mimo trudności w porównaniu tych wykresów możemy zaobserwować trend, że przez większość czasu autobusy były mniej blokowane.

Ostatnim krokiem w analizie tej hipotezy było porównanie ilości pojazdów (Rysunek 7) na mapie oraz ich procentowy udział w tworzeniu zatorów (Rysunek 8). Możemy zaobserwować bardzo zbliżone do siebie licznosci pojazdów w obu miastach, co jest szczególnie widoczne na początku symulacji.



Rysunek 4: Procent zablokowanych przejść dla pieszych



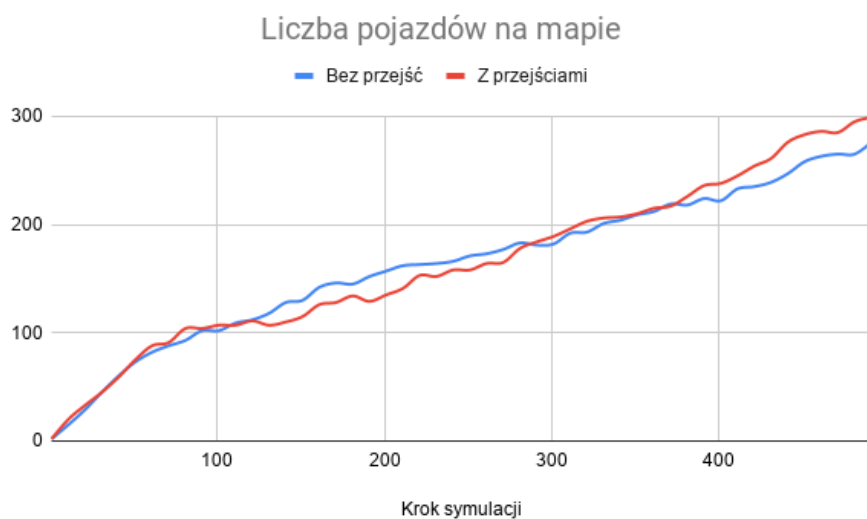
Rysunek 5: Procent zablokowanych pojazdów dla mapy z przejściami

Dokonując analizy, mogliśmy zaobserwować nieznaczną różnicę w procencie zablokowanych pojazdów, na korzyść miast bez przejść. Trudno jednakże wskazać, aby były to znaczące różnice. Stawiając hipotezę, spodziewaliśmy się różnicy rzędu od 10 do 20 punktów procentowych, co jednak nie występuje. Po



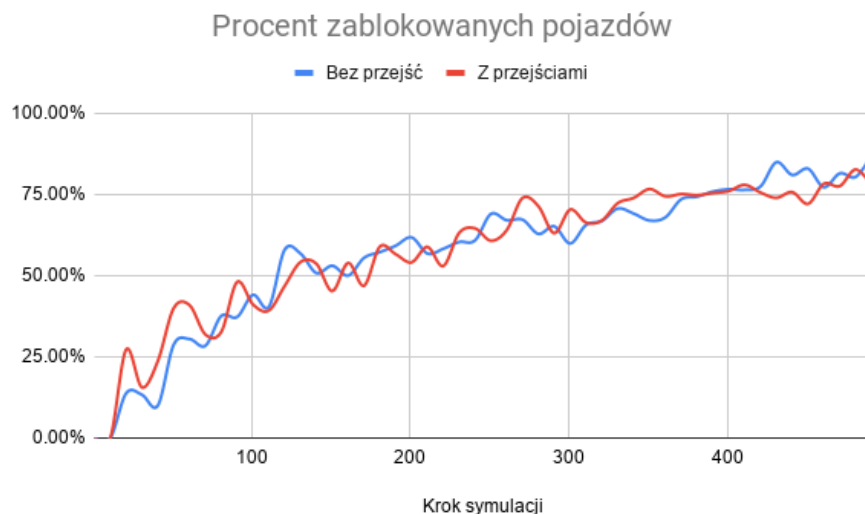


Rysunek 6: Procent zablokowanych pojazdów dla mapy bez przejść



Rysunek 7: Porównanie liczności pojazdów dla obu typów miasta

przeprowadzeniu eksperymentów możemy stwierdzić, że nie udało się nam wykazać, aby izolowanie ruchu pieszych od ruchu drogowego miało znaczący wpływ na redukcję korków. Może być to spowodowane zbytнім uproszczeniem modelu ruchu polegającym na możliwości znalezienia się pojazdu na przejściu dla



Rysunek 8: Porównanie procentowego zablokowania pojazdów dla obu typów miasta

Tabela 3: Tabela z parametrami świata dla Hipotezy 3

Liczba skrzyżowań z syg. świetlną	Czas trwania światła zielonego	Liczba rond	Liczba pasażerów co tick	Liczba bus-pasów	Liczba dróg poziomo	Liczba dróg pionowo
0	10	4	20	0 bądź 1	2	2
minY	minX	maxY	maxX	Liczba pasów jezdni	Czas blokady przejścia	Okres autobusów
-24	-24	24	24	3	3	2

pieszych przed jego zablokowaniem (i braku konieczności opuszczenia go - piesi muszą manewrować między samochodami). Dodatkowo przyjęliśmy założenie o zliczaniu każdego zatrzymania pojazdu, również z powodu sygnalizacji świetlnej, a nie tylko i wyłącznie zatrzymań wynikających z pojawienia się pieszych bezpośrednio przed naszym pojazdem bądź pojazdami przed nami co wymusiło nasze zatrzymanie.

### 2.2.3 Hipoteza 3: Sensowność wyznaczania bus-pasów w kontekście korków dla ogółu pojazdów w mieście

Ostatnia z hipotez dotyczyła wpływu wyznaczania bus-pasów na ogół użytkowników ruchu. Skupiono się na wpływie na powstawanie korków oraz na łącznej liczbie pasażerów, jaka przejechała przez miasto.

Analiza oparta była o świat z parametrami wskazanymi w Tabeli 3. Obliczenia zostały powtórzone 10-cio krotnie, a wyniki zaprezentowane w postaci wykresów. Zdecydowano się wykorzystać trzy pasy ruchu w każdą stronę. Zero bądź jeden z tych pasów zostaje przeznaczony na wykorzystanie przez autobusy

(na wyłączność).



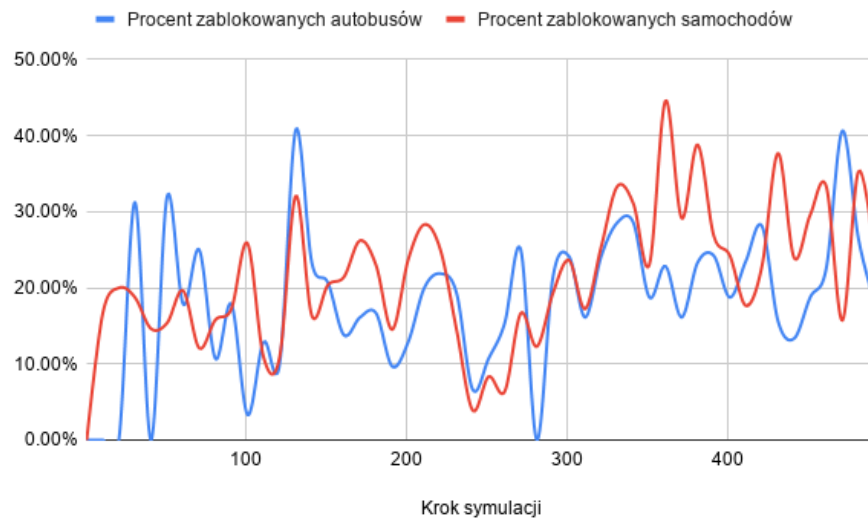
Rysunek 9: Procent zablokowanych pojazdów dla dróg bez bus-pasów

Wykres 9 wskazuje na procentowy udział zablokowanych pojazdów w ruchu w zależności od typu. Jak widzimy, zarówno autobusy jak i samochody osobowe osiągają podobne parametry w przypadku braku specjalnie przeznaczonych na poruszanie się przez autobusy bus-pasów.

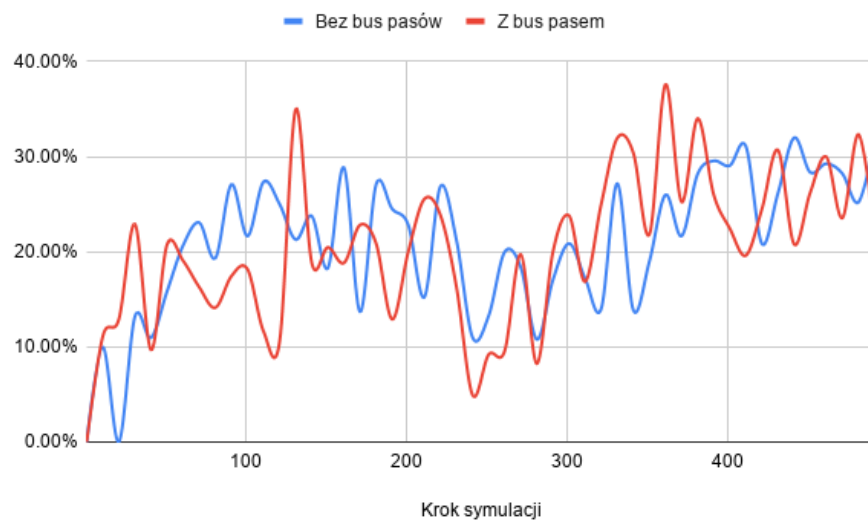
Na wykresie 11 natomiast możemy obserwować, jaki wpływ ma wyznaczenie bus-pasów (w naszym przypadku poświęcenie jednego z trzech pasów na ten cel) na ruch. Autobusy osiągają mniejsze wartości zablokowania. Niestety jest to osiągnięte kosztem samochodów osobowych, które zmuszone są dłużej oczekiwać na możliwość przejazdu. Zachowanie w symulacji zgadza się z tym obserwowanym w rzeczywistości.

W celu łatwiejszej analizy, zastosowano porównanie obu podejść (wyznaczanie i niewyznaczanie bus-pasów) na jednym wykresie. Jako charakterystykę zatrzymania wzięto pod uwagę statystykę zarówno autobusów, jak i samochodów osobowych. Możemy zaobserwować różnice na korzyść wyznaczania bus-pasów w początkowej fazie symulacji i odwrócenie tendencji pod koniec.

W rzeczywistości problem jest trudniejszy do analizy. Postanowiliśmy wykorzystać charakterystykę pasażerów, którzy przejeżdżają przez miasto. W przypadku bus-pasów różnica dla autobusów była mniejsza niż 10 procent (więcej przewieziono, gdy były bus-pasy), natomiast dla samochodów aż 50 procent (więcej, gdy nie było bus-pasów). Jednakże porównując możliwości pomieszczenia pasażerów, autobusy mają przewagę pojemności. Trudno jednoznacznie podjąć decyzję odnośnie postawionej hipotezy.



Rysunek 10: Procent zablokowanych pojazdów dla dróg z wyznaczonymi bus-pasami



Rysunek 11: Procent zablokowanych pojazdów - porównanie w zależności od wyznaczania bus-pasów

## 2.3 Weryfikacja trafności modelu

Dla hipotezy 1: Zamiana skrzyżowań z sygnalizacją świetlną na światła ma pozytywny wpływ na redukcję zatorów w mieście, zaobserwowaliśmy wyniki zgodne

z oczekiwaniami postawionymi przed wykonaniem eksperymentu oraz zgodne z rzeczywistością. Ronda są bardziej sprawiedliwe dla użytkowników ruchu drogowego, o ile potrafimy z nich korzystać. W symulacji udało się odwzorować rzeczywiste zachowanie i charakter skrzyżowań.

W przypadku Hipotezy 2: Izolacja ruchu pieszych od ruchu pojazdów zmniejsza utrudnienia w ruchu drogowym, nasza symulacja niestety okazuje się mijać z rzeczywistością. Budowa kładek dla pieszych nad jezdnią bądź przejść podziemnych, pozwala wyeliminować konieczność zwalniania i zatrzymywania się pojazdów, co nie było uwzględnione w implementacji. Izolacja ruchu pieszych ma również wpływ na poprawę bezpieczeństwa na drodze, a także pozwala przejść na drugą stronę przy dużym ruchu (przejście w bardzo ruchliwym miejscu, nawet w miejscu do tego wyznaczonym, lecz bez sygnalizacji świetlnej nie należy do najszybszych - jako piesi musimy liczyć na przychyłność kierowców, którzy zatrzymują się, umożliwiając nam przejście).

Hipoteza 3 zakładała analizę bus-pasów. Podobnie jak w rzeczywistości, jest to bardzo skomplikowany temat, na który ma wpływ wiele czynników. W zależności od natężenia ruchu i typu pojazdów może okazać się niewskazane wyznaczanie bus-pasów. Jednakże trzeba precyzyjnie określić potencjalne wąskie gardła infrastruktury (np. zwężenia z kilku pasów do jednego). Bus-pasy mają ogromny potencjał, jeżeli zależy nam na przetransportowaniu znacznej grupy pasażerów.

## 2.4 Wnioski, obserwacje

Zgodnie z obawami, symulacja skomplikowanych relacji panujących w mieście i ruchu drogowym nie jest zadaniem trywialnym. W naszej symulacji udało się zbadać trzy wybrane hipotezy. Pierwsza z nich została bezspornie potwierdzona.

Przygotowany model ma potencjał do dalszej analizy oraz potencjalnie jeszcze rozbudowy. Wykorzystanie dynamicznych mechanizmów wyznaczania pasów, szerokości jezdni, wyprzedzania pojazdów i wielu innych wskazanych w analizie programu się opłacało.