

Symulacja Dyskretna Systemów Złożonych

Michał Kilian, Mateusz Gujda, Mateusz Ficek

Semestr letni 2018/2019

Spis treści

1	Opis problemu	1
2	Wstęp teoretyczny	1
3	Wykorzystane dane	2
4	Użyty model i rytm działania	2
5	Rozwiązanie techniczne	3
5.1	Wybór technologii	3
5.2	Architektura projektu	3
5.3	Funkcjonalności klas	4
6	Obsługa aplikacji	6
7	Analiza scenariusza i wnioski	10
8	Możliwy rozwój projektu	14

1 Opis problemu

Zadanie polega na zaprojektowaniu i przeprowadzeniu symulacji ruchu samochodów na IV obwodnicy Krakowa. W symulacji należy zastosować model Nagela-Schreckenberga biorąc pod uwagę takie czynniki jak zróżnicowana liczba i prędkość pojazdów, możliwość zmiany pasa ruchu oraz definiowanie celu podróży.

2 Wstęp teoretyczny

Model Nagela-Schreckenberga jest teoretycznym modelem opisującym ruch samochodowy na autostradzie opartym na automatach komórkowych. Składa

się on z przestrzeni podzielonej na siatkę cel, zbioru sąsiadów danej celi, zbioru skończonych stanów i funkcji zamieniającej konfigurację układu w czasie. W modelu Nagela-Schreckenberga rozmiar komórki wynosi 7.5 metra. Prędkość pojazdu opisywana jest liczbą komórek pokonywanych przez pojazd w ciągu jednego, ustalonego przedziału czasu. Reguły ruchu opisujące model są następujące:

1. Przyspieszenie: $v(t + 1) = \min(v(t) + 1, v_{max})$ gdzie $v(t)$ to prędkość w chwili obecnej.
2. Hamowanie: $v(t + 1) = \min(v(t), g(t) - 1)$ gdzie $g(t)$ to liczba pustych komórek przed pojazdem.
3. Losowe hamowanie: $v(t + 1) = v(t) - 1, v(t) > 1$
4. Ruch: $x(t + 1) = x(t) + v(t)$

Model opisuje ruch na autostradzie co w przypadku IV obwodnicy będzie szczególnie pomocne gdyż ta w większości składa się z autostrady A4 a w pozostałej części z dróg ekspresowych, na których zachowanie samochodów nie różni się w znaczący sposób od zachowania na autostradzie.

W modelu teoretycznym nie są brane pod uwagę możliwości zmiany pasa ruchu oraz obecność węzłów zjazdowo-wjazdowych. Wszystkie samochody są również tych samych rozmiarów. Z tych powodów w naszej pracy chcemy nieco zmienić ten model. Inne pojazdy jak np. samochody ciężarowe więcej niż 1 komórkę. Dostosowane zostaną również zasady ruchu tak, aby umożliwić zjazdy z drogi oraz wykorzystywanie wielu pasów ruchu.

3 Wykorzystane dane

Chcąc jak najbardziej uwiarygodnić tworzoną symulację postaraliśmy się o zdobycie prawdziwych danych z IV obwodnicy Krakowa. Po kontakcie z Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad otrzymaliśmy arkusz kalkulacyjny zawierający dokładne długości poszczególnych odcinków obwodnicy oraz liczbę pojazdów pokonujących odcinki w ciągu doby z podziałem na samochody osobowe i ciężarowe. Dane te zostały wykorzystane do symulacji początkowego stanu obwodnicy po uruchomieniu symulacji oraz do określenia początkowych parametrów wjazdów na autostradę. Otrzymaliśmy również schematyczną mapę IV obwodnicy pomocną przy planowaniu pracy. Zobaczyć ją można w jednym z widoków aplikacji.

4 Użyty model i rytm działania

Tak jak zostało to wspomniane we wstępie teoretycznym użyliśmy zmodyfikowanego modelu Nagela-Schreckenberga. Samochody nadal poruszają się według 4 podstawowych reguł ale dodatkowo są w stanie wyprzedzić znajdujący

się przed nimi pojazd oraz mają określony punkt docelowy podróży powodujący opuszczenie przez nie obwodnicy po osiągnięciu celu.

W pierwszej kolejności generowana jest losowa ilość samochodów na losowo wybranym pasie oraz miejscu. Przypisywane im są odpowiednie prędkości, które użytkownik mógł określić przed rozpoczęciem symulacji oraz liczba zjazdów jaką mają pokonać przed zjechaniem z obwodnicy. Następnie każdy pojazd generuje siatkę sąsiedztwa, tak aby możliwy był ruch na obwodnicy. Po utworzeniu początkowego stanu, symulacja rozpoczyna się i obliczana jest kolejna iteracja ruchu.

W początkowej fazie liczona jest pozycja samochodów oraz podejmowana jest decyzja o zmianie pasa lub o próbie wyprzedzenia samochodu. Na podstawie aktualnej prędkości oraz odległości do samochodu na pasie, który będzie służył do wyprzedzenia, aktualny samochód podejmuje decyzję, czy jest w stanie wyprzedzić pojazd poprzedzający go. Jeśli nie jest w jego zasięgu to sprawdza czy może przyspieszyć. W tym momencie sprawdzane jest również czy pojazd znajduje się na wysokości zjazdu i czy powinien już zjechać z obwodnicy. Jeśli liczba zjazdów do pokonania osiągnie 0 to samochód będzie próbował opuścić drogę.

Następnie samochody są przesuwane na pasach na miejsca wyliczone w poprzednim kroku. Jeśli pojazd znajduje się na pasie zjazdowym, a wyliczył, że w następnej iteracji znajdzie się na polu, które jest wyłączone z użytku to samochód opuszcza obwodnicę. Po przesunięciu pojazdów, wywoływana jest funkcja, która odpowiada za generowanie nowych samochodów na wjazdach. Częstotliwość pojawiania się aut określona jest w ustawieniach, które może zmieniać użytkownik w czasie wykonywania symulacji.

Po wygenerowaniu oraz przemieszczeniu samochodów ustawiane jest ich sąsiedztwo, które jest zależne od prędkości maksymalnej danego pojazdu.

5 Rozwiązanie techniczne

5.1 Wybór technologii

Do implementacji symulacji w całości został wykorzystany język Java. Wybór ten motywowany był obiektowością tego języka umożliwiającą traktowanie każdego samochodu jako instancji klasy oraz wcześniejszą stycznością z tym językiem co pozwoliło na uniknięcie konieczności nauki kolejnej technologii.

Do wizualizacji wykorzystaliśmy platformę JavaFX. W tym przypadku głównym argumentem były spore możliwości przy prostocie używania.

5.2 Architektura projektu

Aplikacja pisana była zgodnie ze wzorcem MVC. Pozwoliło to rozdzielić od siebie poszczególne warstwy projektu i ułatwiło wprowadzanie zmian gdyż zmiana np. widoku nie pociągała ze sobą konieczności modyfikowania czegokolwiek w logicznym modelu.

Ze względu na swoje rozmiary diagramy UML zostały zawarte w zdjęciach na osobnym serwerze:

- Pakiet Controller
- Pakiet Model
- Pakiet View

5.3 Funkcjonalności klas

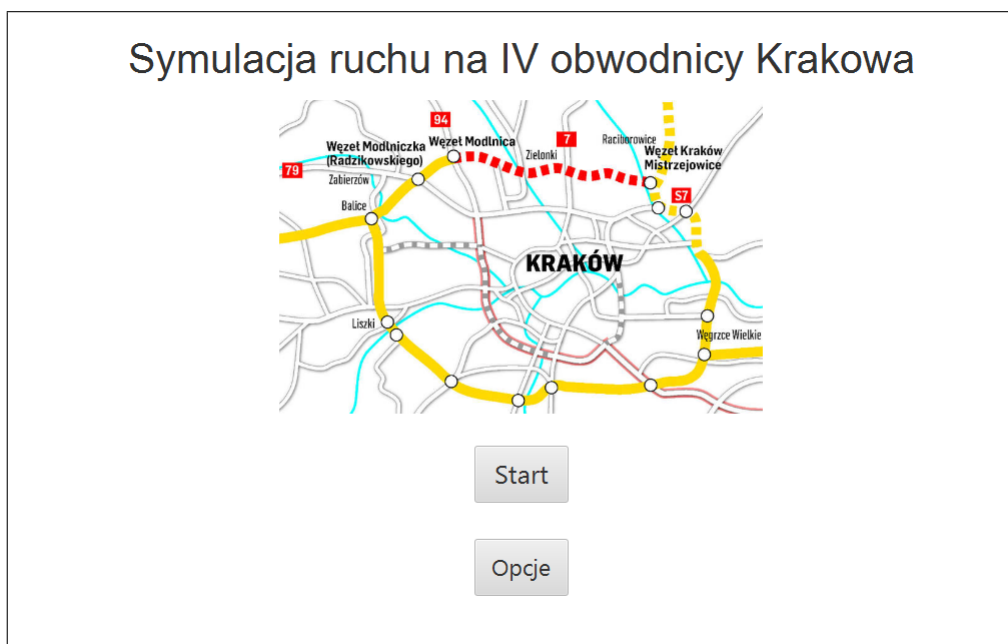
Krótki opis funkcjonalności w wykorzystanych klasach:

1. Grupa klas opisujących obwodnicę
 - (a) Highway - główny obiekt symulacji. Składa się z 2 jezdni, w momencie tworzenia odpowiada za poprawną inicjalizację swoich fragmentów. Przechowuje także dane o odcinkach takich jak ilość samochodów na poszczególnym odcinku oraz nazwy i długości odcinków.
 - (b) Road - reprezentuje jedną jezdnię obwodnicy. Składa się z 3 pasów. W związku z tym, że jezdnie są niezależne od siebie to tutaj generowany jest stan drogi w kolejnej iteracji.
 - (c) Lane - reprezentuje jeden pas jezdni. Składa się z 8353 obiektów typu Cell, które odpowiadają długości obwodnicy. Klasa odpowiedzialna jest za kalkulowanie ruchu samochodów poprzez obliczanie ich położenia w kolejnej iteracji.
 - (d) Cell - reprezentuje pojedynczą kratkę o długości 7.5 metra. Jest opisywana przez stan zajęta/wolna i, w przypadku stanu zajęta, przez zajmujący ją samochód.
2. Grupa klas opisujących pojazdy
 - (a) Vehicle - bazowa klasa reprezentująca każdy pojazd i zawierająca podstawową logikę taką jak przyspieszanie, hamowanie, decyzje o zmianie pasa. Wszystkie obiekty dziedziczące po tej klasie będą mogły poruszać się po drodze.
 - (b) Car - klasa dziedzicząca po Vehicle reprezentująca samochód
 - (c) LaneToChange - enumerator ułatwiający zidentyfikowanie kierunku skrętu w kodzie.
3. Settings - przechowuje parametry symulacji takie jak pora dnia, obciążenie wjazdów oraz maksymalne prędkości pojazdów.
4. Simulation - obsługuje symulację. Tworzy początkowy stan na obwodnicy.
5. Grupa klas kontrolerów

- (a) BaseController - klasa abstrakcyjna stworzona aby usunąć powtarzający się w innych kontrolerach kod odpowiadający za powrót do poprzedniej sceny.
- (b) MainMenuController - kontroler widoku głównego menu pokazującego się po uruchomieniu aplikacji. Inicjalizuje opcje symulacji i pozwala na uruchomienie symulacji oraz przejście do ustawień.
- (c) OptionsController - kontroler widoku ustawień. Aktualizuje parametry symulacji dotyczące pory dnia i prędkości maksymalnych na podstawie wyborów użytkownika.
- (d) SimulationController - kontroler głównego widoku symulacji.

6 Obsługa aplikacji

Po uruchomieniu aplikacji widzimy menu główne. Z tego ekranu możemy rozpocząć działanie symulacji lub przejść do konfigurowania jej parametrów.



Rysunek 1: Początkowy ekran aplikacji

W ustawieniach możemy określić porę dnia - będzie ona miała wpływ na początkowe zapelnienie obwodnicy. Z powodu typu otrzymanych danych od GDDKiA nie byliśmy w stanie dokładnie określić zależności natężenia ruchu od godziny dlatego współczynniki wpływające na początkowy stan drogi są szacunkowe. Kolejne dwa możliwe do wybrania parametry to maksymalna prędkość samochodów osobowych i tirów wyrażona w pokonywanych kratkach (o długości 7.5 metra) na iterację.

Opcje

Pora Dnia

Popołudnie

Maksymalna prędkość samochodów

5

Maksymalna prędkość tirów

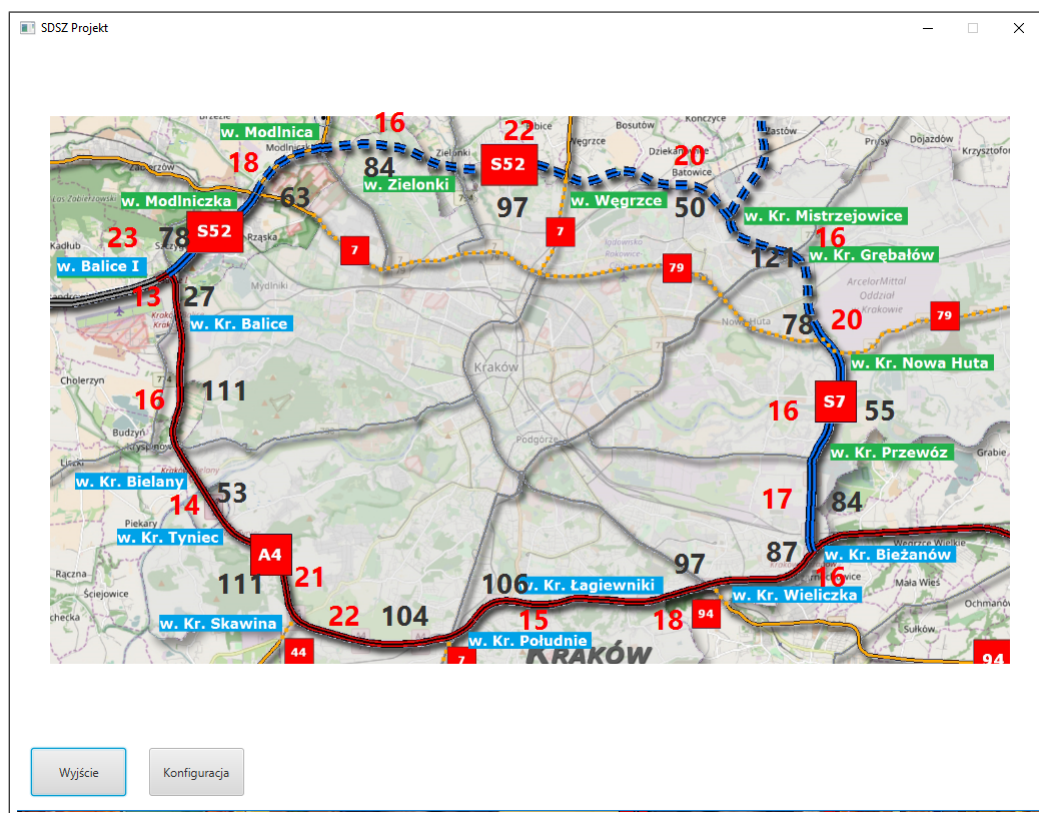
3

Powrót

Rysunek 2: Ekran ustawień symulacji

Po uruchomieniu symulacji z poziomu menu głównego widzimy schemat IV obwodnicy Krakowa. Obok każdego odcinka (odcinki wydzielone są na podstawie zjazdów) widzimy aktualnie znajdującą się tam liczbę samochodów (na czarno). Liczby czerwone to ilość samochodów które przejechały przez dany odcinek w ciągu ostatnich 60 sekund. Po uruchomieniu symulacji przez minutę czerwone liczby rosną ponieważ dane są zbierane. Po tym czasie poziom stabilizuje się i jest zależny w dużej mierze od natężenia ruchu na wjazdach. Odcinki będące aktualnie w budowie traktowane są jako ukończone. Z tego ekranu mo-

żemy przejść do widoku konkretnego odcinka (poprzez naciśnięcie na wybrany odcinek), do konfiguracji parametrów działającej symulacji lub wyjść do menu. Po wyjściu do menu stan symulacji nie zostanie zapisany i po ponownym jej włączeniu wygenerowany zostanie nowy stan.



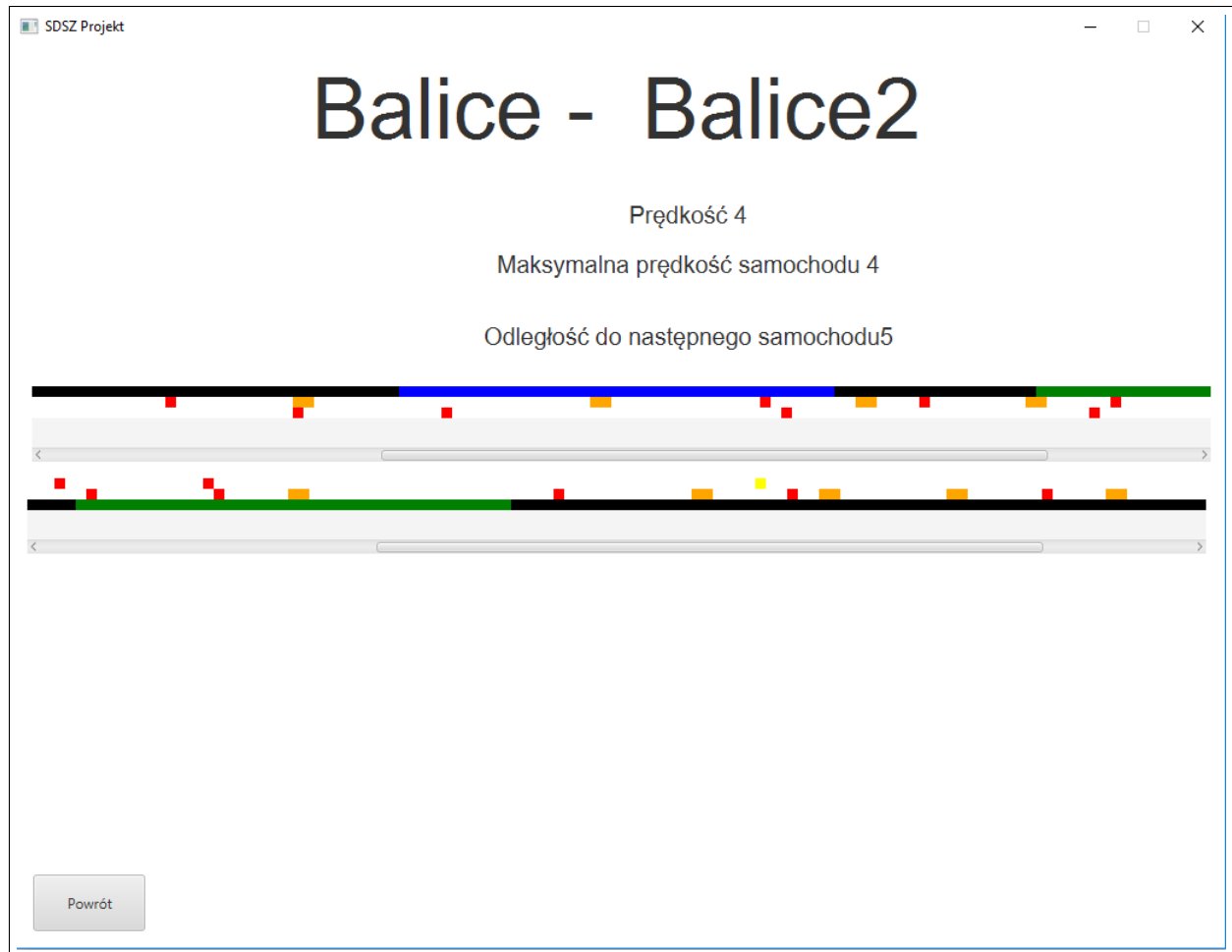
Rysunek 3: Widok symulacji całościowej obwodnicy

Po wybraniu odcinka możemy obserwować zachowanie poszczególnych pojazdów. Kolory wykorzystane w wizualizacji:

1. czerwony - samochód osobowy
2. pomarańczowy - samochód ciężarowy
3. żółty - wybrany przez nas pojazd
4. biały - wolna kratka na środkowym/lewym pasie
5. zielony - wolna kratka pasu wjazdowego
6. niebieski - wolna kratka pasu zjazdowego

7. czarny - kratka wyłączona z ruchu na zewnętrznym, prawym pasie

Obserwując pojazdy możemy nacisnąć na jeden z nich, zaznaczając go. Zmieni on wtedy kolor na żółty, co ułatwia śledzenie jego trasy, oraz wyświetlone zostaną jego statystyki.



Rysunek 4: Widok symulacji pojedynczego segmentu

Na ekranie konfiguracji możemy zmienić parametry dotyczące wjazdów na obwodnicę. Dla każdego wjazdu możemy określić ile średnio samochodów zostanie wygenerowanych w ciągu 60 iteracji. Te ustawienia są zachowywane i nie przerywają działania symulacji oraz nie wymagają jej resetowania.

SDSZ Projekt

Konfiguracja Symulacji

Natężenie samochodów na wjeździe

Balice	10
Balice2	10
Modlniczka	10
Modlnica	10
Zielonki	10
Węgrzce	10
Kr. Mistrzejowice	10
Kr. Grębałów	10
Kr. Nowa Huta	10
Kr. Przewóz	10
Kr. Bieżanów	10
Kr. Wieliczka	10
Kr. Łagiewniki	10
Kr. Południe	10
Kr. Skawina	10
Kr. Tyniec	10
Kr. Bielany	10

Powrót

Rysunek 5: Widok ekranu konfiguracji parametrów wjazdów

7 Analiza scenariusza i wnioski

- Analizowanym scenariuszem będzie duże natężenie ruchu na kilku sąsiednich segmentach obwodnicy przy utrzymaniu normalnego natężenia na pozostałych segmentach.

Natężenie samochodów na wjeździe

Balice	60
Balice2	60
Modlniczka	10
Modlnica	10
Zielonki	10
Węgrzce	10
Kr. Mistrzejowice	10
Kr. Grębałów	10
Kr. Nowa Huta	10
Kr. Przewóz	10
Kr. Bieżanów	10
Kr. Wieliczka	10
Kr. Łagiewniki	10
Kr. Południe	10
Kr. Skawina	10
Kr. Tyniec	10
Kr. Bielany	60

Powrót

Pora Dnia

Popołudnie

Maksymalna prędkość samochodów

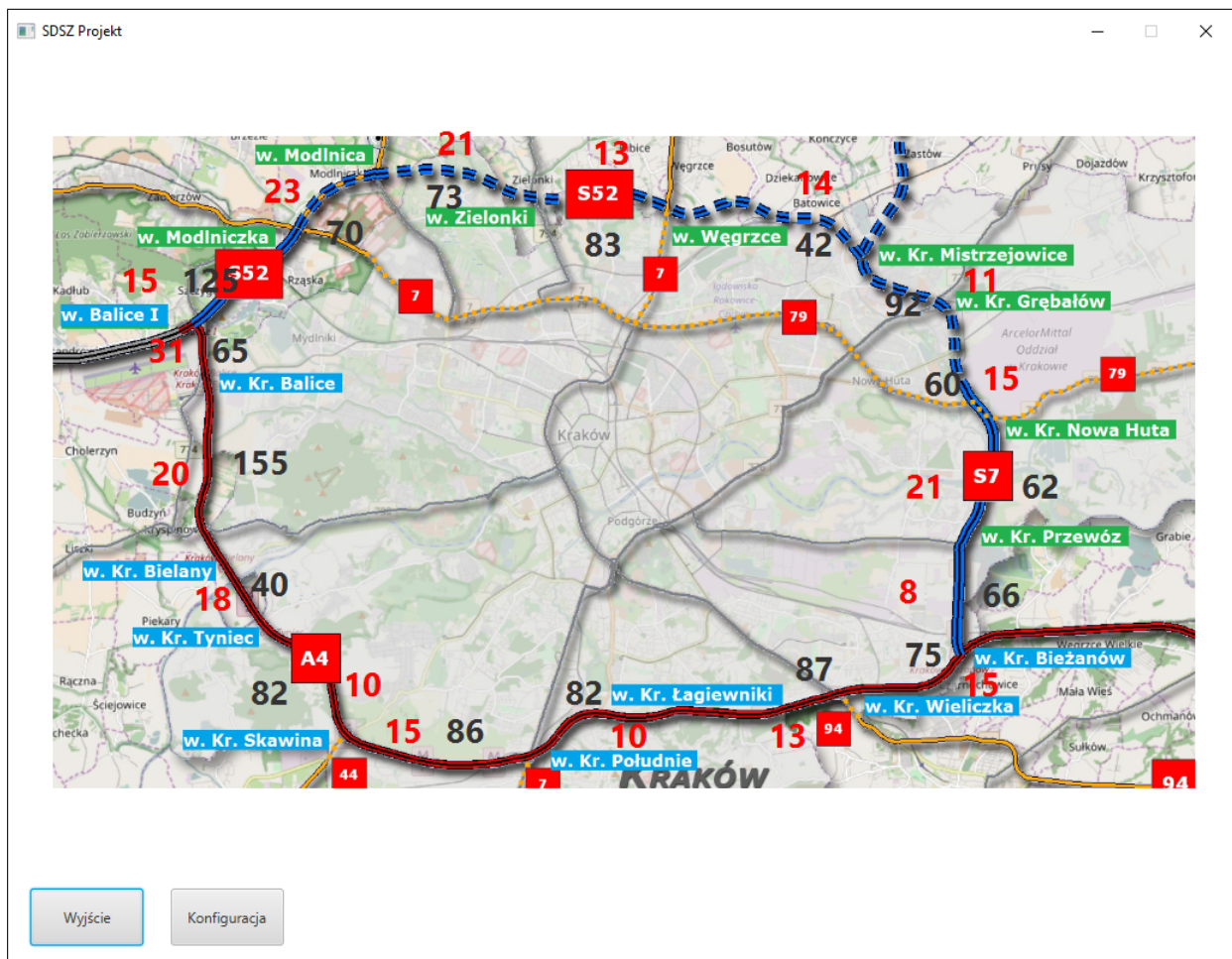
5

Maksymalna prędkość tirów

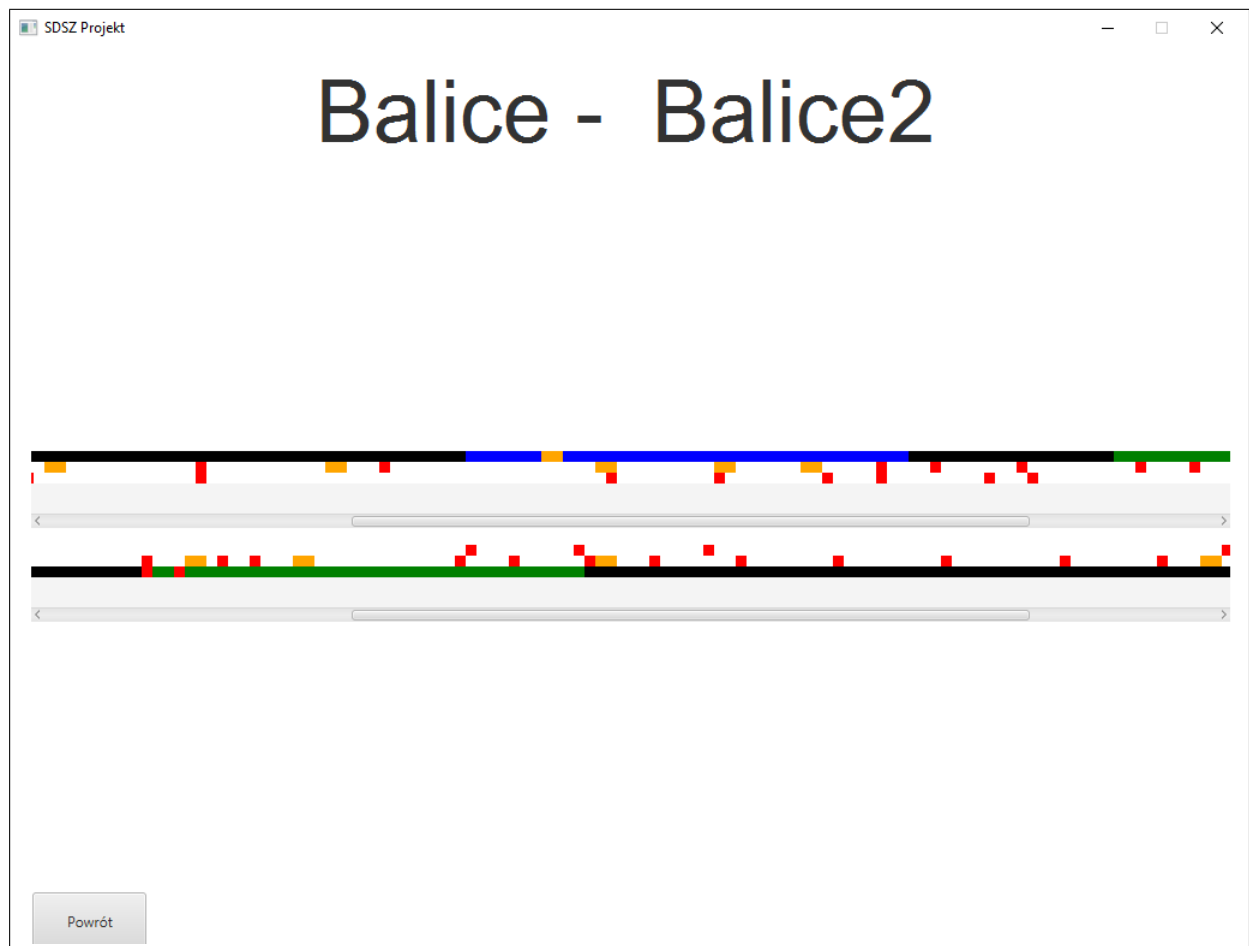
3

Rysunek 6: Parametry zjazdów w analizowanym przypadku

Po upływie czasu i ustabilizowaniu się poziomów możemy zauważyć, że wokół obciążonych odcinków poziom faktycznie jest kilkukrotnie większy niż na pozostałych. Jednak samo podniesienie parametrów wjazdów na jedynie kilku odcinkach, przykładowo w wyniku dużego ruchu na lotnisku, nie powoduje powstawania korków i dużych utrudnień w ruchu. Jezdnie są dużo bardziej wypełnione ale żeby średnia prędkość poruszania się pojazdów spadła znacznie poniżej prędkości maksymalnej taki stan musiałby utrzymywać się przez znaczny okres czasu.



Rysunek 7: Ruch na obwodnicy przy dużym natężeniu na kilku sąsiednich wjazdach



Rysunek 8: Widok najbardziej obciążonego odcinka Balice-Balice2

Takie obserwacje sugerują, że duże, lecz krótkotrwałe, natężenie ruchu nie powoduje utrudnień w ruchu. Utrudnienia a tym samym korki mogą powstawać w momencie pojawienia się zwężenia na drodze. Taka sytuacja może mieć miejsce w przypadku robót drogowych lub kolizji. Pojazdy pozbawione możliwości wyprzedzania, ograniczone do jednego pasa ruchu napotykając samochód o niższej prędkości jest zmuszony do dostosowania własnej wywołując reakcję łańcuchową. Ze względu na implementację aplikacji nie jesteśmy w stanie symulować ograniczenia dostępności jednego z pasów.

8 Możliwy rozwój projektu

Aplikacja pozwala obserwować symulację ruchu na IV obwodnicy Krakowa oraz kreować proste scenariusze zachowań pojazdów.

W przyszłości do projektu można dołożyć takie scenariusze i zachowania jak kolizje samochodów, zjazdy na pobocza czy przejazd pojazdów uprzywilejowanych. Sam interfejs aplikacji można rozszerzyć także o bieżące pomiary takie jak np. średnia prędkość wszystkich pojazdów, średnia ilość pokonanych km czy wykres przepływu dla poszczególnych segmentów rysowany w czasie rzeczywistym

Literatura

- [1] Jarosław Wąs, Rafał Bieliński, Bartłomiej Gajewski, Patryk Orzechowski *Problematyka modelowania ruchu miejskiego z wykorzystaniem automatów komórkowych.*
- [2] J. Esser and M. Schreckenberg *MICROSCOPIC SIMULATION OF URBAN TRAFFICBASED ON CELLULAR AUTOMATA*
- [3] Jelena Vasic, Heather J. Ruskin *Cellular automata simulation of traffic including cars and bicycles*
- [4] Han-Tao Zhao, Xin-Ru Liu, Xiao-Xu Chen, Jian-Cheng Lu *Cellular automata model for traffic flow at intersections in internet of vehicles*