

# Skrzyżowanie osobowo-samochodowo-tramwajowe

*Agent-based modelling*

Autorzy:

Piotr Knop  
Elpidiusz Wszolek  
Tomasz Gajda  
Grzegorz Bylina

# Spis treści

- [1. Opis problemu](#)
- [2. Model problemu](#)
- [3. Graf pokrycia/osiągalności](#)
- [4. Analiza systemu i możliwych problemów pod kątem właściwości sieci](#)
  - [4.1 Właściwości stworzonej sieci](#)
  - [4.2 Analiza systemu](#)
  - [4.3 Problemy oraz możliwości ich rozwiązania](#)
- [5. Podsumowanie](#)

# 1.Opis problemu

Dokument opisuje system odpowiedzialny za zarządzanie ruchem na skrzyżowaniu drogowym. Jego model jest dedykowany dla jednoczesnych skrzyżowań linii tramwajowych, samochodowych oraz ruchu pieszych. Całość ma zostać zaimplementowana za pomocą modelowania opartego na agentach (Agent-Based Modelling).

**Agent-Based Model (ABM)** model, którego celem jest symulacja działań autonomicznych agentów i interakcji między nimi. Ocenie podlega rezultat działania całości systemu, składającego się z wielu prymitywnych części (agentów). Kluczową koncepcją jest wykorzystanie prostych reguł zachowań w celu utworzenia złożonego postępowania. W ABM całość systemu jest lepsza niż suma jego części. Samodzielni agenci zazwyczaj mają działać w sposób, który uważają za korzystny dla samych siebie. Modelowanie oparte na agentach jest powiązane z pojęciem systemów i symulacji wieloagentowych.

W rozważanym systemie para agentów jest odpowiedzialna za sterowanie pojedynczą sygnalizacją świetlną: zmianą z sygnału czerwonego na zielony i odwrotnie. Każdy z nich, wchodząc w interakcje z innymi agentami powinien przyczynić się do osiągnięcia zadowalającego rezultatu całości systemu. Najważniejszym zadaniem całości rozwiązania jest poprawna, automatyczna kontrola świateł drogowych.

Jednym z głównych wymagań, stawianych systemowi zapewnienie bezpieczeństwa uczestników ruchu. Z tego względu działanie sygnalizacji **nie może** powodować sytuacji zagrożenia życia lub zdrowia uczestników ruchu. Nie jest akceptowalna sytuacja, gdy na skrzyżowanie dopuszczone są jednocześnie obiekty o kolizyjnych torach. Należy też zachować pewną zwłokę podczas zapalania światła zielonego, aby pojazdy z kolizyjnych kierunków miały czas na bezpieczne opuszczenie skrzyżowania. Bardzo ważna jest także skuteczność i efektywność rozwiązania. System powinien umożliwiać jak najszybszy przejazd obiektom oczekujących przed sygnalizatorem oraz zapewniać jak największą przepustowość skrzyżowania.

## Ograniczenia dla systemu:

- Wysoka niezawodność systemu
- Bezpieczeństwo – unikanie sytuacji kolizyjnych
- Uwzględnienie dwóch rodzajów sygnalizatorów: światła zielonego oraz światła czerwonego
- Uwzględnienie czujników wykrywających oczekujący pojazd
- Uwzględnienie czujników będących przyciskami oczekiwania dla pieszych
- Brak przestojów - gdy brak jest pojazdów o torach kolizyjnych z oczekującym, powinien on niezwłocznie otrzymać pozwolenie na wjazd na skrzyżowanie

- Zapewnienie czasu na opuszczenie skrzyżowania przez pojazdy w postaci zwłoki czasowej przed zmianą na światło zielone.

## 2. Model problemu

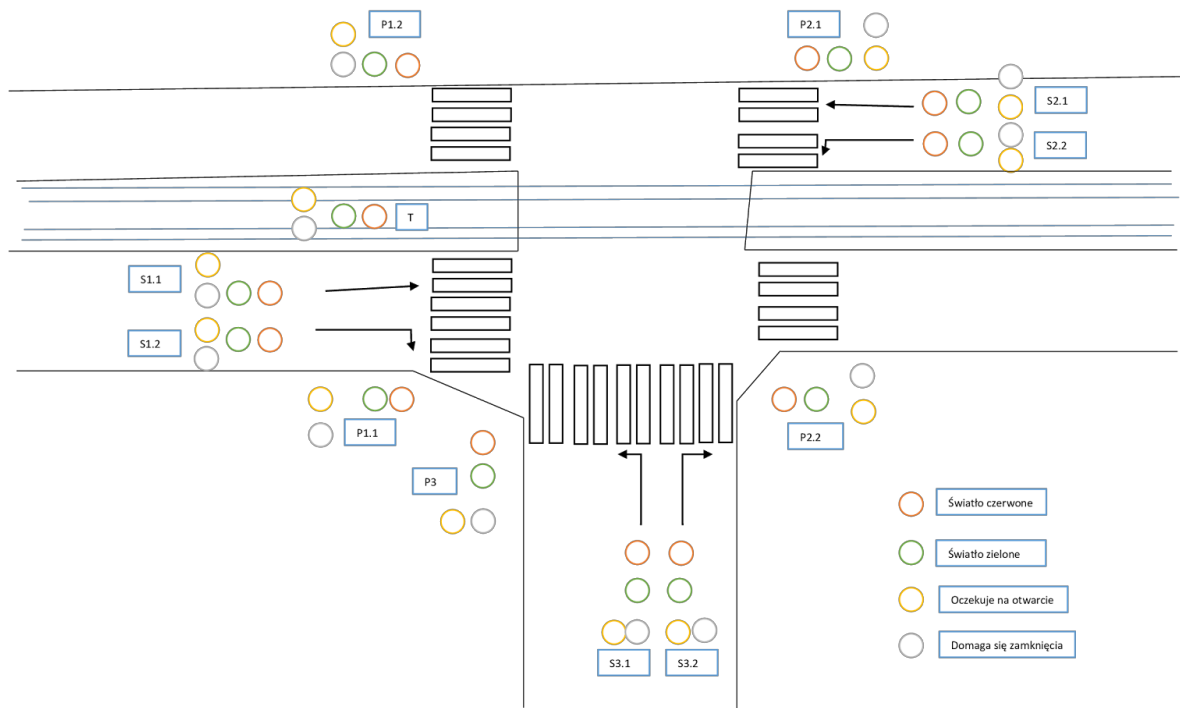
Każdy z sygnalizatorów reprezentowany jest poprzez grupę czterech miejsc oznaczających:

- 1) światło czerwone
- 2) światło zielone
- 3) oczekujący pojazd/pieszy (miejsce o pojemności 1)
- 4) oczekiwanie na zamknięcie wolnej drogi (miejsce o pojemności 1)

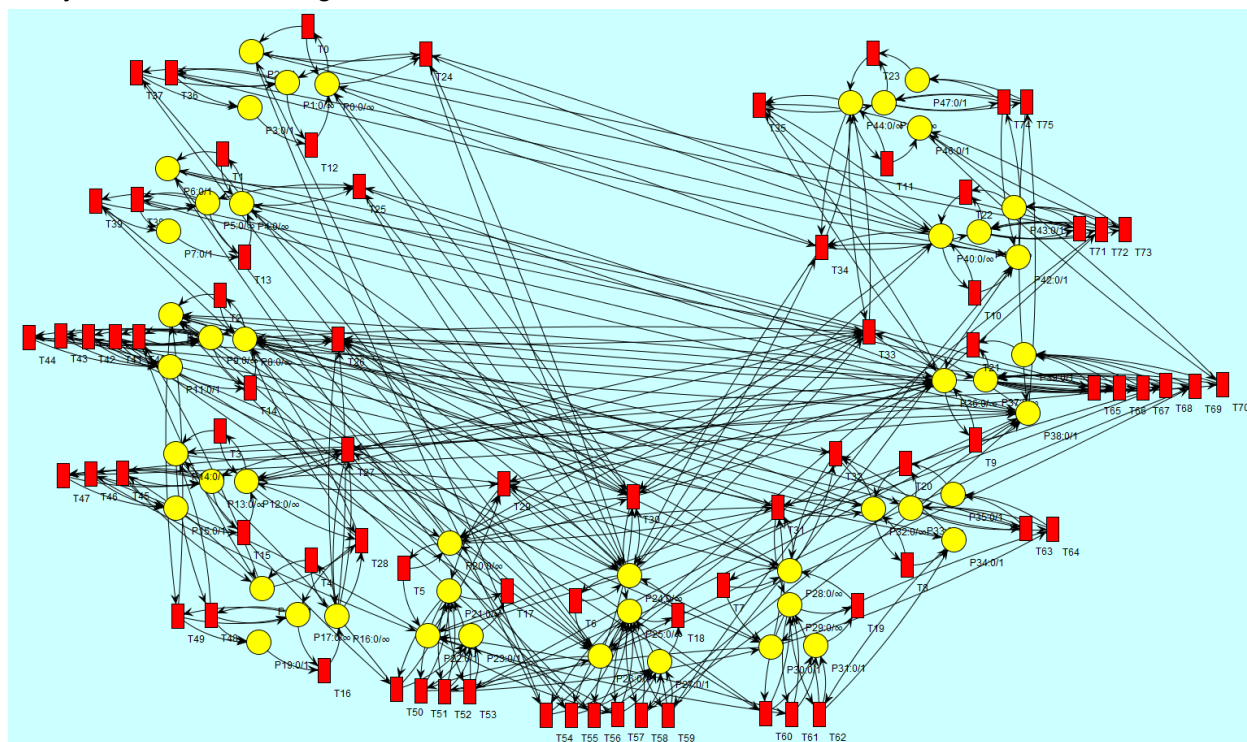
W ten sposób wyodrębnić można 2 rodzaje agentów:

- korzystający z miejsca rodzaju 3 „oczekujący pojazd/pieszy” – gdy w miejscu tego rodzaju pojawi się znacznik, wtedy zadaniem agenta jest wysyłanie żądań zamknięcia kolidujących kierunków mających światło zielone oraz zmianę własnej sygnalizacji ze światła z czerwonego na zielone, gdy pozostałe kolidujące kierunki są zamknięte.
- korzystający z miejsca rodzaju 4 „oczekiwanie na zamknięcie wolnej drogi” – gdy w miejscu tego rodzaju pojawi się znacznik, wtedy zadaniem agenta jest zmiana własnej sygnalizacji ze światła zielonego na światło czerwone

Objaśnienie i rozmieszczenie miejsc:



Pełny model sieci Petriego:



**Objaśnienia:**

**Grupy miejsc:** P0-P3, P4-P7, P8-P11, P12-P15, P16-P19, P20-P23, P24-P27, P28-P31,

P32-P35, P36-P39, P40-P43, P44-P47 – poszczególne sygnalizatory wraz z czujnikami

Miejsca P0,P4,P8,P12,P16,P20,P24,P28,P32,P36,P40,P44 – światło czerwone

Miejsca P1,P5,P9,P13,P17,P21,P25,P29,P33,P37,P41,P45 – światło zielone

Miejsca P2,P6,P10,P14,P18,P22,P26,P30,P34,P38,P42,P46 - oczekujący pojazd/pieszy

Miejsca P3,P7,P11,P15,P19,P23,P27,P31,P35,P39,P43,P47 - oczekiwanie na zamknięcie wolnej drogi

**Przejścia T0-T11** – dodawanie oczekującego pojazdu/pieszego, gdy zaświecone jest światło czerwone

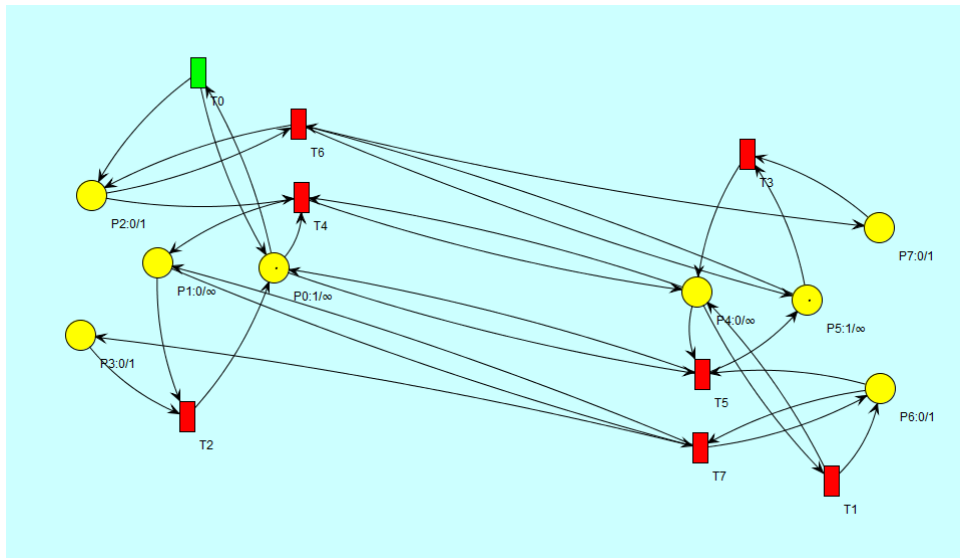
**Przejścia T12-T23** – zmiana światła zielonego na światło czerwone, gdy jest oczekiwanie na zamknięcie kierunku

**Przejścia T24-T35** – zmiana światła czerwonego na światło zielone, gdy wszystkie kolidujące kierunki są zamknięte (wyświetlają światło czerwone)

**Grupy przejść T36-T37, T38-T39, T40-T44, T45-T47, T48-T49, T50-T53, T54-T59, T60-T62, T63-T64, T65-T70, T71-T73, T74-T75** – ustawia znacznik symbolizujący oczekiwanie na zamknięcie danego kierunku, gdy inny kolidujący kierunek chce otrzymać wolną drogę.

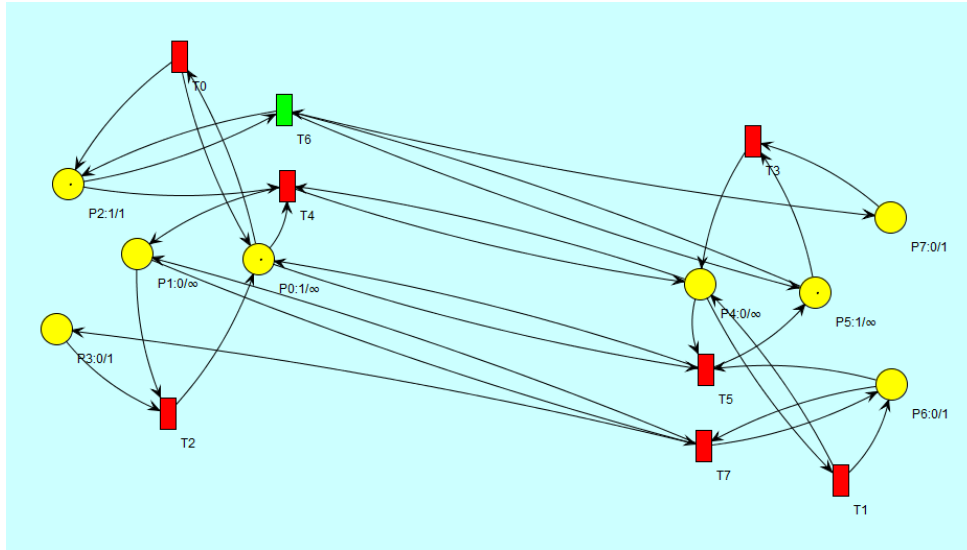
### Przykład działania:

**Stan początkowy:** Lewy sygnalizator (P0-P3) wyświetla światło czerwone (znacznik w P0), natomiast sygnalizator prawy (P4-P7) wyświetla światło zielone (znacznik w P5). Założone zostaje, że oba sygnalizatory obejmują kierunki, które są na torze kolizyjnym ze sobą. Jedynym aktywnym przejściem jest przejście T0. Dodaje ono znacznik oczekiwania pojazdu dla lewego sygnalizatora (P2) podczas zapalonego światła czerwonego. Symbolizuje to pojawienie się, podjechanie pojazdu pod sygnalizator.



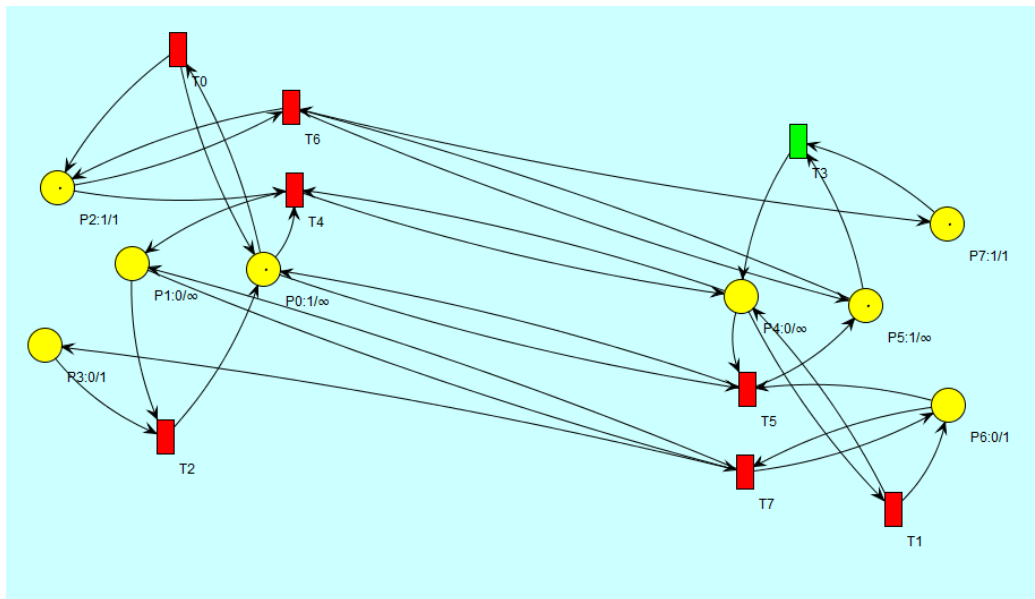
### Krok 1:

Gdy pojawia się znacznik symbolizujący oczekujący pojazd, agent dąży do zmiany na światło zielone dla tego kierunku (przejście T4). Nie może tego jednak uczynić, gdyż na kolizyjnym torze nie ma światła czerwonego (miejsce P4). Dlatego agent wchodzi w interakcję z agentem z drugiego sygnalizatora i wymusza jego zmianę na światło czerwone. W ten sposób zostaje dodany znacznik oznaczający oczekiwanie na zamknięcie kierunku (miejsce P7).



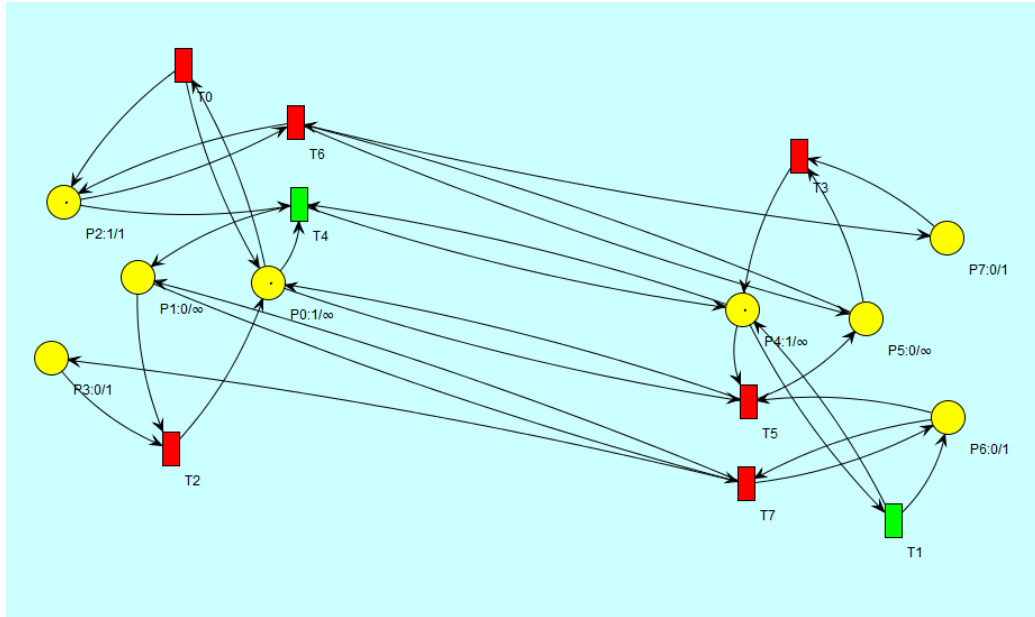
### Krok 2:

Kolejny agent, mając znacznik oczekiwania na zamknięcie dąży do zmiany wyświetlanego sygnału zielonego na czerwony. W tym celu wykonywane zostaje przejście (T3), które zabiera znacznik światła zielonego (P5), a dodaje znacznik światła czerwonego (P4). Dodatkowo znacznik oczekiwania na zamknięcia zostaje zabrany (P7), gdyż zmiana została właśnie wykonana.



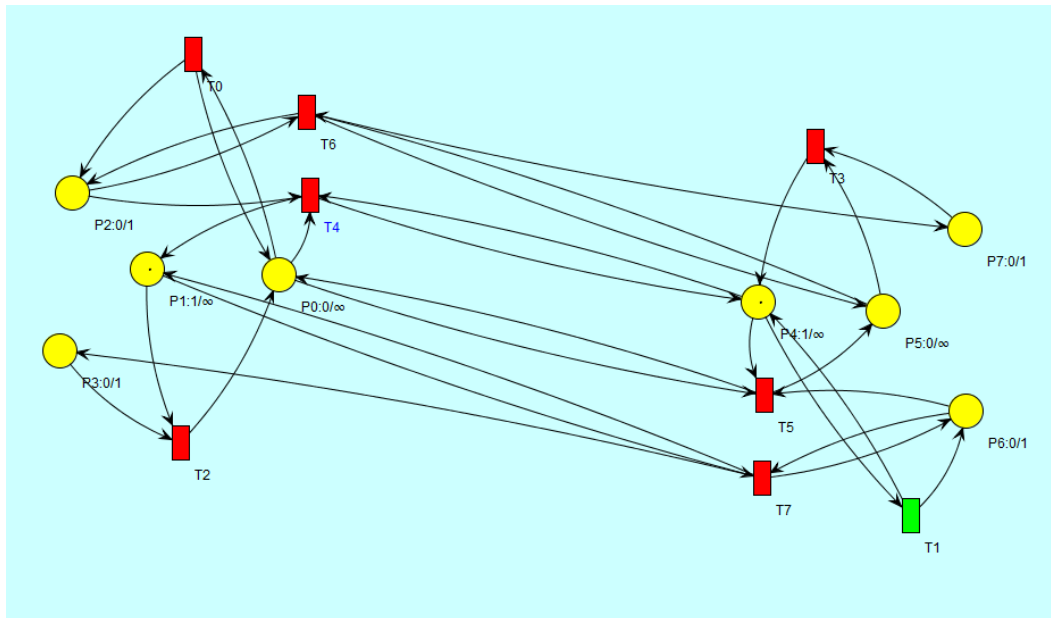
### Krok 3:

Następuje moment, w którym oba sygnalizatory wyświetlają światło czerwone. W tym momencie agent może już wykonać przejście (T4), gdyż kolidujący kierunek jest zamknięty. Jednakże, może zostać też wykonane przejście (T1) dodające oczekujący pojazd do prawego sygnalizatora.



#### Krok 4:

Wykonując przejście T4 został zabrany znacznik światła czerwonego (P0), a został dodany znacznik światła zielonego (P1). Jednocześnie został zabrany znacznik oczekującego pojazdu (P2), gdyż ten kierunek został właśnie otwarty, więc pojazdy mogą swobodnie przejechać.

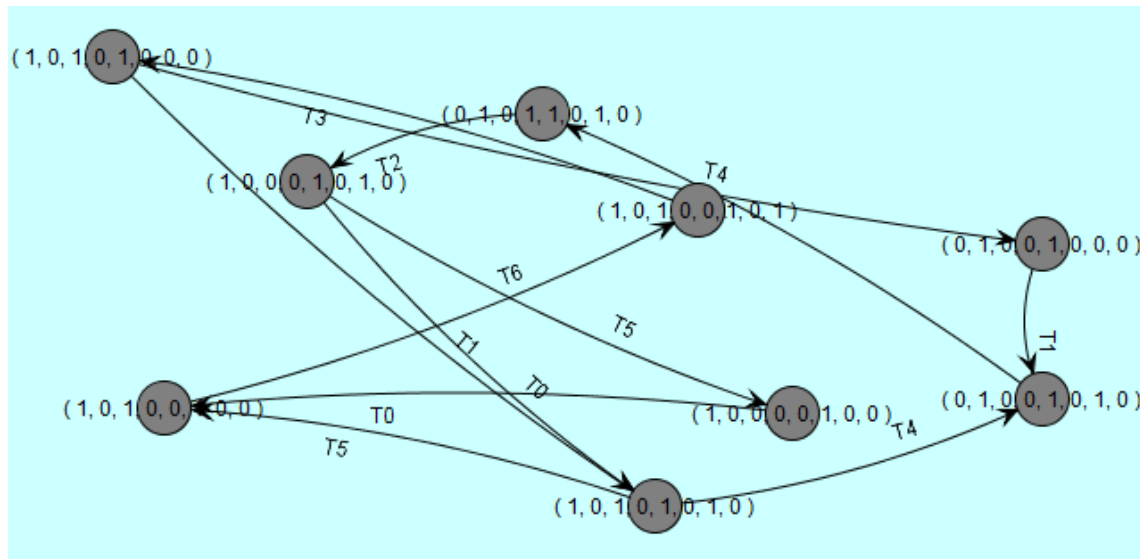


W ten sposób zostało otrzymane lustrzane odbicie sytuacji początkowej. W czterech krokach dokonała się zamiana kierunku, który jest otwarty i nie koliduje z innymi.

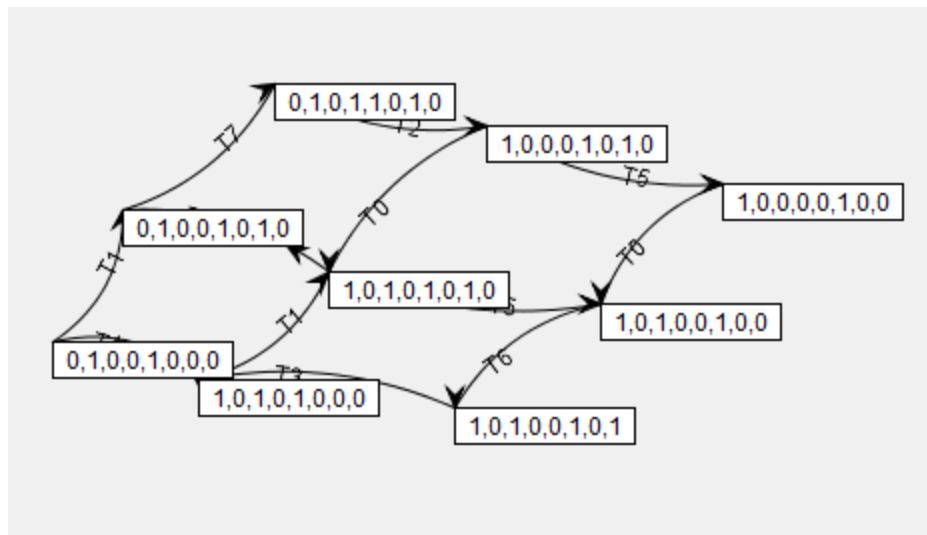


### 3. Graf pokrycia/osiągalności

**Graf osiągalności** dla przykładowej sieci z dwoma sygnalizatorami:



**Graf pokrycia** dla przykładowej sieci z dwoma sygnalizatorami



Ze względu na bardzo rozbudowaną sieć grafy osiągalności i pokrycia stały się bardzo nieczytelne, mimo iż są skończone.

## 4. Analiza systemu i możliwych problemów pod kątem właściwości sieci

### 4.1 Właściwości stworzonej sieci

**Żywotność** – Sieć jest żywotna (wg definicji L4-żywotności)

**Ograniczoność** – sieć jest 1 – ograniczona (dzięki wprowadzeniu ogólnego ograniczenia pojemności miejsc oznaczających oczekiwanie na zamknięcie/przejazd)

**Odwracalność** – tak

**Zachowawczość** – nie

**Bezpieczeństwo** – sieć jest bezpieczna, bo jest 1 ograniczona

### 4.2 Analiza systemu

System spełnia założenie bezpieczeństwa, gdyż kolizyjne tory nie dostają równocześnie zielonego światła. Działa dość efektywnie, gdyż dany tor jest ciągle otwarty dopóki nie ma potencjalnej kolizji z innym torem.

Odwracalność sieci potwierdza, że sygnalizacja może działać w pętli, tzn zawsze jest możliwy powrót do początkowego stanu sygnalizatorów.

Żywotność sieci potwierdza brak zakleszczeń - wszystkie fragmenty sieci mają szansę być ponownie wykonane niezależnie od aktualnego stanu znaczników.

### 4.3 Problemy oraz możliwości ich rozwiązania

Dużym problemem modelu jest podatność na zagłódzenie systemu. Gdy dany sygnalizator oczekuje na zmianę światła z czerwonego na zielone, najpierw zostaje wysłane żądanie zamknięcia kolidujących kierunków. Gdy wszystkie kolidujące kierunki mają światło czerwone, wtedy sygnalizator oczekujący na zmianę również wyświetla światło czerwone. Jest to, zgodny z rzeczywistością, pewien zapas czasu, aby pojazdy, które wjechały na skrzyżowanie przy jeszcze zapalonym świetle zielonym mogły je opuścić, gdy w międzyczasie światło dla ich kierunku zmieni się na czerwone. Dzięki temu pojazdy, które dostaną światło zielone mogą bez obaw wjechać na skrzyżowanie, bo pozostałe pojazdy zdążą je opuścić, co zapobiega wielu niebezpiecznym sytuacjom. Jednakże powoduje to dość spory problem, gdyż nie jest pewne, że światło zielone zostanie wyświetlone na tym właśnie sygnalizatorze, który oczekiwał na zmianę i wysyłał żądania zamknięcia. System co prawda ma możliwość wykonania tego przejścia, lecz równie dobrze może wykonać inne przejście, dodając znacznik oczekiwania na innym sygnalizatorze. W ten sposób światło zielone może zostać wyświetlone na sygnalizatorze, na którym dopiero co dokonała się zmiana. W ten sposób tworzy się pętla i opisany sygnalizator nigdy nie dostaje światła zielonego, dochodzi do zagłódzenia.

Najprostszym rozwiązaniem problemu zagłodzenia jest rezygnacja ze sterowania skrzyżowaniem w oparciu o czujniki oczekujących obiektów (pojazdów/piesznych) i uruchomienie go w trybie cyklicznej czasowej zmiany świateł. Taki system jest sprawiedliwy ze względu na czas przejazdu z każdego kierunku, ale mogą występować w nim przestoje - tzn. zakaz wjazdu dla oczekującego pojazdu mimo braku pojazdów nadjeżdżających z kierunków kolizyjnych. Dlatego taki tryb świateł mógłby być uruchamiany wyłącznie w godzinach dużego natężenia ruchu ze wszystkich kierunków.

Innym rozwiązaniem problemu zagłodzenia mogłoby być rozwinięcie sieci o zliczanie oczekujących obiektów. Można wyobrazić sobie skrzyżowanie, gdzie czujniki zliczają liczbę czekających obiektów z każdego kierunku. Zasadą działania mogłoby być uruchamianie światła zielonego dla kierunku gdzie oczekuje największa liczba pojazdów. Zagłodzenie wtedy nie występuje (pojazdy w ruchu nie wliczają się do oczekujących). Pojawia się natomiast problem zbyt częstej zmiany świateł. Po ruszeniu jednej grupy obiektów natychmiast następowałaby zmiana sygnalizacji na korzystną dla wciąż czekającego kierunku. Dlatego niezbędne byłoby wprowadzenie pewnej histerezy sterowania.

Korzystając ze zliczania oczekujących obiektów można wprowadzić też inną zasadę: po osiągnięciu pewnej krytycznej liczby pojazdów oczekujących na wjazd z danego kierunku wymuszana jest zmiana świateł umożliwiająca im przejazd. Jest to jednak tylko rozwiązanie pośrednie, ponieważ nie eliminuje całkowicie możliwości zagłodzenia. W sytuacji, gdy mniejsza od krytycznej liczba pojazdów czeka na wjazd na skrzyżowanie, a z innego kierunku wciąż napływają nowe pojazdy, oczekująca grupa nigdy nie będzie miała możliwości przejazdu.

Jeszcze innym pomysłem jest wprowadzenie prioryteźacji, kolejkovania oczekiwań na zmianę światła. W ten sposób można ustalać pewną kolejność działania świateł zgodnie z kolejnością podjeżdżania pojazdów/piesznych. Dzięki temu każdy sygnalizator doczeka się na swoją kolej, kiedy będzie mógł wyświetlać światło zielone.

## 5. Podsumowanie

W dokumencie przedstawiony został model systemu kontroli świateł na skrzyżowaniu drogowym z sygnalizacją. Uwzględnione zostały sygnalizatory tramwajowe, samochodowe i przejść dla piesznych. W ramach dokumentu wykonana została sieć Petriego, modelująca skrzyżowanie i odwzorowująca zachowanie agentów odpowiedzialnych za kontrolę i działanie sygnalizacji świetlnej. Na podstawie modelu sieci zbadano jej właściwości. Sieć okazała się żywotna, bezpieczna oraz odwracalna. Problemem okazała się podatność na zagłodzenie w systemie. Zaproponowane rozwiązanie problemu to:

- uruchomienie cyklicznej zmiany świateł
- zliczanie ilości oczekujących pojazdów i uruchamianie światła zielonego dla kierunku z najdłuższą kolejką pojazdów
- zliczanie ilości oczekujących pojazdów i uruchamianie światła zielonego po przekroczeniu pewnej ilości oczekujących pojazdów
- wprowadzenie kolejkovania przełączania sygnalizacji na podstawie kolejności podjeżdżania pojazdów

Pomimo tej wady, opierając się na stworzonej sieci Petriego, sieć wydaje się spełniać podstawowe założenie systemu - bezpieczeństwo i brak przestojów.