



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,  
INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ**

**KATEDRA AUTOMATYKI**

**Modelowanie układów fizycznych i biologicznych**

*Model skrzyżowania równorzędnego wraz z porównaniem sygnalizacji  
światłowej: stałoczasowej oraz inteligentnie sterowanej*

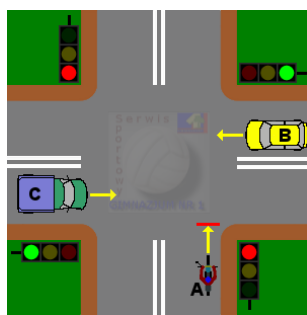
*Model of road intersection with two types of controlled traffic lights*

Autor: *Żaneta Błaszczuk, Rafał Kozik, Filip Kubicz, Jakub Nowak, Jakub Porębski*  
 Kierunek studiów: *Automatyka i Robotyka*  
 Opiekun pracy: *dr inż. Ireneusz Wochlik*

Kraków, 2014

## 1. Model skrzyżowania

Nasz model skrzyżowania składa się z 4 dróg dojazdowych, które są kolejkami FIFO oraz z sygnalizacji świetlnej. Graficznie mogłoby ono wyglądać tak:



Rysunek 1: Graficzne przedstawienie modelu skrzyżowania.

Działanie modelu polega na przepuszczaniu samochodów przez skrzyżowanie. Pierwszy samochód z każdej z kolejek FIFO podejmuje decyzję, czy przejechać przez skrzyżowanie, czy też nie. Przejazd jest dozwolony, gdy samochód dostaje światło zielone, a zabroniony przy świetle czerwonym. Stan kolejek dojazdowych do skrzyżowania jest aktualizowany po każdej zmianie świateł – model dyskretny. Liczba przybywających samochodów jest generowana losowo przez generator srand.

Skrzyżowanie posiada:

- 4 drogi dojazdowe – kolejki FIFO samochodów
- sygnalizację świetlną

Samochód posiada:

- Czas przejazdu przez skrzyżowanie – czas jaki zajmuje samochodowi przejechanie przez światła na tyle, że następny samochód może decydować, czy jechać, czy pozostać na światłach (czas o jaki samochód opóźnia podjęcie decyzji o przejeździe następnemu). Czas ten jest generowany losowo przez generator liczb losowych srand.
- Czas oczekiwania na przejazd – w celu analizy jakości sterowania.

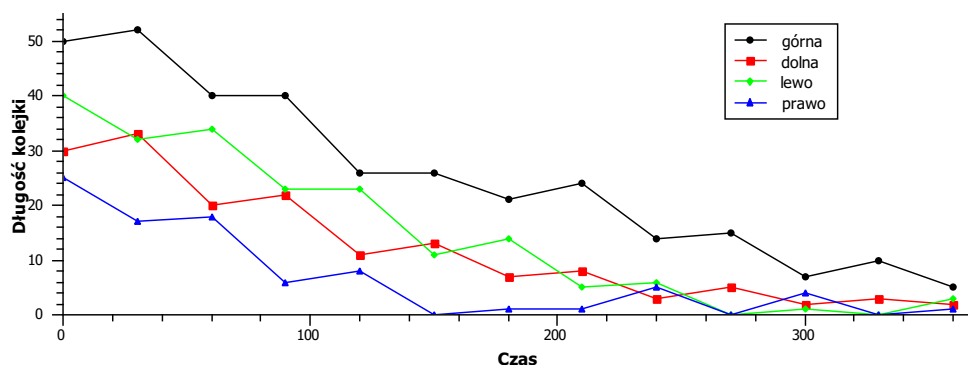
Model zaimplementowaliśmy w języku C++ wykorzystując bibliotekę STL kolejek FIFO. Staraliśmy się zrealizować symulację w ten sposób, by można było sterować wszystkimi parametrami w celu badania mechanizmu skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Możliwość zmiany maksymalnej ilości przybywających samochodów oraz czasu ich przebywania na skrzyżowaniu służy do modelowania natężenia ruchu oraz „gatunku” kierowców.

Jednocześnie wyróżniliśmy stan „rozładowania” skrzyżowania. występuje on w momencie, gdy na wszystkich drogach dojazdowych liczba samochodów jest mniejsza bądź równa maksymalnej równa liczbie samochodów, które w danej zmianie świateł mogły na skrzyżowanie przyjechać.

## 2. Sygnalizacja

Sygnalizacja świetlna posiada 2 stany, w których przepuszcza albo samochody w kierunku pionowym lub w poziomym. Każdy rodzaj sygnalizacji posiada opóźnienie spowodowane światłem pomarańczowym w czasie którego skrzyżowanie pozostaje nieczynne. Opóźnienie wpływa na zmniejszenie czasu przejazdu. W dalszych rozważaniach przyjęliśmy opóźnienie jako 2 sekundy. Przy każdej zmianie świateł przybywa maksymalnie 5 samochodów (do każdej z kolejek), a każdy samochód przejeżdża skrzyżowanie w mniej niż 5 sekund.

Działanie skrzyżowania można zobaczyć na wykresie 2:



Rysunek 2: Wykres długości kolejek samochodów w zależności od czasu.

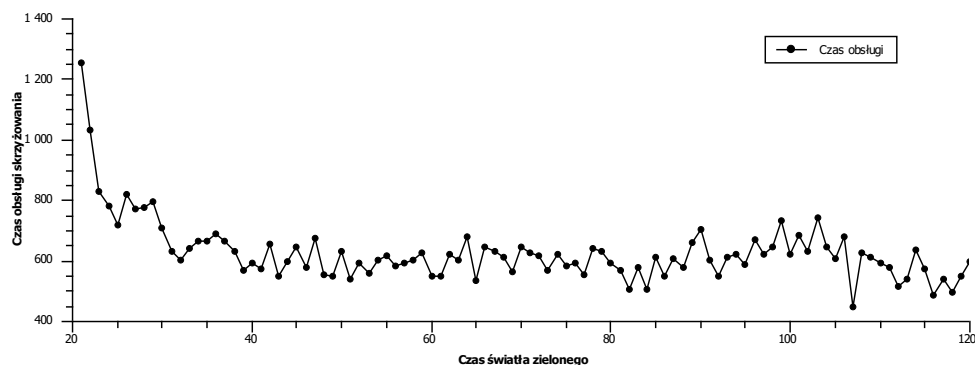
Wykres przedstawia działanie skrzyżowania z sygnalizacją stałoczasową ustawioną na czas światła zielonego równy 30 sekund.

Długość każdej z kolejek spada co drugi okres czasu, kiedy pojawia się światło zielone.

### 2.1. Sygnalizacja stałoczasowa

Jest to najprostszy sposób sterowania ruchem na skrzyżowaniu. Posiada on tylko jeden parametr - czas światła zielonego. Wybór optymalnej wartości tego parametru dokonaliśmy testując zachowanie skrzyżowa-

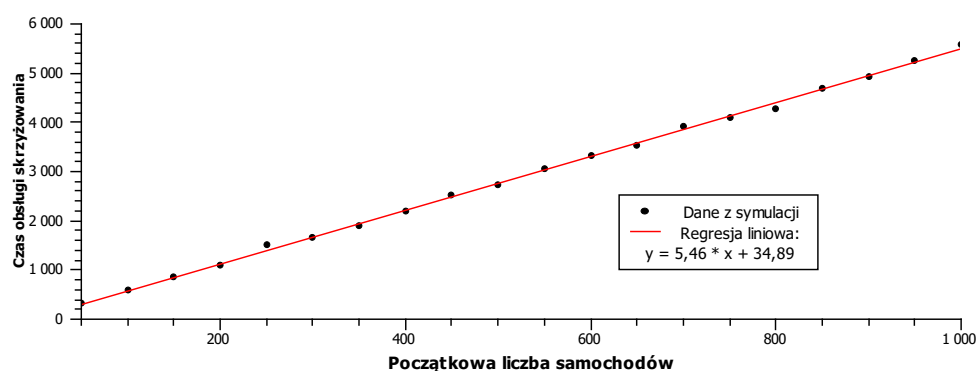
nia na impuls początkowy jakim jest 100 samochodów na jednej z dróg dojazdowych. parametrem porównawczym jest tu czas obsługi samochodów przez skrzyżowanie. Decyduje on o relatywnym zadowoleniu kierowców **3**.



Rysunek 3: Zależność czasu obsługi skrzyżowania od czasu światła zielonego w sygnalizacji stałoczasowej

Z wykresu wynika, że dla tych warunków czasy większe od 40 sekund pozwalają na osiągnięcie optymalnego czasu obsługi na poziomie około 600 sekund.

Reakcję skrzyżowania na różną liczbę początkową samochodów dla czasu światła zielonego 50 sekund obrazuje następny wykres:



Rysunek 4: Zależność czasu obsługi skrzyżowania od ilości początkowej samochodów

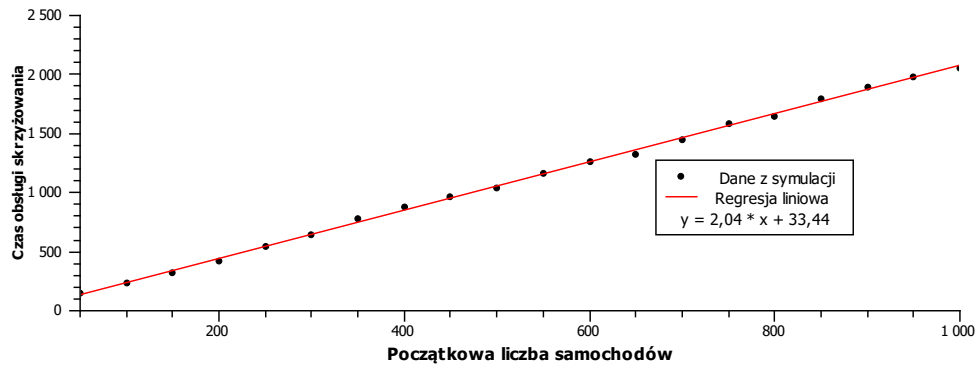
Równanie regresji liniowej to:

$$y = 5,46 * x + 34,89 \quad (1)$$

## 2.2. Sygnalizacja inteligentna

W celu zamodelowania sygnalizacji, która reaguje na dane o stanie modelu zastosowaliśmy najprostszy regulator P. Uchybem regulacji jest w tym wypadku sumaryczna długość kolejek w kierunku, na którym jest

aktualnie światło zielone. Współczynnik proporcjonalności dobraliśmy doświadczalnie testując odpowiedzi układu na skok 100 samochodów w jednej z kolejek (tak samo jak w [3]). Najlepsze wyniki otrzymaliśmy dla współczynnika proporcjonalności równego 2,2, a czas oczekiwania na „rozładowanie” skrzyżowania wyniósł około 250 sekund (dla sterowania stałoczasowego było to 600 sekund [2.1]).



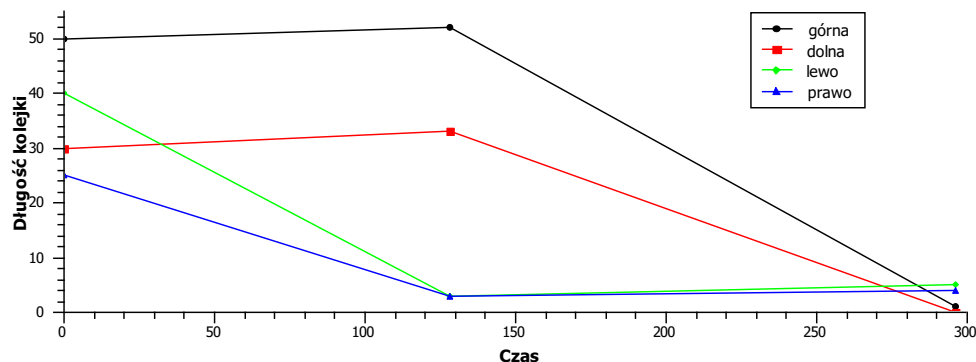
Rysunek 5: Zależność czasu obsługi skrzyżowania od ilości początkowej samochodów

Równanie regresji liniowej to:

$$y = 2,04 * x + 33,44 \quad (2)$$

Mniejszy współczynnik kierunkowy w równaniu regresji świadczy o tym, że skrzyżowanie sterowane przy użyciu regulatora P jest ponad 2 razy skuteczniejsze od optymalnego sterowania stałoczasowego.

Jednakże sterowanie za pomocą regulatora P jest dość kontrowersyjne. Dla tych samych danych początkowych co w zaprezentowanym powyżej przykładzie działania skrzyżowania [2] sterowanie regulatorem P wygląda tak:



Rysunek 6: Zależność czasu obsługi skrzyżowania od ilości początkowej samochodów

### 3. Wnioski

1. Sterowanie skrzyżowaniem za pomocą prostego regulatora P jest ponad 2 razy szybsze od sygnalizacji stałoczasowej, chociaż jego rozwiązanie może być dość zaskakujące.
2. Zaimplementowany model może posłużyć do bardziej zaawansowanych symulacji prawdziwych sytuacji w ruchu ulicznym.

### 4. Bibliografia

1. Ilustracja skrzyżowania: [www.wf.gimkonst.pl](http://www.wf.gimkonst.pl).
2. regulator PID – „Podstawy Automatyki – wykład” prof. Krzysztof Oprędkiewicz.