



**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:

Kierunek studiów:

Opiekun pracy:

*Żaneta Błaszczuk, Rafał Kozik, Filip Kubicz, Jakub Nowak, Jakub Porębski*

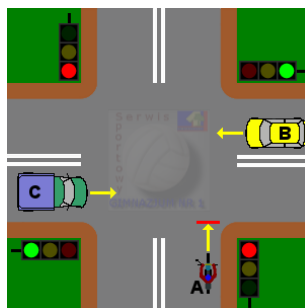
*Automatyka i Robotyka*

*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.

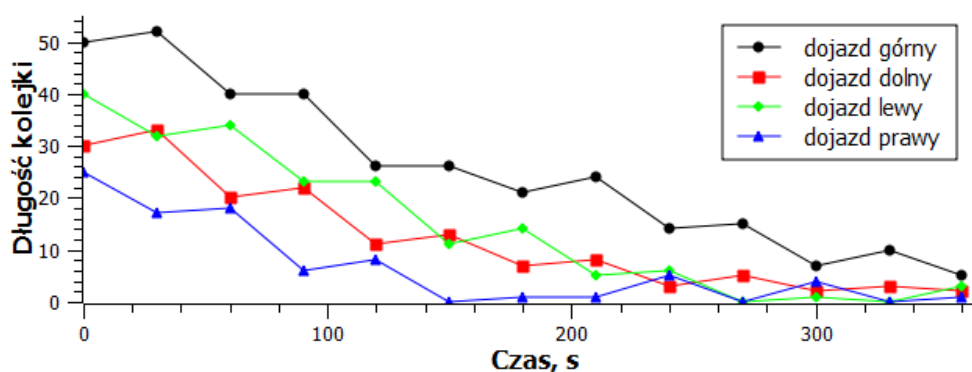
Model zaimplementowaliśmy w języku C++ wykorzystując bibliotekę STL kolejek FIFO. Staraliśmy się zrealizować symulację w ten sposób, by można było sterować wszystkimi parametrami w celu badania mechanizmu skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Możliwość zmiany maksymalnej ilości przybywających samochodów 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 przejechać.

## 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 skrzyżowania 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.

Z wykresu [3] wynika, że dla tych warunków czasy większe od 40 sekund pozwalają na osiągnięcie optymalnego czasu obsługi na poziomie około 600 sekund [1].

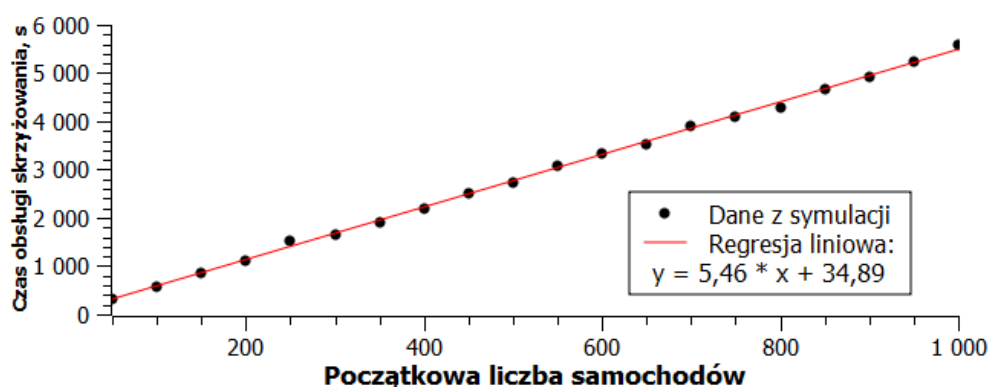
Reakcję skrzyżowania na różną liczbę początkową samochodów dla czasu światła zielonego 50 sekund obrazuje wykres [4]:

Równanie regresji liniowej dla wykresu [4] to:

$$y = 5,46 * x + 34,89 \quad R^2 = 0,999 \quad (1)$$



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

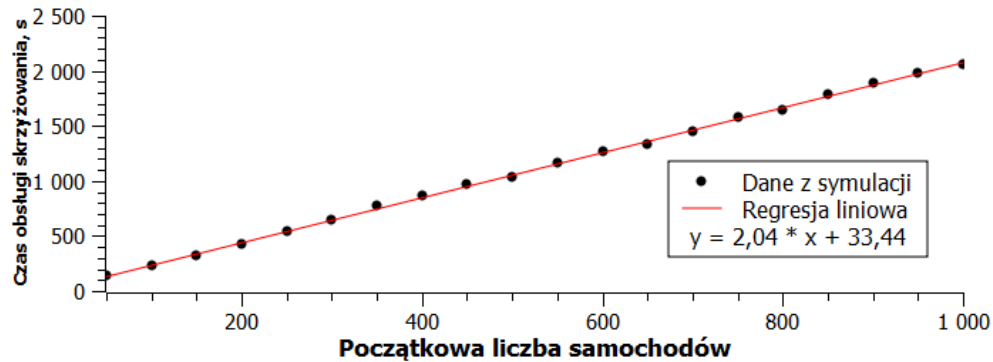


Rysunek 4: Zależność czasu obsługi skrzyżowania od ilości początkowej samochodów

## 2.2. Sygnalizacja inteligentna

W celu zamodelowania sygnalizacji, która reaguje na dane o stanie modelu zastosowaliśmy regulator  $P$ , najprostszy nam dostępny. 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]).

Czas obsługi skrzyżowania sterowanego przy użyciu regulatora  $P$  w zależności od ilości początkowego impulsu samochodów przedstawia wykres [5].



Rysunek 5: Zależność czasu obsługi skrzyżowania od ilości początkowej samochodów

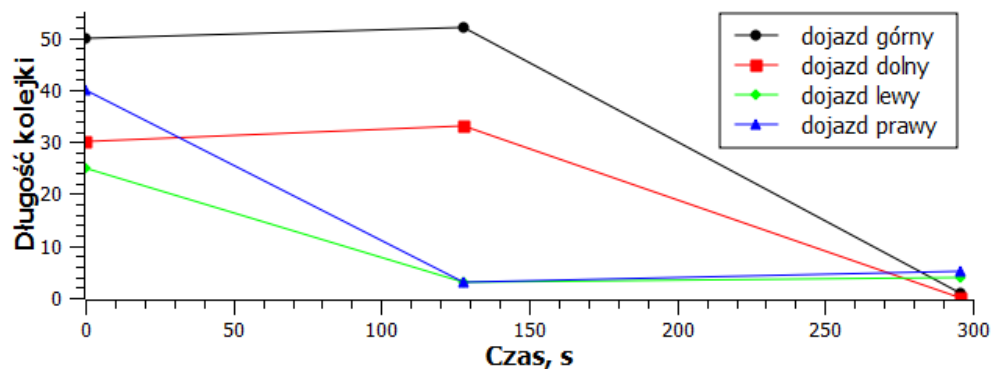
Równanie regresji liniowej dla tego wykresu to:

$$y = 2,04 * x + 33,44 \quad R^2 = 0,999 \quad (2)$$

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

$$\frac{a_{\text{stałoczasowe}}}{a_{\text{inteligentne}}} = \frac{5,46}{2,04} = 2,68 \quad (3)$$

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 [6]:



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 Oprzędkiewicz.