

PIĄTKOWSKI Bartłomiej¹
MACIEJEWSKI Michał¹

PROJEKT AKOMODACYJNEJ SYGNALIZACJI ŚWIETLNEJ DLA SKRZYŻOWANIA RONDO STAROŁĘKA W POZNANIU

Celem artykułu jest przedstawienie procesu projektowania sterownika akomodacyjnego sygnalizacji świetlnej dla skrzyżowania Rondo Starołęka w Poznaniu. Prace polegały na sprawdzeniu istniejącego rozwiązania sterowania ruchem na skrzyżowaniu, a następnie stworzeniu autorskiej sygnalizacji akomodacyjnej w tym: odpowiednich faz oraz algorytmu sterowania sygnalizacją. Zaproponowane rozwiązanie porównano z istniejącym za pomocą mikrosymulacji ruchu drogowego wykorzystując system VISSIM. Po wykonaniu wirtualnego modelu skrzyżowania, przeprowadzeniu symulacji i analizie wyników, stwierdzono, że nowo zaprojektowana akomodacyjna sygnalizacja świetlna wpłynęła na polepszenie się warunków ruchu na skrzyżowaniu oraz znacząco skróciło kolejkę pojazdów na jednym z wlotów.

PROJECT OF AN ACTUATED TRAFFIC LIGHTS CONTROLLER FOR RONDO STAROŁĘKA ROUNDABOUT IN POZNAŃ

The aim of this paper is to present the process of designing an actuated traffic lights controller for Rondo Starołęka roundabout in Poznań. The first task was to analyze the existing solution to the traffic light control and then to design the actuated traffic lights, including phases and a control strategy. The proposed solution was compared to the existing one by means of VISSIM, a microscopic traffic flow simulation system. After creating a virtual model of the roundabout, carrying out simulations and analysing the results, the new actuated traffic lights were found to improve traffic conditions at the intersection and to significantly reduce a queue of vehicles at one of the inlets.

1. WSTĘP

Wzrost zmotoryzowania społeczeństwa znacząco wpłynął na warunki ruchowe w miastach. Ciągły przyrost pojazdów na drogach powoduje przekroczenie przepustowości odcinków i węzłów, codziennie przyczyniając się do powstawania kongestii, a co za tym idzie – strat, zwłaszcza czasowych, uczestników ruchu. Jednym z rozwiązań tego problemu jest rozbudowa istniejącej infrastruktury poprzez budowę nowych lub poszerzanie

¹ Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. (61) 665-2775, -2709, fax (61) 665-2736

istniejących odcinków dróg. Czasami jednak nie jest to możliwe np. z powodu ograniczonego miejsca na inwestycję. Innym rozwiązaniem próby poprawy sytuacji na drogach i węzłach jest sterowanie ruchem. Odpowiednia reorganizacja ruchu może przynieść wymierne rezultaty w postaci poprawy przepustowości, ograniczeniu powstawania kongestii, redukcji strat czasowych osób podróżujących, bez konieczności kosztownej przebudowy danego skrzyżowania.

2. AKOMODACYJNE STEROWANIE SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA

Jednym ze sposobów organizacji ruchu na skrzyżowaniu jest separacja potoków ruchu w czasie poprzez stosowanie sygnalizacji świetlnej. Jednak z powodu tego, że natężenia potoków pojazdów przybywających na skrzyżowanie są dynamiczne i zależą od wielu czynników m.in. pory dnia, dnia tygodnia, warunków atmosferycznych, należy stosować dynamiczne sterowanie ruchem np. poprzez akomodacyjną sygnalizację świetlną. Sygnalizacja ta charakteryzuje się zmienną, zależną od ruchu, strukturą, a poprzez odpowiednie funkcje, dane odczytane z detektorów oraz logikę sterowania, potrafi optymalnie przełączać poszczególne fazy [1, 2].

Program sterowania sygnalizacją akomodacyjną z reguły zależy od parametrów potoku ruchu odczytanych z detektorów. Detektory mogą zbierać takie dane jak [3]:

- odstępy czasowe pomiędzy pojazdami,
- stopień zajęcia pętli detektora,
- ilość przejeżdżających pojazdów,
- rodzaj przejeżdżającego pojazdu.

Następnie dane trafiają do sterownika gdzie są analizowane i przetwarzane na sygnał wyjściowy, czyli długość cyklu i faz sterowania sygnalizacją w określonym przedziale pomiędzy minimalnym a maksymalnym czasem wyświetlania sygnału zielonego dla danego sygnalizatora. Dzięki ciągłemu zbieraniu danych z detektorów i ciągłej ich analizie, adaptacja sterownika do zmiennego natężenia może następować w ciągu 1 sekundy, co gwarantuje dynamiczne dostosowywanie programu wyświetlania odpowiednich sygnałów. Akomodacyjna sygnalizacja świetlna, poza skracaniem bądź wydłużaniem określonych faz, umożliwia także pomijanie faz, na które nie było zapotrzebowania [1].

3. BADANY OBSZAR

Rondo Starołęka znajdujące się w Poznaniu jest jednym z najważniejszych węzłów komunikacyjnych ze względu na znaczenie krzyżujących się tam dróg krajowych 5 i 11 oraz trasy europejskiej E261. Węzeł ten należy także do II ramy komunikacyjnej miasta i łączy drogi prowadzące z południowej do północnej prawobrzeżnej części miasta oraz południowej przeprawy mostowej przez rzekę Warta. Dodatkowo skrzyżowanie pełni funkcję węzła przesiadkowego komunikacji tramwajowej. Na każdym z wlotów i wylotów ze skrzyżowania znajdują się przystanki tramwajowe. Torowiska znajdują się na pasach zieleni pomiędzy ulicami oraz na wyspie centralnej ronda, gdzie znajdują się rozjazdy. Ze względu na znaczące ilości pojazdów przejeżdżających przez to skrzyżowanie oraz ruchu tramwajowego (rys.1), sterowanie na nim odbywa się poprzez sygnalizację świetlną.

4. MODEL SKRZYŻOWANIA

4.1 System VISSIM

Do wykonania badań symulacyjnych wybrano system VISSIM firmy PTV. System ten umożliwia symulowanie ruchu miejskiego i działania komunikacji zbiorowej na poziomie mikroskopowym. Program umożliwia analizę warunków ruchowych uwzględniając: konfigurację pasów ruchu, strukturę rodzajową pojazdów, wpływ sygnalizacji świetlnej itp. [4]. Budowa układów dróg, chodników, torowisk opiera się na wstawianiu jednokierunkowych odcinków i łączeniu ich za pomocą konektorów. Takie podejście pozwala odwzorowywać praktycznie każdy układ drogowy, a także wpływa na efekty wizualne w późniejszym etapie prezentowania wyników. Kolejnym atutem VISSIM jest możliwość tworzenia różnego rodzaju sterowników sygnalizacji świetlnej, od stałoczasowych jednoprogramowych po akomodacyjne wykorzystujące zewnętrzne sterowniki. W trakcie symulacji dane zbierane z detektorów ruchu są następnie przekazywane do sterownika w celu ich analizy. Sygnałem wyjściowym ze sterownika jest określony stan sygnalizacji dla wszystkich grup sygnalizacyjnych. Dodatkowo system VISSIM pozwala na znakomitą wizualizację symulacji poprzez zastosowane w nim modele samochodów, tramwajów, pieszych, a także elementów statycznych takich jak drzewa, domy, sygnalizatory. Możliwe jest przełączanie widoku z dwu- do trójwymiarowego w celu lepszego zobrazowania przebiegu symulacji.

Modele ruchu zaimplementowane w systemie VISSIM są oparte na pracach Wiedemanna. Pierwszym z nich jest psychofizjologiczny model podążania. W modelu tym do ustalania prędkości pojazdów poruszających się w sieci wykorzystywane są progi percepcji kierowców. Po przekroczeniu takiego progu kierowca zaczyna zwalniać/przyspieszać, aby dostosować prędkość do pojazdu poprzedzającego [5]. Drugim modelem jest model zmiany pasa ruchu oparty na podejściu regułowym [6].

4.2 Układ drogowy

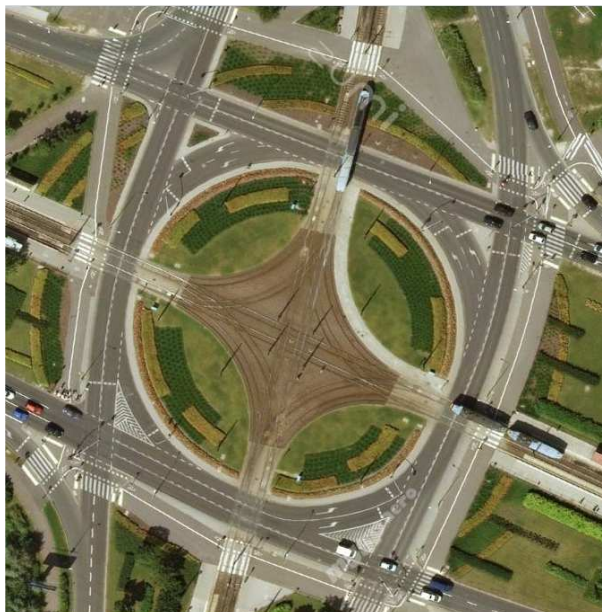
W celu odwzorowania istniejącego układu drogowego naniesiono odcinki i łączniki, które posiadają takie atrybuty jak dozwolona prędkość, ilość pasów, szerokość. Ważną kwestią podczas tworzenia dróg było odpowiednie łączenie odcinków za pomocą łączników. Wpływało to na późniejsze zachowanie się kierowców podczas pokonywania skrzyżowania.

W celu odwzorowania reguł pierwszeństwa przejazdu zastosowano tzw. pola kolizji w miejscach, gdzie odcinki i/lub łączniki krzyżują się, łączą się bądź rozdzielają. Użytkownik decyduje o tym, który kierujący w danej sytuacji ma pierwszeństwo. Dodatkowo użyto opcji definiowania zasady pierwszeństwa do odwzorowania procesu „przepuszczania się” tramwajów na wyspie centralnej.

4.3 Sygnalizacja świetlna

Sygnalizacja sterująca ruchem na Rondzie Starołęka posiada cztery podstawowe programy stałoczasowe, które uruchamiane są w zależności od dnia tygodnia oraz od pory dnia. Ze względu na ograniczone miejsce, odpowiednie programy sygnalizacji opisano w

pracy [7]². W celu zaimplementowania istniejącej sygnalizacji świetlnej na Rondzie Starołęka do tworzonego modelu symulacyjnego został użyty dodatek VISSIG. Odwzorowano wszystkie sygnalizatory, czasy wyświetlania odpowiednich sygnałów dla dwóch pór dnia: godziny popołudniowego szczytu (15⁰⁰ – 17⁰⁰) oraz godziny wieczorne (21⁰⁰ – 23⁰⁰), normalnego dnia tygodnia (środa).



Rys.1. Zdjęcie satelitarne Ronda Starołęka w Poznaniu

4.4 Pomiary natężenia ruchu

W celu odwzorowania natężeń ruchu, struktury rodzajowej i kierunkowej przejeżdżających pojazdów przez Rondo Starołęka wykonano statyczne pomiary terenowe natężeń ruchu. Zliczano pojawiające się pojazdy w przekroju drogi w jednostce czasu. Zliczano pojazdy, rozgraniczając je na osobowe (O) i ciężarowe (C), a także zanotowano strukturę kierunkową pojazdów (R – prawo, S – prosto, L – lewo, U – zawracanie) . Pomiary zostały wykonane w godzinach szczytu popołudniowego (tab.1) i w godzinach wieczornych (tab.2).

Po wykonaniu pomiarów przeanalizowano wyniki i określono strukturę rodzajową oraz wartości natężeń pojazdów na poszczególnych wlotach, potrzebne dla generatorów pojazdów oraz do określenia decyzji o wyborze trasy przejazdu przez kierowców.

Ruch tramwajowy został stworzony na podstawie rozkładów jazdy dostępnych na stronie internetowej przewoźnika.

² Stan na dzień 25 listopada 2010. Dnia 30 maja 2011 na skrzyżowaniu uruchomiono sterownik sygnalizacji akomodacyjnej firmy Peek Traffic.

Tab.1. Pomiary natężenia ruchu na skrzyżowaniu dla godzin popołudniowego szczytu

wlot	Starołęcka				Hetmańska (wsch.)				Zamenhofa				Hetmańska (zach.)			
kierunek	R	S	L	U	R	S	L	U	R	S	L	U	R	S	L	U
O	67	284	481	7	112	835	169	11	590	345	71	10	353	883	495	17
C	3	11	18	1	2	8	2	1	66	38	8	1	18	46	26	1
suma kierunku	70	295	499	8	114	843	171	12	656	383	79	11	371	929	521	18
suma wlotu	872				1140				1129				1839			

Tab.2. Pomiary natężenia ruchu na skrzyżowaniu dla godzin wieczornych

wlot	Starołęcka				Hetmańska (wsch.)				Zamenhofa				Hetmańska (zach.)			
kierunek	R	S	L	U	R	S	L	U	R	S	L	U	R	S	L	U
O	18	154	20	2	18	127	16	2	123	47	9	2	71	177	81	3
C	1	6	1	0	1	1	0	0	13	5	1	0	4	10	4	0
suma kierunku	19	160	21	2	19	128	16	2	136	52	10	2	75	187	85	3
suma wlotu	202				165				200				350			

5. PROJEKT AKOMODACYJNEJ SYGNALIZACJI ŚWIETLNEJ

Stworzenie akomodacyjnej sygnalizacji świetlnej dla każdego skrzyżowania to pracochłonny i skomplikowany proces. Do każdego przypadku należy podchodzić indywidualnie, jednak istnieje kilka ogólnych zasad projektowania sygnalizacji. Opracowując program sygnalizacji świetlnej należy określić liczbę zastosowanych programów, sposób przetwarzania aktualnego stanu ruchu oraz założyć:

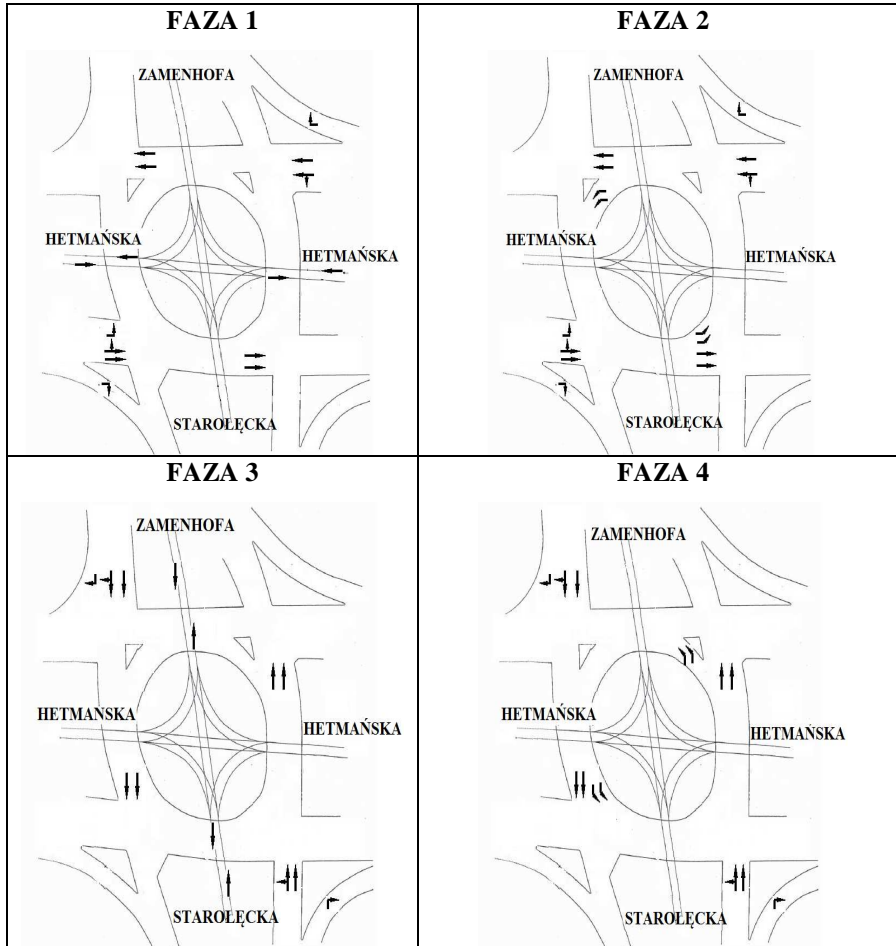
- czas trwania (zakres) każdej fazy,
- liczbę faz,
- funkcje przejścia pomiędzy fazami.

W przypadku Ronda Starołęcka projektowanie sygnalizacji podzielono na kilka zasadniczych etapów, w których określono w/w. wielkości.

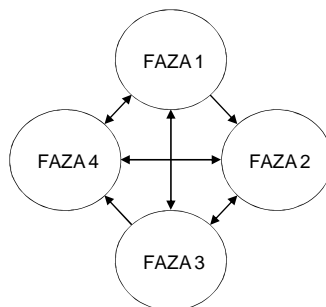
Pierwszym etapem była obserwacja organizacji ruchu na skrzyżowaniu, istniejącej na skrzyżowaniu sygnalizacji oraz materiałów otrzymanych z Zarządu Dróg Miejskich w Poznaniu. Dzięki przeprowadzonej analizie wstępnie określono fazy (rys.2) oraz algorytm działania sygnalizacji (rys.3).

Drugim krokiem tworzenia akomodacyjnej sygnalizacji świetlnej było rozlokowanie detektorów ruchu służących odczytywaniu stanu ruchu na skrzyżowaniu.

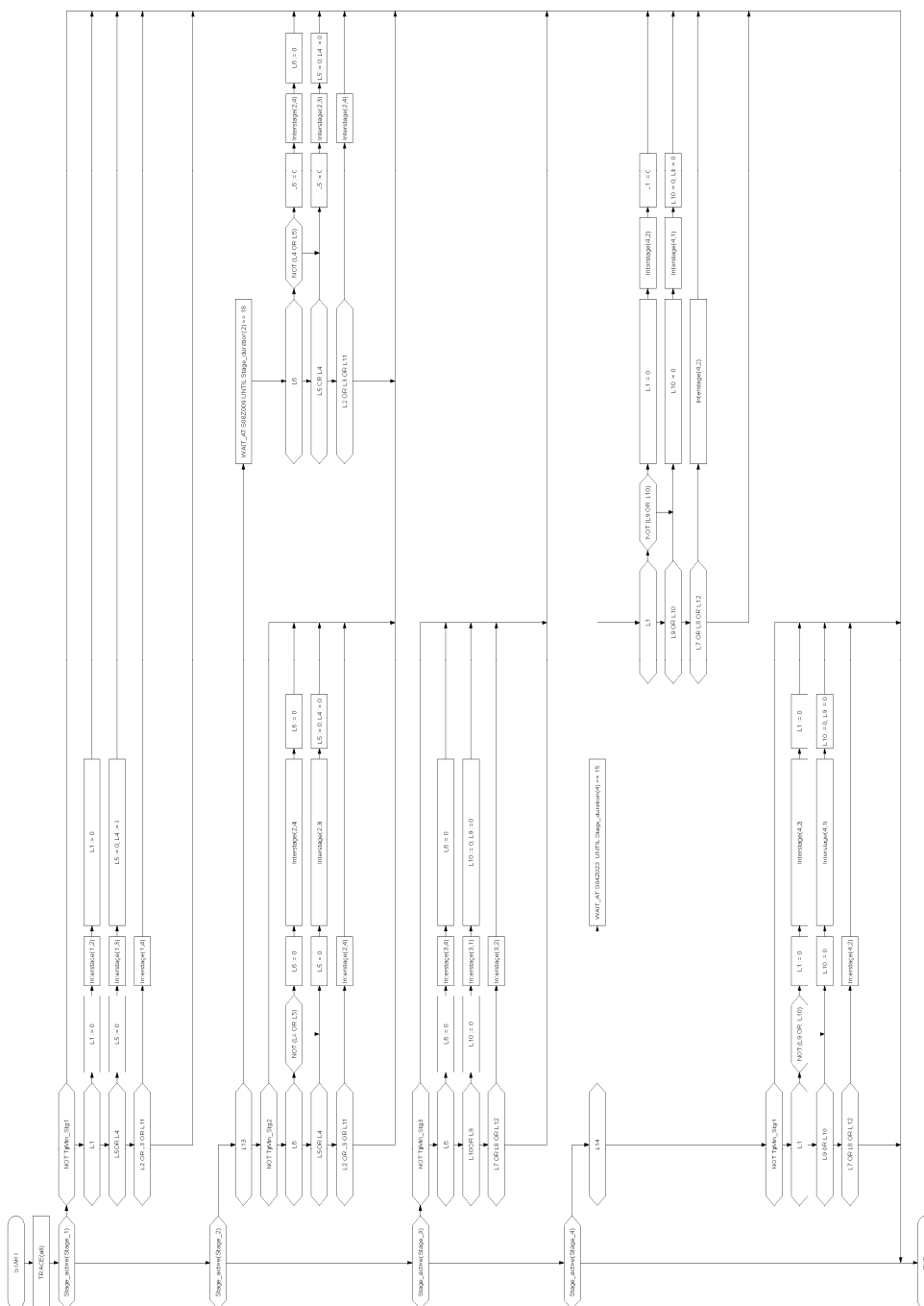
Trzecim etapem było określenie odpowiednich warunków logicznych (progów) dla aktywacji przejść pomiędzy poszczególnymi fazami sygnalizacji na podstawie danych odczytanych z detektorów ruchu. Efektem był algorytm sygnalizacji akomodacyjnej (rys.4), który zaimplementowano w module VisVAP.



Rys.2. Fazy akomodacyjnej sygnalizacji świetlnej dla Ronda Staroleśka



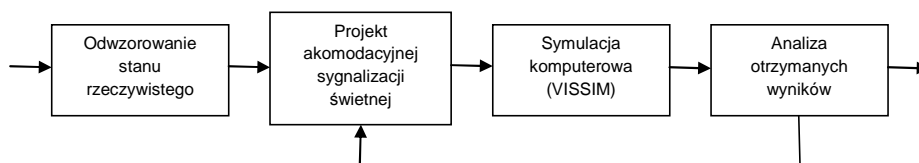
Rys.3. Schemat przełączania się faz sygnalizacji



Rys.4. Algorytm sterownika projektowanej akomodacyjnej sygnalizacji świetlnej

6. SYMULACJA I ANALIZA WYNIKÓW

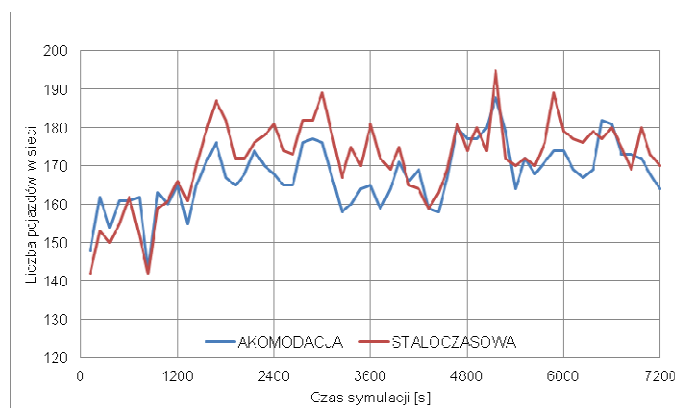
Tworząc cały projekt autorzy zastosowali metodę iteracyjną ze sprzężeniem zwrotnym (rys.5). W każdej iteracji przeprowadzana była symulacja dla określonych danych wejściowych (zaprojektowana sygnalizacja wraz z określonymi zmiennymi, układ drogowy oraz ruch drogowy). Dane, które zostały uzyskane po przeprowadzeniu symulacji, były analizowane i stanowiły podstawę do wprowadzania zmian i ulepszeń tworzonej sygnalizacji do kolejnej iteracji.



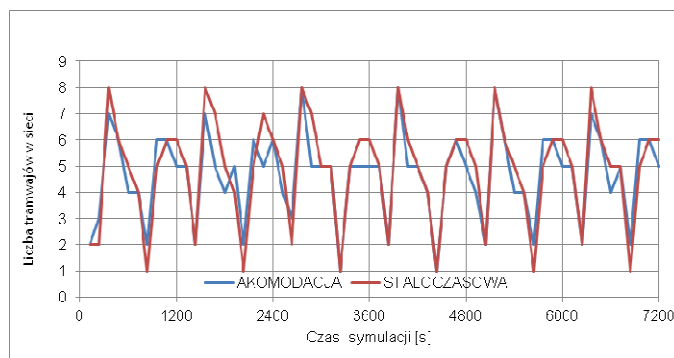
Rys.5. Schemat blokowy projektowania akomodacyjnej sygnalizacji świetlnej

Założono, że zostaną wykonane osobne symulacje dla istniejącej stałoczasowej sygnalizacji świetlnej oraz projektowanej akomodacyjnej. Dla każdego rozwiązania przeprowadzono 6 symulacji z różnymi liczbami inicjującymi generatory liczb losowych pojazdów pojawiających się w modelu. Dodatkowo założono czas symulacji 7200 sekund, rejestracja danych odbywała się co 120 sekund, osobno zbierano dane dla samochodów i tramwajów. Określono następujące wielkości jako podstawę do porównań: liczba pojazdów w sieci, długości kolejek na wlotach na skrzyżowanie oraz czas i średnia prędkość przejazdu przez Rondo Starołęka. Symulacje zostały przeprowadzone w dwóch porach dnia godziny popołudniowego szczytu oraz wieczorne. Ze względu na ograniczone miejsce referatu, przedstawiono wybrane wykresy z wynikami symulacji obu rozwiązań.

W badaniach wyniki symulacji porównywano korzystając z wykresów liczby pojazdów (rys.6) i tramwajów (rys.7) w sieci w funkcji czasu oraz ich uśrednione wartości (tab.3).



Rys.6. Liczba pojazdów w sieci w godzinach szczytu



Rys.7. Liczba tramwajów w sieci w godzinach wieczornych

Tab.3. Średnia liczba pojazdów w sieci podczas symulacji

Miara efektywności	Godziny szczytu		Godziny wieczorne	
	Sygnalizacja stałoczasowa	Sygnalizacja akomodacyjna	Sygnalizacja stałoczasowa	Sygnalizacja akomodacyjna
Samochody	172,40	166,99	27,07	27,46
Tramwaje	4,83	4,63	2,33	2,31

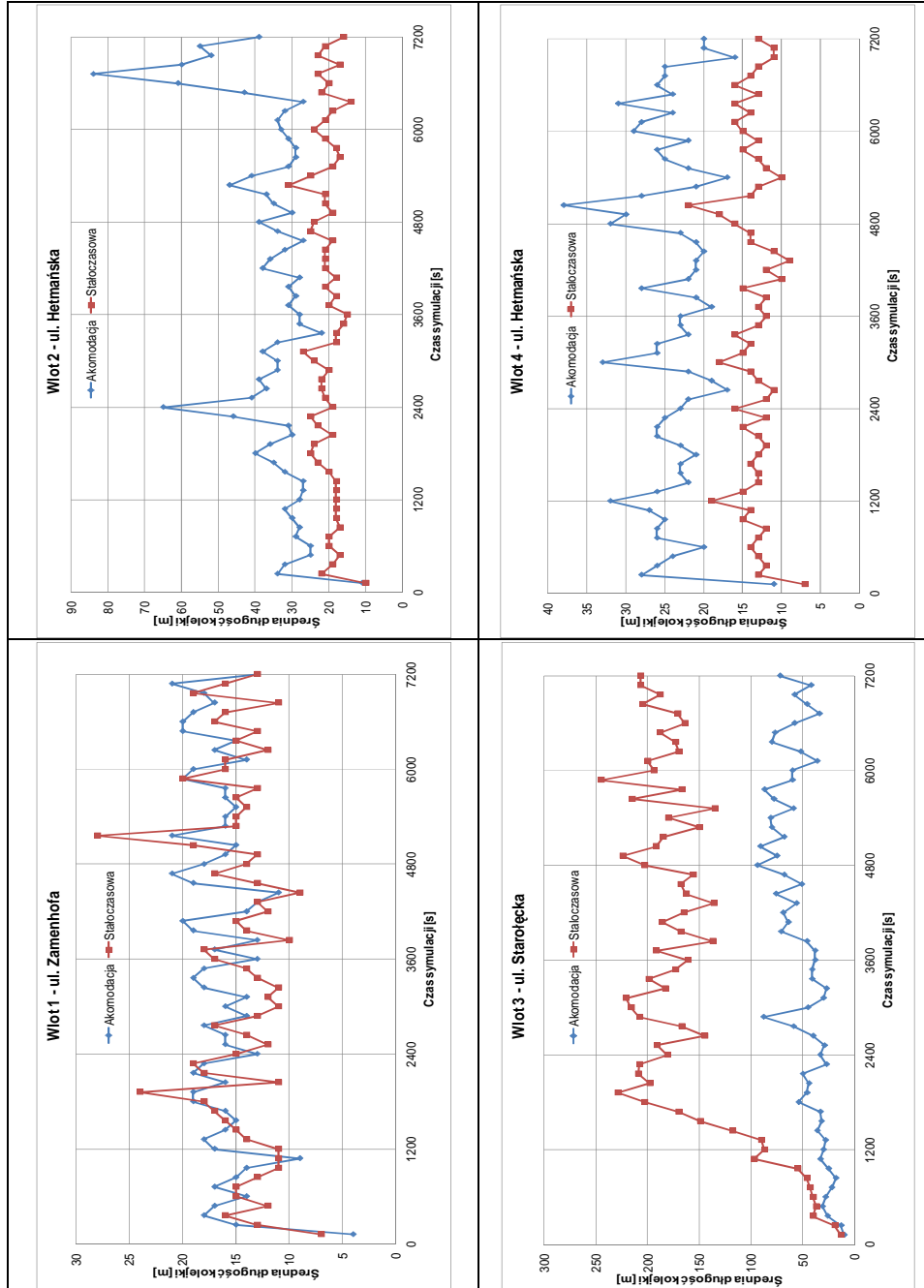
Kolejną porównywaną wielkością była długość kolejek pojazdów oczekujących przed skrzyżowaniem na przejazd. W artykule przedstawiono wykresy tylko dla godzin szczytu (rys.8), na których widać znaczące różnice pomiędzy sygnalizacjami. Dodatkowo przedstawiono wyniki w formie tabelarycznej (tab.4).

Tab.4. Średnie długości kolejek na wlotach na skrzyżowanie w godzinach szczytu

Miara efektywności	Godziny szczytu							
	Sygnalizacja stałoczasowa				Sygnalizacja akomodacyjna			
Nr wlotu	1	2	3	4	1	2	3	4
Średnia długość kolejki [m]	14,6	20,26	158,83	13,56	16,33	35,55	49,73	24,01

7. WNIOSKI

W projektowaniu sygnalizacji starano się uzyskać najlepszy kompromis pomiędzy ruchem drogowym a szynowym. Niestety polepszenie jednego systemu transportowego wiązało się z pogorszeniem drugiego. Dlatego odpowiednie wyskalowanie czasów wyświetlania grup sygnalizacyjnych, progów liczby wykrytych pojazdów, które wpływały na zmianę fazy, czy czasów oczekiwania pojazdów na wlotach, były kluczową sprawą. Dodatkową trudność stanowił fakt, że w badanym przypadku sygnalizacja stałoczasowa posiada kilka odrębnych programów wyświetlanych w zależności od pory dnia oraz dnia tygodnia, natomiast zaproponowana sygnalizacja akomodacyjna posiada tylko jeden program.



Rys.8. Średnie długości kolejek na wlotach na skrzyżowanie

Z wykresów i tabel można odczytać, że sygnalizacja akomodacyjna lepiej radziła sobie z napływającymi potokami ruchu dostosowując się do aktualnej sytuacji na skrzyżowaniu. Odzwierciedlają to wykres liczby pojazdów w sieci w funkcji czasu oraz wartość średnia dla całego okresu symulacji. Dzięki detekcji pojazdów i tramwajów możliwe było pomijanie niektórych faz, dzięki czemu unikano tzw. pustych faz, kiedy na rondzie nie poruszał się żaden pojazd, a powodujących niepotrzebne straty czasu u kierujących oczekujących na sygnał zielony. Najlepszym, a zarazem najbardziej widocznym przykładem poprawy sytuacji na skrzyżowaniu był wynik długości kolejki na wlocie od ul. Starołęckiej, która skróciła się prawie o 100 m. Dalszy rozwój lub modernizacja omawianego projektu może w przyszłości przynieść jeszcze lepsze rezultaty.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka*. WKŁ 2009
- [2] Tracz M., Allsop R.E.: *Skrzyżowania z sygnalizacją świetlną*. Warszawa 1990
- [3] Leśko M., Guzik J.: *Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu*. Gliwice 2000
- [4] *VISSIM 5.20 User Manual* (podręcznik użytkownika), 2009.
- [5] Wiedemann R.: *Simulation des Straßenverkehrsflusses*. Schriftenreihe des IfV (Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe), 8, 1974.
- [6] Wiedemann R.: *Modelling of RTI-Elements on multi-lane roads*. W: *Advanced Telematics in Road Transport*, Commission of the European Community, DG XIII, Brussels, 1991.
- [7] Piątkowski B.: *Projekt akomodacyjnej sygnalizacji świetlnej dla skrzyżowania Rondo Starołęka w Poznaniu*, praca magisterska, Poznań, Politechnika Poznańska, 2011.