

MIROSLAW CZERLIŃSKI

inż., Studenckie Koło Naukowe
Inżynierii Ruchu Drogowego,
Wydział Transportu, Politechnika
Warszawska

RAFAL RUŚĆ

inż., Studenckie Koło Naukowe
Inżynierii Ruchu Drogowego,
Wydział Transportu, Politechnika
Warszawska

JÓZEF SUDA

dr inż., opiekun Studenckiego
Koła Naukowego Inżynierii Ruchu
Drogowego, Wydział Transportu,
Politechnika Warszawska

Ocena efektywności działania priorytetów dla tramwajów realizowanych w systemie SPRINT/ITS/SCATS za pomocą narzędzia VISSIM¹

Streszczenie: W artykule przedstawiono ocenę efektywności działania priorytetów realizowanych w zintegrowanym systemie zarządzania ruchem SPRINT/ITS/SCATS wdrożonym w Bydgoszczy. Dla potrzeb analizy zrealizowany został model układu drogowego czterech skrzyżowań w ciągu ulicy Fordońskiej. We wstępie wymieniono dokładną lokalizację analizowanego układu drogowego oraz cel podjęcia tematu. Zdefiniowano również zakres przeprowadzonych badań i opisano wskaźnik efektywności. W głównej części artykułu przedstawiono szczegółowy opis każdego ze skrzyżowań znajdującego się na badanym odcinku układu drogowego. Następnie opisany został sposób sterowania w systemie SCATS, jak również sposób detekcji pojazdów transportu indywidualnego oraz zbiorowego. Dodatkowo omówiono sposób realizacji priorytetu dla pojazdów szynowych. Zdefiniowane zostały również cztery modele sterowania ruchem wybrane do porównania. Po wdrożeniu układu drogowego oraz zaimplementowaniu zdefiniowanych sposobów sterowania do badanego modelu, przeprowadzona została symulacja w programie PTV Vissim. Na jej podstawie uzyskane zostały wartości wskaźników oceniających efektywność wdrożonego rozwiązania. W podsumowaniu dokonano analizy wyników osiągniętych podczas przeprowadzonych symulacji. Dokonana została również analiza każdego z proponowanych rozwiązań priorytetu.

Słowa kluczowe: priorytet dla transportu miejskiego, SPRINT/ITS/SCATS, Vissim, model układu drogowego, modelowanie, system czasu rzeczywistego

Wprowadzenie

W 2015 roku zakończony został projekt systemu centralnego zarządzania ruchem i transportem publicznym pn. „Inteligentne systemy transportowe w Bydgoszczy”. Poprzez rozwój infrastruktury technicznej, poprawę organizacji ruchu na skrzyżowaniach oraz wdrożenie nowoczesnego inteligentnego systemu zarządzania ruchem SPRINT/ITS/SCATS osiągnięta została poprawa warunków ruchowych na sieci drogowej objętej systemem [6].

Uzyskany wynik miał wpływ na wzrost atrakcyjności transportu publicznego. Wdrożenie systemu zarządzania ruchem, który zawierał wprowadzenie priorytetu dla pojazdów transportu publicznego, umożliwiło skrócenie czasu podróży tramwajów na odcinkach objętych priorytetem średnio o 13% [1].

W celu weryfikacji osiągniętych wyników oraz porównania dostępnych dla operatorów strategii sterowania, postanowiono zbudować model fragmentu układu drogowego Bydgoszczy. Do badań wykorzystano mikroskopowy model symulacji ruchu Vissim firmy PTV z Karlsruhe [3]. Po zamodelowaniu układu drogowego wykonano eksperymenty symulacyjne umożliwiające ocenę działania systemu dla badanych strategii sterowania. Jako miernik oceniający efektywność działania priorytetu w badanych strategiach przyjęto wartość czasu oczekiwania przez pojazdy na sygnały zezwalające. Badaniu poddano ciąg skrzyżowań na odcinku ulicy Fordońskiej od skrzyżowania z ulicą Polanka do skrzyżowania z ulicą Fabryczną.

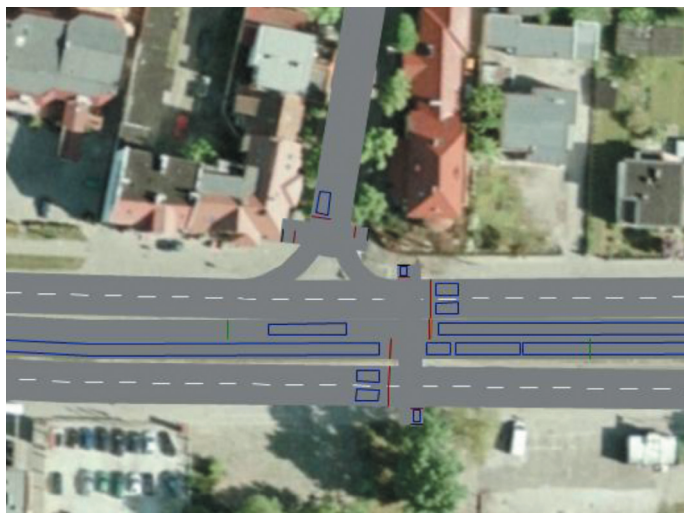
Model badanego ciągu ulic

Zamodelowano symulację ciągu ulicy Fordońskiej na odcinku między skrzyżowaniami z ulicami Polanka i Fabryczną. Ulica Fordońska jest fragmentem drogi krajowej nr 80, a rozważane skrzyżowania włączone są do pracy systemu ITS w Bydgoszczy. Trasa obsługuje ruch miejski i tranzytowy w relacjach wschód-zachód. Rozważany odcinek ulicy ma 1,5 kilometra długości. Szerokość pasa ruchu pojazdów przyjęto na 3,5 metra. Dwutorowe torowisko tramwajowe poprowadzone jest centralnie pomiędzy dwiema dwupasowymi jezdniami ulicy Fordońskiej. Na wybranym odcinku znajdują się 4 skrzyżowania z zainstalowaną sygnalizacją świetlną:

1. Skrzyżowanie ulic Fordońskiej z Polanka (numer ewidencyjny 15).
2. Skrzyżowanie ulic Fordońskiej z Bałtycką (numer 9).
3. Skrzyżowanie ulic Fordońskiej z Łęczycką i Kazimierza Wielkiego (numer 13).
4. Skrzyżowanie ulic Fordońskiej z Fabryczną i Oksywską (numer 10).

Ad.1. Skrzyżowanie typu T, z wlotem ulicy Polanka od strony północnej umożliwiającym włączenie się do ruchu tylko w północną jezdnię ulicy Fordońskiej. Obie jezdnie i torowisko ulic Fordońskiej przecina przejście dla pieszych. W rejonie skrzyżowania nie ma przystanków tramwajowych. Skrzyżowanie sterowane jest w dwóch fazach ruchu. Model skrzyżowania pokazano na rysunku 1.

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2016. Wkład autorów w publikację: M. Czerliński 40%, R. Ruść 40%, J. Suda 20%.



Rys. 1. Skrzyżowanie nr 1, ulic Fordońska – Polanka

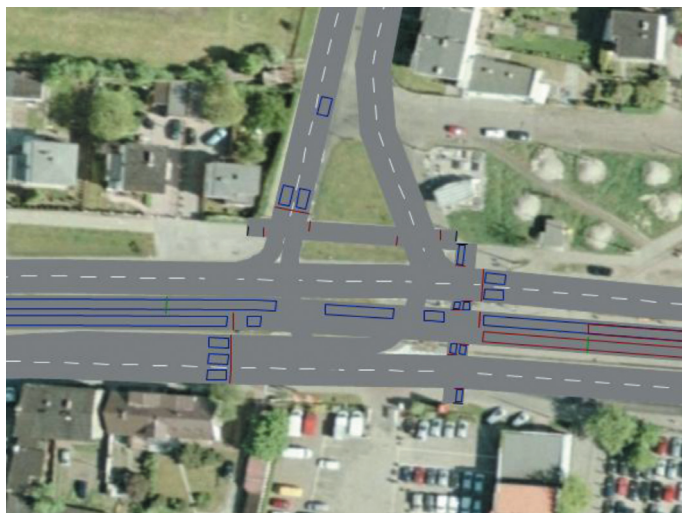
Ad.2. Skrzyżowanie typu T, z wlotem ulicy Bałtyckiej od strony północnej umożliwiającym wjazd na obie jezdnie ulicy Fordońskiej. Przejścia dla pieszych wyznaczone po stronie północnej i wschodniej tarczy skrzyżowania. Po wschodniej stronie skrzyżowania znajdują się przystanki tramwajowe obsługujące pasażerów w obu kierunkach oraz wjazd i wyjazd z pętli awaryjnej. Obecnie nie planuje się ruchu pasażerskiego wykonywanego z tej pętli, więc symulacja nie obejmuje modelu jej infrastruktury. Całe skrzyżowanie sterowane jest w 3 fazach ruchu. Model skrzyżowania pokazano na rysunku 2.

Ad.3. Skrzyżowanie typu X, z wlotem ulicy Łęczyckiej od strony północnej oraz ulicy Kazimierza Wielkiego od strony południowej. Przejścia dla pieszych wyznaczone po wszystkich stronach tarczy skrzyżowania. Przystanki tramwajowe zlokalizowano za skrzyżowaniem. Obiekt sterowany jest w 6 fazach ruchu. Model skrzyżowania pokazano na rysunku 3.

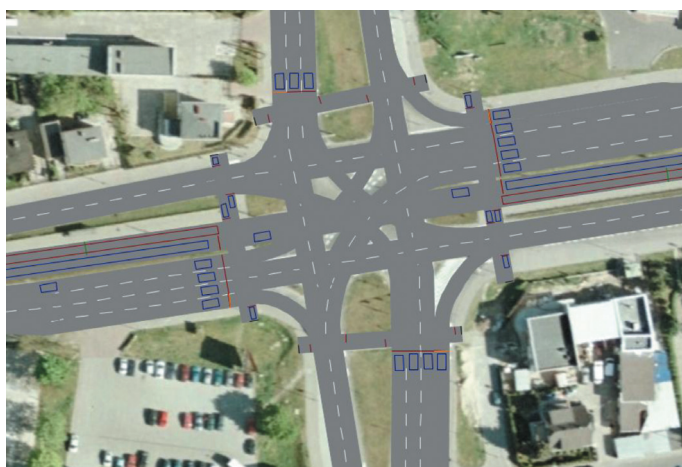
Ad. 4. Skrzyżowanie typu X. z wlotem ulicy Fabrycznej od strony północnej oraz ulicy Oksywskiej od strony południowej. Przejścia dla pieszych wyznaczone po wszystkich stronach tarczy skrzyżowania. Przystanki tramwajowe zlokalizowano za skrzyżowaniem. Obiekt sterowany jest w 4 fazach ruchu. Model skrzyżowania pokazano na rysunku 4.

Model symulacyjny

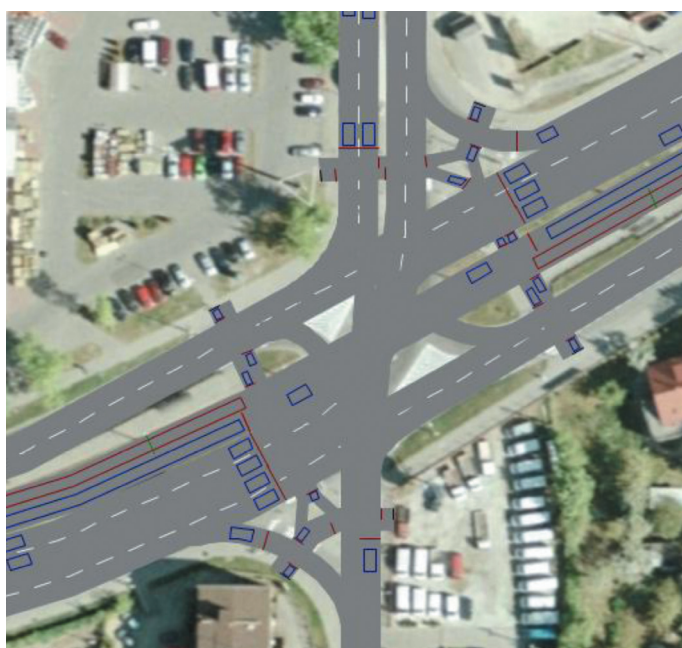
Wybrany ciąg ulicy zamodelowano w programie Vissim, umożliwiającym tworzenie mikrosymulacji ruchu na skrzyżowaniach i węzłach. W programie najpierw tworzony jest układ komunikacyjny, gdzie konfigurowane są pasy ruchu, struktura rodzajowa ruchu oraz struktura kierunkowa. Następnie dla stworzonej sieci implementuje się program sygnalizacji świetlnej, który pozwala obsłużyć zadany ruch. Program pozwala ocenić planowane rozwiązania inżynierii ruchu, opierając się na miarach efektywności takich jak: strata czasu, czas zatrzymań, czas przejazdu, prędkość średnia, liczba zatrzymań itd. [2]. Vissim pozwala modelować zarówno ruch pojazdów indywidualnych, jak i transportu publicznego (uwzględniając m.in. rozkład jazdy i postój na przystankach) oraz pieszych i rowerzystów [3].



Rys. 2. Skrzyżowanie nr 2, ulic Fordońska – Bałtycka



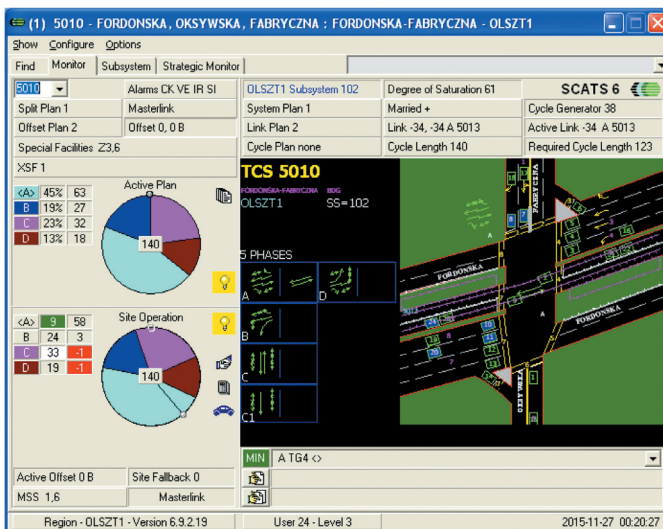
Rys. 3. Skrzyżowanie nr 3, ulic Fordońska – Łęczycka



Rys. 4. Skrzyżowanie 4, ulic Fordońska – Fabryczna

Dla wybranego ciągu przyjęto rzeczywiste wartości natężeń ruchu pojazdów wraz ze strukturą kierunkową rozplywu pojazdów, pomierzone dla godziny szczytu dnia powszedniego. Zachowania kierowców w symulacji oparto o zaimplementowany w programie Vissim algorytm podążania za liderem, bazujący na opracowaniu Wiedemanna dotyczącym uogólnionego psychofizycznego modelu interakcji pojazd-pojazd [4]. Powierzchnia rozważanego obszaru jest płaska, a ruch w Bydgoszczy nie ma żadnych specyficznych cech, które wymagałyby korekty wyżej zastosowanego algorytmu.

Sterowanie na skrzyżowaniach zaimplementowano w Obszarowym Systemie Sterowania Ruchem SCATS. System pracuje w czasie rzeczywistym, optymalizując pracę sygnalizacji świetlnych na skrzyżowaniach: gromadząc dane z detektorów co sekundę oraz dostosowując plan sterowania z cyklu na cykl. System może regulować czas cyklu, czasy trwania faz sygnalizacyjnych oraz offsetu pomiędzy skrzyżowaniami przy pracy w koordynacji. Sygnalizacje świetlne mogą pracować nie tylko w koordynowanym ciągu, ale również w obszarze. Koordynacja polega na ustalonych wartościach offsetu pomiędzy skrzyżowaniami oraz wspólnym czasie cyklu, który może być zmienny w zależności od ruchu na najbardziej obciążonym skrzyżowaniu. Parametrem decydującym o długości cyklu i podziale czasu cyklu na fazy (splicie) jest stopień nasycenia DS (Degree of Saturation) [5]. Na rysunku 5 pokazano podstawowe okno skrzyżowania w systemie.



Rys. 5. Widok skrzyżowania w systemie SCATS

Detekcja pojazdów w symulacji opiera się na wirtualnych obszarach detekcji zlokalizowanych przy linii zatrzymania w jezdniach oraz w torowisku. W rzeczywistości obszary detekcji odpowiadają pętlom indukcyjnym, wideodetekcji lub innym detektorom pojazdów. Wskazuje się jednak, że najlepszą pracę systemu detekcji samochodów w SCATS zapewniają pętle indukcyjne o długości od 2,5 do 4 metrów. Dodatkowo tramwaje mają wprowadzone obszary detekcji oddalone do 400 m od sygnalizatora danej grupy sygnałowej, które odpowiadają punktom meldunko-

wym priorytetu. Dla każdego z kierunków jazdy tramwaju ustalono sekwencję dwóch punktów meldujących oraz jednego odmeldowującego zgłoszenie priorytetu, czyli wjazd na tarczę skrzyżowania. Fizycznie meldunek priorytetu może odbywać się za pomocą radia krótkiego zasięgu współpracującego z autokomputerem lub typowej detekcji pojazdów, np. pętli indukcyjnych lub wideodetekcji.

Na zadanym ciągu grupy tramwajowe uruchamiane są w fazach głównych (A), wraz z obsługą równoległych grup kołowych i pieszych. Grupy tramwajowe uruchamiane są zawsze w cyklu i czas ich sygnału zezwalającego może być wydłużony zgodnie z ustalonym planem sygnalizacji świetlnej. Sygnał ten może natomiast być wydłużony w nieskończoność, gdy na skrzyżowaniu nie ma żadnych wzbudzeń grup kolizyjnych.

Strategie sterowania

Dla zadanego ciągu ulicy Fordońskiej opracowano 4 strategie sterowania:

1. Praca w systemowym trybie izolowanym każdego z 4 skrzyżowań.
2. Praca w systemowym trybie dwukierunkowej koordynacji na całym ciągu.
3. Praca w systemowym trybie dwukierunkowej koordynacji z zastosowaniem priorytetu dla tramwajów na poziomie średnim.
4. Praca w systemowym trybie dwukierunkowej koordynacji z zastosowaniem priorytetu dla tramwajów na poziomie wysokim.

Poniżej opisano sposoby sterowania w przyjętych strategiach.

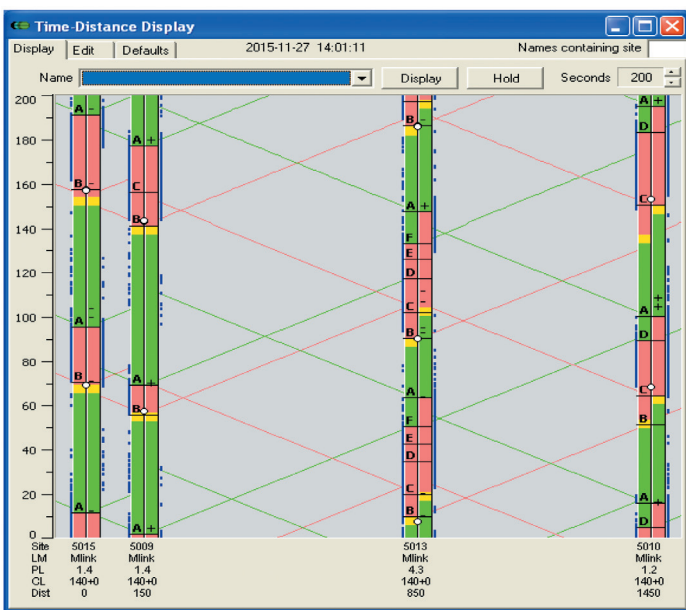
Ad. 1. Tryb izolowany uwzględnia pracę sygnalizacji na każdym skrzyżowaniu w cyklu odpowiadającym natężeniom ruchu na wlotach skrzyżowania. W efekcie każde ze skrzyżowań może pracować z inną wartością cyklu. W tym trybie priorytet dla tramwajów wyłączono. Przyjazd tramwaju wyłącznie zgłaszał zapotrzebowanie na fazę, a pojazd obsługiwany był zgodnie z bieżącym cyklem sygnalizacji świetlnej.

Ad. 2. Dwukierunkowa koordynacja uwzględnia pracę ze wspólnym czasem cyklu dla wszystkich skrzyżowań wzdłuż ciągu. Za wartość cyklu przyjmowana jest największa żądana wartość wynikająca ze stopnia nasycenia (DS) najbardziej obciążonego ruchem skrzyżowania. Koordynacja uwzględnia wiązki ruchu pojazdów samochodowych poruszających się w ciągu ulicy Fordońskiej. Wykres koordynacji dla zadanego ciągu przedstawiono na rysunku 6. W tym trybie priorytet dla tramwajów również wyłączono.

Ad. 3. W tym trybie uruchomiono priorytet na poziomie średnim przy zachowywaniu koordynacji dla pojazdów samochodowych. Priorytet na poziomie średnim był realizowany na dwa sposoby w zależności od momentu cyklu, w którym został zgłoszony. Reakcją na wywołanie priorytetu w fazie sprzyjającej grupom tramwajowym było wydłużanie czasu trwania tej fazy. W przypadku każdej innej fazy lub przejść międzyfazowych priorytet realizowany

był poprzez obsługę wszystkich żądanych faz w cyklu z minimalnym czasem trwania fazy i przejściem do obsługi fazy z tramwajem. Dla każdego ze skrzyżowań zdefiniowano maksymalny czas wydłużania fazy sprzyjającej tramwajowi, by zapobiec sytuacji, w której sygnał jest wydłużany, a pojazd szynowy nie ma możliwości opuszczenia skrzyżowania.

Ad. 4. Priorytet na poziomie wysokim, w przypadku zgłoszenia w fazie sprzyjającej tramwajowi, jest realizowany identycznie jak priorytet średni. Jednak w przypadku zgłoszenia w każdej innej fazie, po zgłoszeniu priorytetu następuje jak najszybsze zamknięcie bieżącej fazy (po spełnieniu czasu minimalnego) i bezpośrednie przejście do fazy sprzyjającej tramwajowi, z pominięciem innych faz w cyklu. Dla dużych skrzyżowań, np. z wyspą centralną, przed przejściem do fazy tramwajowej może wystąpić tzw. faza czyszcząca, opróżniająca obszary przejazdów przez torowiska, w których mogłyby akumulować się pojazdy. Podobnie jak przy priorytecie średnim, dla każdego ze skrzyżowań wprowadzono maksymalny czas wydłużania fazy sprzyjającej.



Rys. 6. Wykres koordynacji linowej badanego ciągu ulic

Symulacja ruchu w przyjętych strategiach

W celu oceny efektywności priorytetów przeprowadzono symulację ruchu dla każdego z typów sterowania. Przyjęto godzinny okres pracy symulacji, a pomiar rozpoczynano po 6 minutach, po napełnieniu sieci pojazdami. Zmierzono czasy zatrzymań pojazdów w sekundach, wynikające z oczekiwania na sygnał zezwalający sygnalizacji świetlnej. Na podstawie wyników pomiarów obliczono średni czas oczekiwania oraz odchylenie standardowe tego czasu używane przez tramwaje i pozostałe pojazdy. Pierwszy tryb pracy systemu przyjęto za wartość porównawczą w stosunku do pozostałych trybów. Na podstawie wyników określono procentową zmianę czasu oczekiwania. Końcowe zestawienie wyników przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Średni czas oczekiwania oraz odchylenie standardowe czasu oczekiwania przez pojazdy w poszczególnych strategiach pracy systemu				
Strategia sterowania w systemie	Skrzyżowania izolowane	Koordynacja bez priorytetu	Koordynacja z priorytetem średnim	Koordynacja z priorytetem wysokim
Średni czas oczekiwania przez tramwaj [s]	60,07	64,50	23,55	6,53
Odchylenie standardowe czasu oczekiwania przez tramwaj [s]	46,50	47,84	26,92	8,47
Zmiana czasu oczekiwania przez tramwaj w stosunku do trybu izolowanego [%]	0	+7,4	-60,8	-89,1
Zmiana odchylenia standardowego w stosunku do trybu izolowanego [%]	0	+2,9	-42,1	-81,8
Średni czas oczekiwania przez samochody [s]	80,30	68,37	67,90	69,10
Odchylenie standardowe czasu oczekiwania samochodów [s]	59,21	59,35	61,63	82,23
Zmiana czasu oczekiwania przez samochody w stosunku do trybu izolowanego [%]	0	-14,9	-15,4	-13,9
Zmiana odchylenia standardowego samochodów w stosunku do trybu izolowanego [%]	0	+0,2	+4,1	+38,9

Tabela 2

Liczba pojazdów obsłużonych w czasie trwania symulacji				
Tryb pracy systemu	Izolowany	Koordynowany bez priorytetu	Koordynowany z priorytetem średnim	Koordynowany z priorytetem wysokim
Pojazdy samochodowe	4685	4673	4721	4557
Tramwaje	27	26	28	28

Program Vissim w sposób losowy generuje pojazdy dla zadanych wartości natężeń. W tabeli 2 zestawiono sumę liczby pojazdów, które pojawiły się w strefie pomiaru. Maksymalna różnica między skrajnymi liczbami pojazdów samochodowych wynosi 3,6%, a dla tramwajów 7,7%. Na tej podstawie uznano wpływ liczby pojazdów na wyniki pomiarów przedstawionych w tabeli 1 za pomijalny.

Podsumowanie

Pomiar czasu oczekiwania w trybie systemowej pracy izolowanej stanowił punkt odniesienia dla pozostałych pomiarów. W przypadku tramwajów uzyskano wysoki średni czas oczekiwania 60 sekund. Jednocześnie wystąpiło duże rozproszenie wyników, o czym świadczy wysoka wartość odchylenia standardowego. Oznacza to, że w tym trybie obsługa tramwajów przez sygnalizację byłaby nieregularna i nie sprzyjałaby utrzymaniu punktualności względem rozkładu jazdy.

W strategii 2, przy pracy koordynowanej z priorytetem dla strumienia pojazdów samochodowych, nastąpił niewielki wzrost czasu oczekiwania tramwajów (+7,4%) oraz odchylenia standardowego (+2,9%) w stosunku do pracy izolowanej. Wzrost ten wynika z wydłużenia czasu długości cyklu dla koordynowanych skrzyżowań do wartości cyklu

żądanego przez najbardziej obciążone skrzyżowanie. Koordynacja nie sprzyja też tramwajom ze względu na lokalizację większości przystanków za skrzyżowaniami. Tramwaj po zatrzymaniu na przystanku traci udział w wiązce koordynacyjnej samochodów i w efekcie dojeżdża do następnego skrzyżowania pod koniec trwania fazy sprzyjającej. Niektóre tramwaje nie zdążyły przejechać w bieżącym cyklu przez kolejne skrzyżowanie i ostatecznie musiały oczekiwać cyklu.

Przy wprowadzeniu priorytetu na poziomie średnim średni czas oczekiwania tramwajów skrócono o ponad połowę (–60,8%). Przy priorytecie wysokim czas oczekiwania zmniejszył się o prawie 90%. Jednocześnie znacznie zmniejszyło się rozproszenie wyników, co oznacza, że priorytet zapewnia bardziej regularny ruch tramwajów, przyczyniając się do wzrostu punktualności. Dalsza redukcja czasu oczekiwania możliwa byłaby po zwiększeniu odległości punktów zgłoszenia priorytetu od kluczowych skrzyżowań, co wiąże się niestety z jeszcze większym pogorszeniem warunków ruchowych dla samochodów.

Mimo zastosowania priorytetu dla tramwajów, średni czas oczekiwania samochodów przy zachowywanej koordynacji (67–69 s) jest niższy niż przy pracy izolowanej skrzyżowań dla cyklu o długości 80 s. Wynika to z faktu, że największy strumień pojazdów porusza się w wiązce koordynacyjnej na kierunku głównym, a tramwaje obsługiwane są również w fazie głównej. Wzrost czasu oczekiwania na kierunkach podporządkowanych kompensowany jest więc przez jego spadek dla kierunku koordynowanego. Różnica w czasie oczekiwania pojazdów przy koordynacji, niezależnie od poziomu priorytetu, jest więc niewielka.

Maksymalna rozpiętość czasu to 1,2 s. Wpływ pojazdów oczekujących na wlotach podporządkowanych zauważalny jest jednak w znacznym wzroście odchylenia standardowego w trybie pracy z priorytetem wysokim, o 38,9% względem trybu izolowanego.

Uzyskane wyniki odpowiadają rzeczywistym rezultatom wdrożenia priorytetów dla tramwajów w Bydgoszczy. Ze względu na opisane powyżej zależności, na stałe wprowadzono w mieście priorytety systemowe na poziomie średnim. Pozwoliło to uprzywilejować transport publiczny, przy zachowaniu warunków ruchu dla samochodów na akceptowalnym poziomie. W efekcie wzrosła punktualność tramwajów, a także zmieniono rozkłady jazdy, w których skrócono czas podróży tramwajów na liniach poruszających się w obszarze ITS średnio o 10% [6].

Program Vissim zapewnia możliwość badania algorytmów sterowania realizowanych przez system zarządzania i sterowania ruchem SPRINT/ITS/SCATS. Pozwala to sprawdzić efektywność planowanego rozwiązania w kontrolowanym środowisku i ograniczyć możliwość wystąpienia niepożądanych efektów w rzeczywistości.

Temat oceny działania priorytetów dla tramwajów może być dalej rozwijany. Na podstawie uzyskanych strat czasu można oszacować łączną sumę strat dla kierowców i pasażerów w każdym trybie pracy systemu, co pozwoliłoby na dobór rozwiązania optymalnego. Analizowany

ciąg można podzielić na poszczególne skrzyżowania i zbadać efektywność priorytetów dla każdego z nich. Ponadto można podjąć próbę zbilansowania strat czasu dla pojazdów poruszających się na kierunku głównym oraz podporządkowanym.

Postowie od autorów

W I kwartale 2015 roku ukończono realizację projektu Inteligentne Systemy Transportowe w Bydgoszczy. Jednym z podsystemów centralnego systemu zarządzania ruchem i transportem publicznym był system sterowania ruchem obejmujący 52 skrzyżowania i przejścia z sygnalizacją świetlną, z czego 26 obsługujących ruch tramwajowy. Priorytet dla tramwajów udzielany jest na podstawie zgłoszeń pochodzących z nadajników radia krótkiego zasięgu zainstalowanych w pojazdach i przekazywanych do odbiorników umieszczonych w sterownikach sygnalizacji świetlnej. Łącznie w 80 wagonach zainstalowano nadajniki sygnału priorytetu.

Obecnie system jest rozszerzany o kolejne skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, znajdujące się na prawie 10-kilometrowej trasie tramwaju do Fordonu. Do pracy systemowej z priorytetem dla tramwajów włączonych zostanie 12 skrzyżowań. Dla uzyskania lepszych efektów pracy systemu sterowania dotyczącego transportu szynowego algorytm priorytetu rozszerzony zostanie o możliwość uruchomienia fazy obsługującej tramwaje po dowolnej fazie ruchu, z zapewnionym powrotem do fazy kolejnej w cyklu po zakończeniu obsługi zgłoszonego tramwaju. Wdrożenie priorytetu, według szacunków ZDMiKP Bydgoszcz, ma skrócić czas przejazdów tramwajów na nowej trasie o około 5 minut [7].

W aspekcie sprawdzenia efektów działania systemu w środowisku symulacyjnym Vissim możliwa więc będzie ocena działania zarówno modelu symulacyjnego, jak również strategii sterowania. Zrealizowany model symulacyjny nowej części sieci umożliwi porównanie uzyskanych wyników ze strategiami stosowanymi wcześniej, a także z wariantami wyłączono priorytetu.

Literatura

1. <http://zdmikp.bydgoszcz.pl/index.php/pl/inwestycje-i-projekty/2478-its-to-juz-sie-oplaca>, dostęp 2015.11.25 r.
2. PTV AG, PTV Vissim First Steps Tutorial, Karlsruhe, Niemcy, 2014.
3. PTV AG, PTV Vissim User Manual, Karlsruhe, Niemcy, 2014.
4. Wiedemann R., *Simulation des Straßenverkehrsflusses*, "Schriftenreihe des IfV", Vol. 8 (Institut für Verkehrswesen, University of Karlsruhe, Germany, 1974).
5. SCATS Region 6.9.2 User Manual, Strawberry Hills, Australia 2013
6. <http://zdmikp.bydgoszcz.pl/index.php/pl/aktualnosci-2/aktualnosci-komunikacja/2771-tramwaje-przyspiesza-i-zmienia-trasy-od-01-08-2015-r>, dostęp 2015.11.25 r.
7. <http://www.zdmikp.bydgoszcz.pl/index.php/pl/aktualnosci-2/aktualnosci-komunikacja/3389-tramwajem-jak-metrem-co-3-minuty>