

Numer czerwcowy TMiR poświęcony jest dobremu praktykom stosowanym w zarządzaniu systemem transportowym Krakowa, szczególnie w zakresie sterowania ruchem, w tym obszarowego, funkcjonowania transportu zbiorowego, w tym priorytetów w ruchu dla tramwajów i autobusów, wydzielonych pasów dla autobusów, monitoringu wjazdów do strefy ograniczonego ruchu oraz ruchu po wydzielonych pasach autobusowych. Autorami artykułów są praktycy współtworzący te innowacyjne rozwiązania. Krakowskie dobre praktyki będą przedmiotem ogólnopolskiego seminarium w dniu 21 czerwca 2013.

OBSZAROWY SYSTEM STEROWANIA RUCHEM I NADAWANIE PRIORYTETU DLA TRANSPORTU ZBIOROWEGO W KRAKOWIE¹

ŁUKASZ GRYGA

mgr inż., Zarząd Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie, Wydział Zarządzania Ruchem, ul. Centralna 53, 31-586 Kraków, e-mail: lgryga@zikit.krakow.pl

MICHAŁ WOJTASZEK

mgr inż., Zarząd Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie, Wydział Transportu, Zespół Nadzoru Transportu, ul. Centralna 53, 31-586 Kraków, e-mail: mwojtaszek@zikit.krakow.pl

GRZEGORZ FIRLEJCZYK

mgr inż., Zarząd Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie, Wydział Zarządzania Ruchem, Zespół Zarządzania Ruchem, ul. Centralna 53, 31-586 Kraków, e-mail: gfirlejczyk@zikit.krakow.pl

Streszczenie. Przedmiotem artykułu jest opis rozwoju Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem na ulicach Krakowa, a także nadawanie priorytetu pojazdom komunikacji miejskiej na sygnalizacjach świetlnych. Autorzy w pierwszej kolejności podjęli próbę zaprezentowania podstaw tworzenia dobrych programów sygnalizacyjnych, określonych na podstawie własnych doświadczeń zawodowych. Następnie, przedstawiony został pierwszy wdrożony w Krakowie Obszarowy System Sterowania Ruchu, zrealizowany w ramach projektu Krakowski Szybki Tramwaj. Zaprezentowano również pierwsze wnioski i efekty realizacji tego projektu. W dalszej kolejności autorzy omówili kolejny wdrożony system, powstały przy okazji budowy linii tramwajowej na Mały Płaszów. Na koniec tej części artykułu zawarto listę projektów związanych z rozszerzeniem posiadanych systemów sterowania ruchem zarówno o zadania aktualnie realizowane, jak i przewidziane do wykonania w najbliższym czasie.

W drugiej części artykułu autorzy skupili się na kwestii nadawania priorytetu dla pojazdów transportu zbiorowego. Przedstawiono podstawowe zasady realizacji priorytetu. Zaprezentowano przykłady zastosowania priorytetu na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną w Krakowie. W końcu omówiono najbardziej charakterystyczne problemy pojawiające się w momencie wdrożenia priorytetu dla komunikacji miejskiej.

Cały artykuł prezentuje pokaźną wiedzę dotyczącą funkcjonowania sygnalizacji świetlnych, tworzenia programów sygnalizacyjnych oraz wdrażania systemów sterowania ruchem, opartą przede wszystkim o doświadczenia autorów, realne sytuacje i problemy, z którymi się zetknęli.

Słowa kluczowe: transport pasażerski, transport zbiorowy, priorytet w ruchu, sterowanie ruchem

Wprowadzenie

Gdyby przeprowadzić ankietę wśród kierowców zawierającą pytanie o to, która sygnalizacja jest najlepsza, zapewne wielu z nich odpowiedziałoby, że ta, która działa w trybie światła żółtego migającego. Zasadą jest, że sygnalizacja

światła służy przede wszystkim poprawie bezpieczeństwa ruchu drogowego, a w drugiej kolejności zwiększeniu przepustowości relacji podporządkowanych. W związku z tym sygnalizacja w naszym kraju, a także poza jego granicami, często działa w sposób mało optymalny. W niektórych przypadkach funkcjonują programy sygnalizacyjne stałoczasowe stworzone jeszcze w latach osiemdziesiątych lub dziewięćdziesiątych, zupełnie nie dostosowane do obecnych warunków ruchu. Jeśli już któraś sygnalizacja wyposażona zostanie w elementy akomodacji, w wielu przypadkach nikt nie kontroluje jej działania, nie odtwarza uszkodzonych pętli indukcyjnych czy nie sprawdza stanu kamer wideodekacji. A już najgorszym podejściem jest stwierdzenie że „dobry program akomodacyjny da sobie radę ze wszystkim warunkami ruchu”. W rezultacie dla niektórych zarządzających ruchem lepszym rozwiązaniem jest wyłączenie sygnalizacji świetlnej, niż podjęcie próby poprawy jej działania.

W 2008 roku w Zarządzie Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie postanowiono podejść do tematu sygnalizacji świetlnych w sposób zupełnie inny niż dotychczas praktykowany. Głównym celem było nie tylko poprawienie przepustowości dla pojazdów na skrzyżowaniach, zwiększenie bezpieczeństwa czy wprowadzenie priorytetu dla tramwajów, ale przede wszystkim pokazanie, że sygnalizacja świetlna w głównej mierze ma służyć pomocą użytkownikom ulic, a nie stanowić dla nich dodatkowego problemu².

¹ © Transport Miejski i Regionalny, 2013. Wkład autorów w publikację: Ł. Gryga 34%, M. Wojtaszek 33%, G. Firlejczyk 33%.

² Również autorzy tego artykułu rozpoczęli wówczas pracę. Dziś po pięciu latach postanowili podzielić się wprowadzonymi rozwiązaniami i jednocześnie zdobytymi przy tym doświadczeniami.

Podstawy sterowania ruchem za pomocą sygnalizacji świetlnej

Obecnie stosowane technologie dają ogromne możliwości stworzenia programu sygnalizacji świetlnej, który będzie bardzo dobrze dostosowany do warunków ruchu, zapewniając przy tym bezpieczeństwo na odpowiednim poziomie. Na drodze do stworzenia optymalnie działającej sygnalizacji można wyróżnić następujące punkty:

- dostosowanie programów sygnalizacyjnych do zróżnicowanych warunków ruchu w ciągu dnia – na zdecydowanej większości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną warunki ruchu są zmienne w zależności od pory dnia. Wiadomo, że występują godziny szczytu, rano ludzie jadą w kierunku centrum, po południu wracają do domów, w nocy natomiast ruch jest znikomy. Dochodzą jeszcze pory dnia, w których mieszkańcy wybierają się na zakupy, w weekendy wyjeżdżają z miasta, a później wracają. W końcu występują przypadki sygnalizacji obsługujących dojazd do kościołów. Jak widać, liczba czynników mających wpływ na zmienność ruchu jest ogromna i w zdecydowanej większości przypadków trzeba stworzyć więcej niż jeden program sygnalizacyjny. Nawet przygotowanie kilku programów stałoczasowych może dać lepsze efekty, niż wykonanie jednego programu akomodacyjnego, który rzekomo poradzi sobie ze wszystkimi specyficznymi sytuacjami. Stąd w Krakowie podjęliśmy decyzję, że właściwie przy każdym opracowywaniu nowej dokumentacji sygnalizacji świetlnej wymagane jest stworzenie co najmniej czterech programów odpowiadających najbardziej podstawowym okresom dnia, takim jak szczyt poranny, międzyszczyt, szczyt popołudniowy czy noc. W niektórych lokalizacjach wymagane są również programy do obsługi zwiększonego ruchu związanego z obiektami takimi jak hipermarkety, kościoły, zakłady przemysłowe czy obiekty sportowe;
- sygnalizacja akomodacyjna – nawet najprostszy system detekcji, usytuowany tylko na wlocie podporządkowanym, może przynieść odczuwalne korzyści dla użytkowników. Należy przy tym pamiętać, że o detekcję trzeba nieustannie dbać. Niesprawna detekcja może bowiem generować większe problemy niż dobry program stałoczasowy. Drugim ważnym aspektem jest rozważne stosowanie detekcji. Jeżeli uruchomienie którejś grupy sygnalizacyjnej nie generuje znacznych strat czasu, należy ją załączyć, nawet jeśli detekcja nie wykazuje zgłoszenia. Przykładowo, w Krakowie w większości przypadków zrezygnowano ze stosowania detekcji na przejściach dla pieszych i przejazdach dla rowerów równoległych do głównego kierunku ruchu. Strat czasu z tego powodu nie ma wielkich, natomiast piesi i rowerzyści bardzo pozytywnie podchodzą do tego typu rozwiązań. Podobnie sytuacja wygląda z przejściami przez torowisko. Również uruchamiamy je zawsze. Takie zachowanie zwiększa zaufanie do wyświetlanych sygnałów dla pieszych i ogranicza zjawisko wchodzenia na czerwonym świetle, a wbrew pozorom może ułatwiać przydzielanie priorytetu tramwajowego.

- strategia sterowania – jeżeli już decydujemy się na zastosowanie sygnalizacji świetlnej, to ważne jest przyjęcie odpowiedniej strategii sterowania. Czy sygnalizacja będzie działać w trybie preferencji dla głównego kierunku, w trybie czerwonego światła na wszystkich kierunkach, czy może w trybie cyklicznym? Czy program będzie funkcjonował w trybie izolowanym, czy w koordynacji? Czy główna waga pracy sygnalizacji postawiona zostanie na maksymalną przepustowość ruchu, na priorytet dla komunikacji miejskiej, a może na zapewnienie najlepszych warunków dla pieszych? O tym trzeba zdecydować, projektując nowy program sygnalizacyjny. Przykłady zastosowania odpowiednich strategii sterowania zawarte zostały w dalszej części artykułu. W tym miejscu chcielibyśmy jedynie zaznaczyć, że w Krakowie starano się odchodzić od systemu sterowania opartego na pozostawianiu sygnalizacji w czerwonym świetle na wszystkich kierunkach, bardziej znanego jako „all red”. Uznaliśmy taki sposób sterowania za niebezpieczny. Kierowcy widząc sygnalizację zmieniającą się co chwilę ze światła czerwonego na zielone i z powrotem, przestają zwracać na nią uwagę. Myślenie w stylu: „zmieniło się na czerwone, nie będę hamował, bo na pewno zaraz powróci na zielone”, może mieć niestety tragiczne konsekwencje, jeśli program akomodacyjny w tym jednym szczególnym przypadku zdecyduje o obsłudze kierunku poprzecznego lub kolizyjnego przejścia dla pieszych;
- system sterowania ruchem – najwyższy punkt zaawansowania, jeśli chodzi o sygnalizacje świetlne, dający naprawdę wiele możliwości, ale również generujący sporo problemów. Wszelkie systemy ułatwiają prace, ale jednocześnie trzeba zawsze prowadzić większy nadzór nad ich działaniem. Podstawową możliwością, jaką dają, jest ciągły nadzór nad sygnalizacjami. Wiemy, które sygnalizacje działają, w jakim trybie, czy występują awarie itp. Mamy dostęp do historycznych zapisów funkcjonowania sygnalizacji. Drugą istotną możliwością systemów sterowania ruchem jest zastosowanie rozwiązań optymalizacyjnych, które mogą być dwojakiego rodzaju:
 - lokalne – wtedy sygnalizacje optymalizują swoją pracę wewnątrz pewnego obszaru na poziomie lokalnym (sterowniki łączą się ze sobą bezpośrednio, a nie z centralnym serwerem). Do centrali przesyłana jest ewentualnie informacja o aktualnym stanie pracy. Może istnieć dodatkowo możliwość zmiany trybu pracy z centrali;
 - centralne (takie jak MOTION czy BALANCE) – wówczas praca sygnalizacji optymalizowana jest poprzez serwer ruchu. Można zastosować systemy optymalizacyjne różnych firm, przy czym istotnym jest, aby następowała wymiana informacji o stanie pracy sygnalizacji świetlnych pomiędzy serwerami.

Optymalizacja systemowa umożliwia lepsze dostosowanie sygnalizacji do realnych warunków ruchu, w tym przede wszystkim sygnalizacji działających w koordynacji w ciągu lub na sieci skrzyżowań na podstawie danych o natężeniach

ruchu w danych relacjach, prędkości pojazdów oraz obecności kolejki. Optymalizacja może być realizowana w sposób prostszy poprzez wybór odpowiedniego, wcześniej przygotowanego, programu sygnalizacyjnego. Bardziej zaawansowane systemy sterowania same tworzą programy sygnalizacyjne na podstawie przygotowanych układów faz i przejść międzyfazowych, potrafią dostosowywać się do zmian ruchu na podstawie danych historycznych, a także reagować na nietypowe sytuacje czy nawet same realizować priorytet dla pojazdów komunikacji miejskiej.

Obszarowy System Sterowania Ruchem firmy Siemens w Krakowie

Dzięki budowie pierwszej linii Krakowskiego Szybkiego Tramwaju, w Krakowie podjęto decyzję o rozpoczęciu budowy Systemu Sterowania Ruchem. W 2005 roku Agencja Rozwoju Miasta podpisała umowę z konsorcjum firmy Siemens, złożonym z polskiego i niemieckiego oddziału, na realizację systemu w skład którego wchodzi dwa elementy:

- Systemu Sterowania Ruchem UTCS – odpowiedzialny za sterowanie sygnalizacjami świetlnymi oraz za nadzór nad ich prawidłowym funkcjonowaniem,
- Systemu Nadzoru Ruchu Tramwajowego TTSS – odpowiedzialny za nadzór nad ruchem tramwajów oraz za sterowanie tablicami informacji pasażerskiej.

System miał być gotowy w 2007 roku, ale z uwagi na opóźnione prace budowlane związane z przebudową rond Mogilskiego i Grzegórzeckiego, a także realizacją tunelu tramwajowego pod Dworcem Głównym, uruchomienie systemu przesunęło się o rok, a jego kalibracja prowadzona była aż do 2010 roku.

Podstawowym celem realizacji Systemu Sterowania Ruchem było przyspieszenie przejazdu pociągów tramwajowych w tak zwanym Korytarzu Szybkiego Tramwaju, czyli na trasie linii 50, prowadzącej z pętli na Kurdwanowie przez ulicę Wielicką, Starowiślną, Grzegórzecką, aleję Powstania Warszawskiego, tunel tramwajowy do pętli Krowodrza Górka. Drugim założeniem przy tworzeniu systemu było usprawnienie przejazdu dla ruchu indywidualnego przez ciąg drogowy od alei 29 Listopada, przez aleje Trzech Wieszców, ulice Konopnickiej, Kamińskiego do ulicy Wielickiej, jako swoistej rekompensaty dla kierowców wynikającej z przyznania priorytetu dla tramwajów w korytarzu KST.

W ramach realizacji Obszarowego Systemu Sterowania Ruchu w Krakowie wykonano następujące elementy:

- w siedzibie ZIKiT Kraków przy ulicy Centralnej powstało Centrum Sterowania Ruchem, wykorzystujące system Siemens Sitraffic Scala. W tej samej lokalizacji umieszczono również wszystkie serwery obsługujące system;
- dokonano wymiany 72 sterowników sygnalizacji świetlnej, zabudowując urządzenia sterujące firmy Siemens serii C800 i C900;
- dokonano niezbędnej modernizacji i dostosowania istniejących sygnalizacji świetlnej, a także zrealizowano nowe sygnalizacje umożliwiające nadanie priorytetu pociągom tramwajowym na skrzyżowaniach;

- zbudowano sieć połączeń złożonych ze światłowodów i kabli miedzianych, umożliwiającą podłączenie wszystkich elementów systemu do Centrum Sterowania Ruchem.

Wymienione 72 sterowniki sygnalizacji świetlnej podzielone zostały na 6 obszarów, wyróżnionych pod względem taktyki sterowania:

- Obszar 1 – aleje Trzech Wieszców (11 skrzyżowań) i aleja 29 Listopada (2 skrzyżowania) – w tym obszarze przewidziano pełną preferencję ruchu kołowego, za pomocą systemu optymalizacji sieciowej MOTION firmy Siemens. System ten automatycznie generuje programy sygnalizacyjne, dostosowując je do aktualnie panujących warunków ruchu w ciągu.
- Obszar 2 – Pierwsza Obwodnica (7 skrzyżowań) i rejon ulicy Lubicz, Mogilskiej, Lubomirskiego i alei Powstania Warszawskiego (7 skrzyżowań) – w pierwszym przypadku najważniejszy był priorytet dla komunikacji miejskiej, ograniczony wyłącznie priorytetem dla pieszych. W drugim przypadku głównym priorytetem były pojazdy z uwagi na równoległy przebieg linii tramwajowej po wydzielonym torowisku.
- Obszar 3 – ciąg ulic Dietla, Grzegórzeckiej i początek alei Pokoju (11 skrzyżowań) – jeden z najtrudniejszych ciągów, na którym starano się pogodzić priorytet dla komunikacji wraz z zapewnieniem koordynacji dla pojazdów. W ciągu ulicy Dietla działa ponadto system optymalizacji sieciowej MOTION, w tym przypadku pracujący w trybie automatycznego wyboru gotowych programów sygnalizacyjnych, w zależności od natężeń ruchu.
- Obszar 4 – Podgórze (6 sygnalizacji) – w tym obszarze zdecydowano się zastosować priorytet dla komunikacji zbiorowej, silniejszy na skrzyżowaniach w korytarzu KST i nieco słabszy na pozostałych skrzyżowaniach.
- Obszar 5 – ulice Wielicka, Kamińskiego, Nowosądecka i Witosa (22 sygnalizacje) – w przypadku prowadzenia trasy tramwajowej wzdłuż ciągów drogowych na sygnalizacjach świetlnych zastosowano pełny priorytet, w miejscach przecięcia się najważniejszych ciągów drogowych z linią tramwajową priorytet ograniczono, natomiast na ciągu drogowym ulicy Kamińskiego i częściowo na ulicy Wielickiej zastosowano automatyczną generację programów sygnalizacyjnych za pomocą systemu optymalizacji sieciowej MOTION w trybie generacji programów.
- Obszar 6 – Krowodrza (6 sygnalizacji) – zastosowano pełny priorytet dla pociągów tramwajowych na sygnalizacjach świetlnych.

Obecnie do systemu podpięte są sterowniki firmy Siemens z rodziny C800 (68 sterowników) i najnowszej C900 (2 sterowniki w ramach pierwotnego zamówienia i 12 w ramach budowy linii tramwajowej do pętli Czerwone Maki). Dwa sterowniki położone wzdłuż ulicy Klimeckiego zostały przełączone do drugiej centrali sterowania ruchem w ramach przebudowy ciągu drogowego wraz z budową linii tramwajowej. Wszystkie 82 sterowniki zostały podłączone kablem światłowodowym lub miedzianym do *access pointów*, a stamtąd do ser-

werów znajdujących się w centrum sterowania kablem optycznym. Serwery zajmują się obsługą skrzyżowań (nadzór, wybór programów, jednakże w przypadku braku połączenia z centrum sterowniki korzystają z programów dostępnych lokalnie). Do serwerów podpięte są również stacje klienckie, za pomocą których użytkownicy mają nadzór nad systemem.

System umożliwia:

- raportowanie sytuacji awaryjnych (awarie sprzętowe i programowe);
- wyświetlanie na bieżąco stanu sygnalizacji, wyświetlanych sygnałów i informacji z detektorów oraz podawanie informacji na temat telegramów dla transportu zbiorowego;
- zgrywanie i analizowanie pomiarów natężeń ruchu;
- zdalną zmianę programów sygnalizacji, z których korzystają sterowniki;
- tworzenie planu pracy dziennej (w zależności od dnia tygodnia) sygnalizacji świetlnych (wybór programu i sposobu sterowania zależny od pory dnia);
- nadawanie priorytetu dla transportu publicznego.

Wszystkie informacje systemowe, o awariach, jak i wyświetlane sygnały są automatycznie archiwizowane i mogą być później przeglądane.

Raportowanie awarii odbywa się poprzez:

- wyświetlenie wiadomości na stacjach roboczych,
- wysyłanie wiadomości e-mail, SMS itp. (zależy od konfiguracji).

Sygnalizacje porozumiewają się z centrum za pomocą protokołu OCIT-O ver. 1.1 – jest to rozwiązanie ustandaryzowane, a jego rozwój wspierany przez grupę producentów sterowników. Do systemu centralnego możliwe jest podłączenie 192 sterowników. Wymagana jest jedynie prawidłowa konfiguracja połączenia (po kablu światłowodowym w sieci LAN) oraz skonfigurowanie nowych skrzyżowań w systemie. Jeżeli sterownik wspiera protokół OCIT-O 1.1, możliwe jest jego podpięcie do systemu, przy czym udostępnione jest wtedy rejestrowanie aktualnego stanu pracy, sygnałów z wejść (np. detektory) i wyjść (np. wyświetlane sygnały na sygnalizatorach), jak i wydawanie rozkazów o przełączeniach programów, wyłączeniu sygnalizacji itp. Natomiast rozwiązania optymalizacyjne w postaci algorytmów sterowania (zależnych od warunków ruchu) muszą być implementowane indywidualnie dla każdego skrzyżowania poprzez zastosowanie odpowiednich funkcji dostępnych w oprogramowaniu producenta systemu.

W ramach wdrożenia systemu dostarczono także system optymalizacji sieciowej MOTION (Method for the Optimization of Traffic Signals In Online Controlled Networks). MOTION ma za zadanie, na podstawie zebranych informacji o ruchu, na bieżąco optymalizować programy sygnalizacji. Dostosowany jest sposób sterowania, długość sygnału zielonego dla poszczególnych kierunków i koordynacja z sąsiednimi skrzyżowaniami. Programy obliczane są automatycznie, co pewien interwał (standardowo 15 minut), na podstawie zebranych danych o ruchu (natężenie pojazdów, procent zajęcia

pętli, szacowana średnia prędkość kolejki). W rejonach, gdzie prowadzona jest optymalizacja, istotne jest posiadanie odpowiednich danych wejściowych o płynności ruchu. Dane te są zbierane z pętli indukcyjnych umieszczonych w pewnej odległości od linii zatrzymania (na głównym kierunku jest to ok. 40 m od linii zatrzymania). Pętle te są o rozmiarach 2 x 2 m, po jednej na każdym pasie ruchu: przed skrzyżowaniem (na wlotach), jak i za nim (na wylotach). Tylko w tym przypadku możemy uzyskać pełną informację o strukturze kierunkowej ruchu, a te informacje są konieczne do prawidłowej oceny, w których kierunkach porusza się najwięcej pojazdów. Dzięki temu algorytm sterujący może odpowiednio zareagować na sytuację na drodze.

System Nadzoru Ruchu Tramwajowego firmy Trapeze

Wraz z Obszarowym Systemem Sterowania Ruchu dostarczony został System Nadzoru Ruchu Tramwajowego TTSS (Tram Traffic Supervision System). System ten zaprojektowany został przez firmę Siemens VDO, która w wyniku różnych przekształceń własnościowych obecnie nosi nazwę Trapeze Switzerland GmbH i wciąż oferuje tego typu rozwiązania.

System Nadzoru Ruchu Tramwajowego w oryginalnej konfiguracji składał się z następujących elementów:

- autokomputery IBISPlus zamontowane w tramwajach (196 pociągów tramwajowych),
- serwery sterujące i koordynujące pracę systemu zainstalowanego w centrum sterowania ZIKiT,
- 44 tablice informacji pasażerskiej zamontowane na przystankach na pierwszej linii KST (po jednej na peron przystankowy oprócz peronów dla wysiadających na pętlach);
- dwie stacje dyspozytorskie umieszczone w siedzibie ZIKiT przy ulicy Centralnej i Głównej Dyspozytorskiej Ruchu MPK przy ulicy św. Wawrzyńca umożliwiające nadzór nad transportem zbiorowym,
- serwery i access-pointy w zajezdniach do komunikacji pomiędzy systemem a pojazdami.

Każdy z tramwajów podłączonych do systemu TTSS wyposażony został w autokomputer IBISPlus, składający się z następujących elementów:

- radio GPRS do komunikacji z serwerami,
- karta pamięci z bazą danych o rozkładach jazdy,
- odbiornik GPS do lokalizacji pozycji,
- radio analogowe do łączności ze sterownikami sygnalizacji świetlnej.

Dodatkowo w tramwajach w kabinie motorniczego znajdują się panele motorniczego, za pomocą których prowadzący pojazd ma możliwość korzystania z informacji zapisanych w komputerze. Motorniczy po zalogowaniu się i wyborze odpowiedniej linii i kursu w trakcie przejazdu po mieście na bieżąco ma wyświetlane informacje o następnych przystankach, przystanku końcowym i odchyłce od rozkładu jazdy.

W obrębie skrzyżowań objętych Systemem Sterowania Ruchem tramwaj, zbliżając się do skrzyżowania, wysyła telegram poprzez radio analogowe do sterownika sygnalizacji i sterownik przydziela światło zielone dla tramwaju. W przy-

padku większych skrzyżowań, o bardziej skomplikowanym algorytmie sterowania, może być wykorzystywanych kilka telegramów (wysyłanych w zależności od położenia od skrzyżowania lub innych zdarzeń jak zamykanie/otwieranie drzwi pojazdu). Pojazd po opuszczeniu skrzyżowania wysyła kolejny telegram z informacją, że opuścił skrzyżowanie i sygnalizacja świetlna wraca do normalnej pracy.

Wszystkie informacje o położeniu, odchyłce od rozkładu jazdy itp. są przesyłane do centrum, wyświetlane na ekranie stacji dyspozytorskich i zapisywane w archiwum. Informacje te mogą posłużyć do nadzoru nad transportem zbiorowym. Ponadto dane te są używane w celu wyświetlenia informacji o przewidywanych czasach odjazdu na tablicach informacji pasażerskiej znajdujących się na przystankach.

Efekty wdrożenia systemu

Wdrożenie Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem oraz Systemu Nadzoru Ruchu Tramwajowego, poza znaczącym ułatwieniem dla pracowników ZIKiT nadzorujących pracę sygnalizacji świetlnych, a także prowadzących tramwaje, którzy mają w końcu dokładną informację o odchyleniach od rozkładu jazdy, dało przede wszystkim wymierne skutki mieszkańcom Krakowa. Najlepszym wskaźnikiem efektywności wprowadzonych rozwiązań jest porównanie czasu przejazdu linii tramwajowej numer 50 na przestrzeni lat (tabela 1).

Tabela 1

Porównanie rozkładowego i rzeczywistego czasu przejazdu (mierzonego podczas przejazdów kontrolnych) linii nr 50 przed i po zwiększeniu priorytetu na sygnalizacjach świetlnych w korytarzu KST				
Data	Kurdwanów → Krowodrza Górka		Krowodrza Górka → Kurdwanów	
	Czas rozkładowy	Czas rzeczywisty	Czas rozkładowy	Czas rzeczywisty
grudzień 2008	42	–	42	–
czerwiec 2009	40	–	41	–
lipiec 2009	38	39:20	39	39:50
styczeń 2010	38	38:00	39	38:15
sierpień 2010	36	37:30	37	36:40
marzec 2011	36	37:35	37	37:15

W momencie uruchamiania systemu, rozkładowy czas przejazdu na trasie Kurdwanów–Krowodrza Górka w każdym z kierunków wynosił 42 minuty, natomiast rzeczywisty czas przejazdu często wynosił więcej. Po pół roku od rozpoczęcia prac optymalizacyjnych udało się skrócić czas przejazdu do 38 minut z Kurdwanowa na Krowodrzę oraz do 39 minut w przeciwną stronę. Po dalszych pracach, w wakacje 2010 roku, uzyskano czas przejazdu wynoszący odpowiednio 36 i 37 minut. W rezultacie, w wyniku wprowadzenia Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem czas przejazdu skrócił się o 15%. Jednocześnie uzyskano znacznie większą punktualność poruszających się pociągów tramwajowych, co również jest odczuwalnym pozytywnym efektem dla pasażerów.

Na uruchomieniu Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem zyskali również kierowcy pojazdów. Dobrze pokazują to badania przeprowadzone przez Biuro Inżynierii Transportu z Poznania, zarówno przed wdrożeniem Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem w ciągu alei Trzech Wieszców, jak i już po (tabele 2 i 3). Pomiary pokazują, że

Tabela 2

Porównanie średnich wartości czasu przejazdu, liczby zatrzymań i strat czasu na odcinku od alei 29 Listopada do ulicy Konopnickiej uzyskanych z pomiarów przed wprowadzeniem i po wprowadzeniu Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem w ciągu alei Trzech Wieszców			
Data	Czas przejazdu	Liczba zatrzymań	Straty czasu
27.04.2006	1359,63	21,00	716,13
17.03.2010	579,17	7,67	184,46
Porównanie wartości	42%	37%	26%

Tabela 3

Porównanie średnich wartości czasu przejazdu, liczby zatrzymań i strat czasu na odcinku od ulicy Konopnickiej do alei 29 Listopada uzyskanych z pomiarów przed wprowadzeniem i po wprowadzeniu Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem w ciągu alei Trzech Wieszców			
Data	Czas przejazdu	Liczba zatrzymań	Straty czasu
27.04.2006	799,00	12,63	278,63
17.03.2010	623,78	8,26	186,39
Porównanie wartości	78%	65%	67%

średni czasu przejazdu, liczba zatrzymań i straty czasu w obu kierunkach uległy zmniejszeniu i to znacznemu.

Obszarowy System Sterowania Ruchem firmy Gevas

Udane wdrożenie Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem skłoniło Zarząd Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie do rozwoju tego typu rozwiązań. Pierwszą okazją była realizowana w 2010 roku linia tramwajowa na Mały Płaszów, a także przebudowa i rozbudowa ciągu ulic Surzyckiego, Rybitwy, Botewa, Śliwiaka do powstającego fragmentu trasy S-7, będącej wschodnią obwodnicą Krakowa.

W celu zwiększenia konkurencji pomiędzy firmami dostarczającymi systemy sterowania ruchu, zdecydowano się na wybór systemu niemieckiej firmy Gevas software, która w odróżnieniu od firmy Siemens dostarcza jedynie oprogramowanie, opierając działanie systemu na sterownikach sygnalizacji świetlnej różnych producentów, spełniających odpowiednie wymagania w postaci implementacji autorskiej metody sterowania TRENDS i ustandaryzowanych protokołów komunikacyjnych (OCIT-O, OCIT-I lub OTS 2).

W ramach inwestycji zabudowanych zostało 14 sterowników sygnalizacji świetlnej FR93 firmy Vialis (model VTC-2011), z czego 8 sygnalizacji znalazło się w ciągu nowej trasy tramwajowej, natomiast 6 dalszych na ciągu drogowym. Dodatkowo w siedzibie ZIKiT zainstalowano serwery obsługujące system, które mają stałą łączność ze sterownikami dzięki sieci światłowodowej. W przypadku tego systemu nie postawiono dedykowanej stacji roboczej w Centrum Sterowania Ruchem. Dostęp do systemu możliwy jest bowiem z dowolnego komputera, posiadającego dostęp do Internetu poprzez sieć VPN, natomiast sama aplikacja operatorska posiada bardzo zbliżoną funkcjonalność do oprogramowania Siemens Sitraffic Scala.

Granica pomiędzy obszarami strategiami sterowania przebiega dokładnie w miejscu, w którym kończy się linia tramwajowa. Na pierwszym odcinku obejmującym 8 skrzyżowań, gdzie kursuje tramwaj, większe znaczenie ma priory-

tet tramwajowy, a dopiero później koordynacja głównego ciągu dla pojazdów. Na sześciu pozostałych skrzyżowaniach zastosowano już pełną koordynację głównego ciągu dla pojazdów.

Działanie systemu Gevas oparte jest na dwóch modułach: BALANCE i EPICS. Pierwszy z nich odpowiada za optymalizowanie pracy wszystkich sygnalizacji świetlnych znajdujących się w obszarze, w tym zapewnienie dynamicznej koordynacji, która dostosowywana jest do natężeń ruchu i rzeczywistej prędkości pojazdów. Moduł ten pilnuje również długości cyklu, a jego działanie jest globalne na cały obszar obejmujący koordynowany ciąg. EPICS natomiast odpowiedzialny jest za optymalizację sterowania lokalnego, poprzez minimalizację globalnych strat czasu na skrzyżowaniu. Jedną z jego funkcji jest nadawanie priorytetu pojazdom komunikacji miejskiej. Moduł ten może jednak reagować w zupełnie innych przypadkach, na przykład nadzwyczajnego przeciążenia któreś z relacji, rozładowując w ciągu kilku cykli kolejkę bez ingerencji operatora. Dzieje się to dzięki zastosowaniu algorytmu, który oblicza sumaryczne straty czasu dla wszystkich pojazdów. Każdy pojazd ma swoją wagę (pojazdy komunikacji publicznej odpowiednio większą), która mnożona jest przez jego straty czasu wynikające z oczekiwania na sygnał zielony. Algorytm ma za zadanie zminimalizować sumaryczne straty czasu, dlatego oblicza w każdej sekundzie program sygnalizacji świetlnej na następne 100 sekund. Dzięki takiemu rozwiązaniu sygnalizacje pracujące na systemie Gevas są pozornie łatwiejsze w oprogramowaniu. Inżynier ruchu nie musi bowiem tworzyć skomplikowanych algorytmów, sprawdzać zależności i przewidywać wszystkich możliwych sytuacji. Musi jedynie przypisać wagę odpowiednim rodzajom pojazdów oraz strumieniom ruchu. Wadą takiego systemu jest jednak syndrom „czarnej skrzynki”, to znaczy nie zawsze wiadomo, z jakiego powodu oprogramowanie sterownika sygnalizacji świetlnej wybrało akurat taki układ faz, często w odczuciu inżyniera ruchu mniej korzystny od założonego.

Podobnie jak w przypadku systemu Siemens, serwery zajmują się obsługą skrzyżowań (nadzór, wybór programów, jednakże w przypadku braku połączenia z centrum, sterowniki korzystają z programów dostępnych lokalnie). Wszystkie informacje systemowe o awariach, jak i wyświetlane sygnały i informacje z detektorów są automatycznie archiwizowane i mogą być później przeglądane.

Nowe elementy Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem obecnie wdrażane w Krakowie

Wdrożenie obu systemów nie obyło się bez komplikacji. Dużo wysiłku włożyli inżynierowie ruchu zarówno ze strony wykonawców, jak i przede wszystkim ze strony ZIKiT, aby zoptymalizować działanie poszczególnych sygnalizacji świetlnych. Jednak trudności nie zniechęciły pracowników ZIKiT do dalszego rozwoju Obszarowych Systemów Sterowania Ruchem. Obecnie na terenie Krakowa realizowane są cztery projekty, które znajdują się w różnym stopniu zaawansowania:

- Budowa linii tramwajowej, łączącej ulicę Brożka oraz Kampus UJ wraz z systemem sterowania ruchem i nadzoru – I etap: firma Siemens realizuje system obejmujący 12 sygnalizacji świetlnych, położonych wzdłuż nowej trasy tramwajowej. Główny nacisk położony ma być na priorytet dla pojazdów komunikacji miejskiej, natomiast nie zapomniano również o systemie dynamicznej koordynacji dla pojazdów. Projekt jest na ukończeniu, sygnalizacje pracują już w systemie sterowania ruchem, jednakże wykonawca ma czas do listopada 2013 roku na wdrożenie wszystkich elementów systemu w tym obszarze;
- Rozwój Systemu Zarządzania Transportu Publicznego w Krakowie: firma Kapsch wykorzystuje system Gevas do sterowania sygnalizacją świetlną na trzech obszarach. Pierwszy z nich obejmuje 10 sygnalizacji w ciągu ulic: Królewskiej, Podchorążych, Bronowickiej i Balickiej. Tu priorytetem ma być szybki przejazd pojazdów komunikacji miejskiej, jednakże pewne ułatwienia dla komunikacji indywidualnej też są przewidywane do wdrożenia. Drugi obszar obejmuje 11 sygnalizacji położonych wzdłuż alei Pokoju. Tu priorytetem będzie zarówno sprawny przejazd tramwajów, jak i zapewnienie koordynacji dla pojazdów. Trzeci obszar, to 5 sygnalizacji położonych w ciągu ulic Nowohuckiej i Saskiej. Tu podstawą będzie zapewnienie odpowiedniej koordynacji dla pojazdów. Projekt jest na etapie realizacji, natomiast wykonawca ma czas do połowy 2014 roku. W ramach tego projektu przewidziany jest również rozwój Systemu Nadzoru Ruchu Tramwajowego. Wyłoniony został już wykonawca na aktualizację i otwarcie oprogramowania, natomiast w chwili tworzenia tego artykułu trwał przetarg na dostawę między innymi ostatnich brakujących 30 komputerów pokładowych do tramwajów, 203 tablic informacji pasażerskiej dla niemalże wszystkich przystanków tramwajowych oraz 14 tablic LCD wyświetlających zbiorcze informacje o komunikacji miejskiej;
- Budowa linii tramwajowej, łączącej ulicę Brożka oraz Kampus UJ wraz z systemem sterowania ruchem i nadzoru – II etap: firma Siemens realizuje system obejmujący 22 sygnalizacje świetlne, położone w obszarze oddziaływania nowej trasy tramwajowej na Kampus UJ. W przypadku tego kontraktu wykonawca ma bardzo zróżnicowany zakres prac od prostego doposażenia sterownika, przez remonty sygnalizacji, po budowę nowych. Projekt jest w trakcie realizacji, natomiast wykonawca ma czas do końca 2013 roku na dostarczenie wszystkich elementów systemu;
- Przebudowa linii tramwajowej na odcinku Rondo Mogiłskie – alei Jana Pawła II – Plac Centralny wraz z systemem sterowania ruchem w Krakowie: obecnie jest to najnowszy kontrakt, w którym uwzględniono rozszerzenie Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem w mieście. Obejmować ma 15 sygnalizacji świetlnych położonych wzdłuż ulicy Mogiłskiej i alei Jana Pawła II. Priorytetem na tym ciągu ma być zapewnienie sprawnego przejazdu tramwajów, jak i koordynacji pojazdów. Wykonawca ma czas do końca 2014 roku, natomiast w chwili pisania tego artykułu nie była znana firma, która dostarczy elementy Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem.

Plany rozwoju Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem

Dotychczas w artykule przedstawione zostały projekty Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem zrealizowane lub będące w trakcie realizacji. Kraków ma jednak szerokie plany dalszego rozwoju tego typu rozwiązań. Wśród nich są sygnalizacje położone w ciągu następujących ulic: Kocmyrzowska, Igołomska, Opolska, Zakopiańska, Herberta–Tischnera, Wielicka. W przypadku dwóch pierwszych ulic, odpowiednie systemy miałyby być zrealizowane wraz z rozbudową ciągów drogowych i budową kilkunastu nowych sygnalizacji świetlnych. Natomiast w kwestii pozostałych ulic plan zakłada stopniowe podłączanie sygnalizacji do jednego z dwóch posiadanych systemów, wraz z rozwojem sieci światłowodowej. Wszystkie projekty, planowane, realizowane jak i już zakończone, były dofinansowane w znacznym stopniu ze środków unijnych. Wyjątkiem było jedynie pierwotne zamówienie firmy Siemens, nad którymi prace rozpoczęły się tuż po wejściu do Unii Europejskiej.

W planach jest również stworzenie Systemu Nadzoru Ruchu Autobusowego, działającego na podobnych zasadach jak system tramwajowy. W ramach ogłoszonego wiośnią 2013 roku przetargu na przewoźnika realizującego przewozy autobusowe na terenie Krakowa zawarto między innymi pewne zapisy umożliwiające stworzenie załączka takiego systemu.

Podstawy priorytetu dla transportu zbiorowego

W wielu publikacjach spotykamy się z hasłem konieczności nadawania pojazdom transportu zbiorowego priorytetu na sygnalizacjach świetlnych. Czym właściwie jest priorytet i czy w ogóle można stosować priorytet bezwzględny?

Priorytet na sygnalizacjach świetlnych jest rodzajem uprzywilejowania pojazdów komunikacji miejskiej względem innych użytkowników ruchu. Priorytet może mieć różne formy i zakres. Najbardziej podstawowym jest przedłużanie aktualnie trwającej fazy, w której może być obsłużony tramwaj, w przypadku jego zgłoszenia na odpowiednim detektorze. Nieco bardziej zaawansowany algorytm zakłada skracanie innych faz lub nawet pomijanie, aby maksymalnie skrócić czas oczekiwania pojazdu komunikacji miejskiej na zezwolenie na wjazd na skrzyżowanie. W algorytmie sygnalizacji świetlnej można również zastosować specjalne, dodatkowe fazy, które uruchamiane są tylko w przypadku zgłoszenia tramwaju lub autobusu. W końcu najbardziej zaawansowane programy sygnalizacji świetlnej są w stanie zapewnić przejazd bez zatrzymania przez sygnalizację świetlną dla niemal wszystkich pojazdów reprezentujących uprzywilejowaną grupę, obliczając przy tym czas dojazdu do skrzyżowania, tak aby zminimalizować straty dla innych użytkowników.

Czy w polskich warunkach można w ogóle mówić o bezwzględnym priorytecie dla pojazdów transportu zbiorowego na sygnalizacjach? Uważamy, że poza prostymi skrzyżowaniami i przejazdami tramwajowymi nie jest to możliwe do zrealizowania. Można mówić o tym, że program sygnalizacyjny dąży do osiągnięcia bezwzględnego priorytetu dla danej grupy pojazdów, ale nie ma możliwości, by w stu pro-

centach przypadków uprzywilejowany pojazd przejechał bez zatrzymania lub spowolnienia. Dla przykładu, jeżeli na skrzyżowaniu w krótkim czasie zgłosi się kilka uprzywilejowanych pojazdów, wówczas któryś z nich nie otrzyma bezwzględnego priorytetu, ponieważ okaże się, że trzeba obsłużyć któryś z kolizyjnych kierunków. Bierze się to z założenia, że należy dążyć do tego, aby cykl sygnalizacji świetlnej zamykał się w 120 sekundach, ponieważ dłuższe czasy oczekiwania skłaniają uczestników ruchu do ignorowania świateł czerwonych. Ponadto zapewnienie priorytetu bezwzględnego dla wszystkich pojazdów transportu zbiorowego, na skrzyżowaniach na których krzyżuje się kilka linii poruszających się względem siebie kolizyjnie, z przyczyn oczywistych jest niemożliwe, bo należałoby przydzielać priorytet jednym pojazdom transportu zbiorowego kosztem drugich. W takich przypadkach dąży się raczej do minimalizacji strat czasu dla tego typu pojazdów.

Niezwykle istotnym czynnikiem w nadawaniu priorytetu dla pojazdów transportu zbiorowego jest system detekcji, jaki jest stosowany na sygnalizacjach świetlnych. W artykule pozwoliliśmy sobie użyć podziału na detekcję bezkierunkową oraz detekcję kierunkową. Wspomniana kierunkowość decyduje o tym, jakie posiadamy możliwości w nadawaniu priorytetu na skrzyżowaniach. Do detekcji bezkierunkowej można zaliczyć pętle indukcyjne, wideodetekcję, detektory trakcyjne, radarowe czy mikrofalowe. Urządzenia te służą do wykrywania zbliżającego się pojazdu, natomiast nie dają informacji, w którym kierunku będzie się poruszał na najbliższym skrzyżowaniu, jeżeli dozwolony jest więcej niż jeden kierunek z danego pasa ruchu lub toru. Stąd taki system detekcji stosowany jest najczęściej na przejazdach tramwajowych, w służbach autobusowych, na skrzyżowaniach, na których ruch pojazdów uprzywilejowanych odbywa się tylko w jednym kierunku, a także jako detekcja awaryjna. Bardziej zaawansowane są systemy detekcji kierunkowej. Można tu zaliczyć przede wszystkim sygnał z ustawienia zwrotnicy, odbiorniki podczerwieni na sieci trakcyjnej, a przede wszystkim punkty meldunkowe wysyłane drogą radiową z komputerów pokładowych zainstalowanych w pojazdach. Takie systemy detekcji dostarczają sygnalizacji świetlnej nie tylko informację o zgłoszeniu się pojazdu, ale także o kierunku, w którym pojedzie na skrzyżowaniu. Dzięki temu można przydzielić mu światło we właściwą stronę bez zbędnego załączania innych kierunków.

Niezależnie od typu detekcji, drugim niezwykle istotnym czynnikiem jest miejsce jej lokalizacji. Sygnalizacja, niezależnie od tego, jak dobry będzie algorytm, potrzebuje czasu od kilku do nawet kilkudziesięciu sekund na załączenie odpowiedniej fazy dla priorytetowego kierunku. Oczywiście najlepszym przypadkiem jest taki, w którym pojazd zgłasza się w trakcie trwania fazy umożliwiającej przejazd bez zatrzymania. Wówczas po prostu następuje odpowiednie przedłużenie fazy. Jednakże w zdecydowanej większości mamy do czynienia z bardziej skomplikowanymi sytuacjami. Mniejszy problem stanowią grupy kołowe, których minimalny czas trwania wynosi najczęściej 5 sekund, natomiast czas ewakuacji niewiele więcej. Najtrudniejszym przypadkiem jest obsługa

przejeżdżać dla pieszych. Tu trzeba bowiem zapewnić minimalny czas trwania zielonego światła, 4 sekundy sygnału zielonego migającego, i w końcu ewentualny czas ewakuacji. Jeśli więc pojazd uprzywilejowany zgłosi się na sygnalizacji w momencie, w którym algorytm realizuje właśnie przejście międzyfazowe do fazy obsługującej przejście dla pieszych, obejmujące nie tylko torowisko, ale również na przykład po jednym pasie ruchu w każdym kierunku, do przyznania pionowej szczeliny dla tramwaju mogą minąć co najmniej 24 sekundy (10 sekund czas trwania dla przejścia o szerokości 14 metrów – dwa pasy ruchu plus torowisko, 4 sekundy sygnału zielonego migającego, 10 sekund czasu ewakuacji dla pieszych). Jeżeli założymy, że tramwaj porusza się ze średnią prędkością 40 km/h, czyli 11,11 m/s, to z prostych obliczeń wychodzi, że detekcja powinna się znaleźć na co najmniej 267 metrze. A trzeba jeszcze przecież uwzględnić czas reakcji prowadzącego tramwaj, aby nie był zmuszany rozpocząć hamowania w związku z brakiem pionowej szczeliny.

Należy również wspomnieć, że dobrą praktyką jest minimalizacja utrudnień dla innych uczestników ruchu, spowodowanych przez wprowadzenie priorytetu dla pojazdów komunikacji publicznej. Narzędzia do tego typu rozwiązań oferują systemy sterowania ruchem, które przez odpowiednie funkcje programistyczne (systemy Siemens), jak i specjalne algorytmy (wspomniany wcześniej EPICS dla systemu firmy Gevas) umożliwiają przyznawanie dodatkowego zielonego światła dla relacji, których kosztem udzielono priorytetu.

Uwagi dotyczące stosowania standardów sterowania w praktyce

Przy usprawnianiu sygnalizacji świetlnych w Krakowie wypracowane zostały pewne standardy sterowania w przypadku kilku typowych rodzajów skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Poniżej przedstawiamy je wraz z uwagami i spostrzeżeniami, do których doszliśmy w trakcie naszej pracy.

- Skrzyżowanie torowiska tramwajowego z przejazdem dla samochodów lub przejściem dla pieszych, czyli tak zwana „przejazdówka” – to najprostszy przykład skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, teoretycznie najłatwiejszy do zaprogramowania. Tramwaj powinien przejeżdżać przez takie skrzyżowanie właściwie bez zwolnienia. Niestety, w rzeczywistości sprawia najwięcej problemów. Główną kwestią jest zbyt blisko położona detekcja. Biorąc pod uwagę, że tramwaj powinien przejechać przez takie skrzyżowanie z pełną prędkością, zgłoszenie do sygnalizacji musi nastąpić co najmniej kilkaset metrów wcześniej. Tymczasem nie zawsze jest taka możliwość. W ramach prac znaleziono jednak pewne rozwiązanie, usprawniające przejazd. W algorytmie dodana została dodatkowa faza „all red”, której czas trwania wynosi dołącznie tyle, ile czas międzyzielony pomiędzy grupą tramwajową i grupami kolizyjnymi. Dzięki takiemu rozwiązaniu, jeśli sygnalizacja dla tramwaju wyłączy się w momencie jego zgłoszenia (typowa sytuacja: pierwszy tramwaj właśnie przejechał sygnalizację, natomiast z drugiej strony w tym samym momencie zgłosił się kolejny), wówczas sygnalizacja ma możliwość natychmia-

stowego powrotu do realizacji pionowej szczeliny dla tramwajów. Jeżeli nie ma drugiego tramwaju, sygnalizacja przechodzi do obsługi kolizyjnego kierunku z zachowaniem czasów międzyzielonych.

- Tradycyjne skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną i priorytetem dla tramwajów – w takim przypadku sytuacja często bywa najtrudniejsza. Aby zapewnić przejazd bez zatrzymania, stworzyć trzeba skomplikowany algorytm, często obejmujący wiele faz i przejść międzyfazowych. Dla przykładu program sygnalizacyjny na skrzyżowanie ulicy Bobrzyńskiego i Chmieleniec przy nowej trasie tramwajowej do pętli Czerwone Maki zakłada 15 faz i 95 przejść międzyfazowych, a i tak twórców algorytmu ograniczały możliwości oprogramowania sterownika sygnalizacji świetlnej. W zamian uzyskuje się jednak bardzo dobrze działające skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną, przez które tramwaje przejeżdżają bez zatrzymania, natomiast pozostali użytkownicy właściwie nie odczuwają skutków priorytetu. Łatwiejszym przypadkiem jest sytuacja, w której przystanki w rejonie skrzyżowania zlokalizowane zostały na wlotach. Wówczas można złagodzić priorytet i nie trzeba stosować dalekiej detekcji.
- Duże skrzyżowania z sygnalizacją świetlną i ułatwieniami dla tramwajów. Dochodzimy w końcu do skrzyżowań, na których ze względu na wielkość, liczbę relacji czy w końcu natężenia ruchu, nie ma możliwości stosowania pełnego priorytetu dla pojazdów tramwajowych. Po prostu jego realizacja wiązałaby się z paraliżem połowy miasta, w tym ważnych tras obwodnicowych. W takich przypadkach można jednak stosować wiele ułatwień dla tramwajów. Do najpopularniejszych należy przedłużanie fazy obsługującej tramwaje w przypadku ich zgłoszenia, a także dodanie dodatkowej fazy priorytetowej. Takie rozwiązanie zastosowano na przykład na skrzyżowaniu ulic Limanowskiego, Wielickiej, Powstańców Śląskich i Powstańców Wielkopolskich. Wzdłuż ulicy Wielickiej i Limanowskiego przebiega korytarz Krakowskiego Szybkiego Tramwaju, po którym porusza się w godzinach szczytu 39 pociągów tramwajowych na godzinę w jednym kierunku. Natomiast ulicą Powstańców Wielkopolskich od strony Nowohuckiej w ciągu godziny szczytu wyjeżdża 3200 pojazdów! Mimo takich natężeń, przejazd wszystkich użytkowników ruchu odbywa się w miarę sprawnie. Podwójne otwarcie kilka lat temu w sposób istotny poprawiło przejazd tramwajów przez aleję Mickiewicza na placu Inwalidów, nie paraliżując głównego kierunku. Takie sterowanie funkcjonuje również na przykład na rondzie Matecznego poza godzinami szczytu oraz w weekendy.
- Ronda turbinowe. Przed 2009 rokiem wydawało się, że nie można stworzyć programu sygnalizacyjnego na rondo turbinowe, który zapewniłby dobre warunki ruchu dla wszystkich użytkowników, w tym również dla tramwajów. Program sygnalizacyjny działający od kilku lat na przebudowanym rondzie Kocmyrzowskim w sposób zdecydowany promował pojazdy kosztem tramwajów, które niejednokrotnie przejeżdżały przez to skrzyżowanie na

dwa razy (na wprost!). Podobnie rzecz się miała po uruchomieniu sygnalizacji świetlnej na przebudowanym rondzie Grzegórzeckim, również będącym rondem turbinyowym. Mimo to udało się. Kluczem do sukcesu było przede wszystkim skrócenie programów sygnalizacyjnych. Optymalną długością cyklu na takich skrzyżowaniach jest 75 sekund, w godzinach szczytu wydłużane do 90 sekund z uwagi na zachowanie przepustowości dla pojazdów, natomiast w nocy skracane do 60 sekund. Zastosowanie takich wartości pozwala znaleźć równowagę zapewniającą przejazd tramwajów przez skrzyżowanie niemal bez zatrzymania lub z jednym postojem trwającym kilkadziesiąt sekund, dobre warunki ruchu dla pojazdów, a także możliwość przejścia dla pieszych. Przy tworzeniu algorytmów na takie skrzyżowania stosuje się specyficzne podejście, tak zwane skrzyżowania częściowe. Nie projektuje się układu faz na całe skrzyżowania, ale na małe skrzyżowania będące każdym z wlotów ronda. W rezultacie uzyskuje się cztery małe układy faz, zawierające po 4–5 faz i kilkanaście przejść międzyczasowych. Aby wszystko to działało prawidłowo, możliwość załączania się poszczególnych faz obejmuje się tak zwanym planem ramowym, służącym do tworzenia programów koordynowanych, posiadających stałą długość cyklu. W przypadku rond turbinowych koordynujemy ze sobą cztery małe skrzyżowania częściowe.

Priorytet bez Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem

Wdrożenie Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem nie jest warunkiem koniecznym do stworzenia koordynacji dla pojazdów na danym ciągu, współdziałającej z priorytetem dla tramwajów. Dobrym przykładem jest tu rozwiązanie wdrożone w 2011 roku na czterech skrzyżowaniach w ciągu alei Pokoju, od ulicy Fabrycznej do wjazdu do CH Plaża. Zrealizowano tu bowiem dwukierunkową koordynację dla pojazdów wraz z pełnym priorytetem dla tramwajów. Działanie poszczególnych programów sygnalizacyjnych oparto na standardowej detekcji oraz kablach koordynacyjnych, którymi połączono wszystkie sterowniki. Oczywiście taka koordynacja znacznie gorzej funkcjonuje przy zmiennych, innych od założonych, warunków ruchu oraz gorszej pogodzie, gdy kierowcy poruszają się wolniej, niemniej rozwiązanie to w dużym stopniu sprawdziło się i cieszy się uznaniem użytkowników.

Wnioski i problemy z wprowadzania priorytetów

Wraz z wdrażaniem priorytetu dla pojazdów transportu zbiorowego na kolejnych ciągach ujawniały się pewne problemy, o których chcielibyśmy wspomnieć.

„– To śmieszne, że tramwaj przemierza ten odcinek w 7 minut z przystankami na trasie, o wiele szybciej niż auto – mówi Anna Omar”. Zacytowane zdanie pochodzi z artykułu *Chcą zielonej fali dla aut*, opublikowanego w dniu 2 kwietnia 2013 roku na łamach „Dziennika Polskiego”. Komentarz ten dotyczy nowej trasy tramwajowej do pętli Czerwone Maki, natomiast autorce nie podoba się, że odcinek ten można pokonać szybciej tramwajem niż własnym pojazdem. Jest to jednocześnie najlepsza recenzja pracy osób zajmujących

się wdrażaniem priorytetów dla transportu zbiorowego. Niemniej bardzo często spotykamy się z sytuacją, że kierowcy pojazdów jak najbardziej popierają rozszerzenie priorytetu dla tramwajów, pod warunkiem, że będzie on realizowany na skrzyżowaniach leżących daleko od trasy, którą codziennie poruszają się swoimi samochodami. Krytyka społeczna jest największym wrogiem takich rozwiązań. Wielu ludzi nie może zrozumieć, dlaczego tramwaj zabierający 200 pasażerów ma mieć pierwszeństwo przed 200 samochodami wiozącymi często jedną osobę.

Często szereg problemów z realizacją priorytetu generują same tramwaje. Niezwykle trudno na przykład zrobić skuteczny priorytet dla sygnalizacji świetlnej, jeżeli tramwaje przyjeżdżają na skrzyżowanie grupami. Biorąc pod uwagę, że w tym samym czasie trzeba przeważnie obsłużyć któryś kolizyjny kierunek, praktycznie zawsze drugi i następny tramwaj w kolejce będzie zmuszony odczekać chociaż kilkanaście sekund na pionową szczelinę. Równocześnie kolizyjne kierunki mają przydzielony sygnał zielony przez minimalnie możliwy czas. Innym problemem są próby niwelacji nadśpieszenia przez prowadzących właśnie na sygnalizacji świetlnej lub też przepuszczanie innego, opóźnionego tramwaju. Całe skrzyżowanie jest wówczas blokowane nawet na kilkadziesiąt sekund, a prowadzący i tak nie wykorzystuje pionowej szczeliny czekającej cierpliwie na przejazd tramwaju. Takie zachowania generują straty czasu dla wszystkich użytkowników i jednocześnie dają poważne argumenty przeciwnikom stosowania priorytetu dla pojazdów komunikacji miejskiej.

Także źle zaprojektowana infrastruktura komunikacyjna stanowi poważny problem przy realizacji priorytetu. Przykładowo – zbyt krótkie przystanki znajdujące się na wylotach skrzyżowania w wielu przypadkach uniemożliwiają skorzystanie z pionowej szczeliny przez kolejny tramwaj, ponieważ po prostu nie zmieści się on na przystanku za przejazdem. Innym przykładem są zbyt krótkie tory na łukach na środku wysp centralnych lub na wlotach do skrzyżowań, gdzie tramwaj skręcający, załóżmy w prawo, wcześniej zajmuje sobie swój tor. Niestety, są przypadki, że pociąg złożony z trzech wagonów 105Na już się na takim torze nie mieści w całości i fragment ostatniego wagonu skutecznie blokuje relację na wprost i w lewo.

Podsumowanie

Tematyka funkcjonowania sygnalizacji świetlnej, systemów sterowania ruchem, a także priorytetu dla pojazdów transportu zbiorowego jest niezwykle interesująca i rozbudowana. Autorzy chcieli zaprezentować najbardziej podstawowe zasady i spostrzeżenia dotyczące tego tematu, zauważone i wypracowane w ciągu pięciu lat pracy w Zarządzie Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie. Jednocześnie przedstawione zostały osiągnięcia Krakowa w dziedzinie nowoczesnego sterowania ruchem i rozwoju systemów sterowania, realizowane projekty, a także plany na bliską przyszłość. Obecnie dostępna w Polsce technologia, a także możliwość pozyskania funduszy ze środków Unii Europejskiej daje ogromne możliwości rozwoju tego typu rozwiązań.