

Sterowanie ruchem w obszarze śluz autobusowych na przykładzie Gdyni¹

JACEK OSKARBSKI

dr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej, 80-233 Gdańsk; ul. Narutowicza 11/12.
Tel. +48 604-475-876,
Email: joskar@pg.gda.pl

MICHAŁ MISZEWSKI

mgr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej, 80-233 Gdańsk; ul. Narutowicza 11/12.
Tel. +48 58 347-22-96,
Email: michal.miszewski@pg.gda.pl

KAROL ŻARSKI

mgr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej, 80-233 Gdańsk; ul. Narutowicza 11/12.
Tel. +48 58 347-22-96,
Email: karol.zarski@pg.gda.pl

Streszczenie. W miastach coraz częściej wprowadza się różne środki uprzywilejowania transportu zbiorowego. Jednym z takich rozwiązań są śluzы autobusowe, które zazwyczaj połączone są z wydzielonymi pasami dla pojazdów transportu zbiorowego oraz dedykowaną sygnalizacją świetlną. Głównym celem artykułu jest przedstawienie aktualnie funkcjonujących przykładów sterowania ruchem na śluzach oraz wskazanie wad i zalet tych rozwiązań. Zaproponowano ponadto metodę szacowania strat czasu na przykładzie jednej ze śluz w oparciu o dane z systemu zarządzania ruchem TRISTAR. Na podstawie analizy wyników badań wskazano dodatkowe obszary problemowe związane z zachowaniami kierowców pojazdów transportu zbiorowego. W końcowej części zestawiono główne charakterystyki związane ze specyfiką śluz i wskazano dalsze kierunki badań.

Słowa kluczowe: sterowanie ruchem, priorytety dla transportu zbiorowego, śluzы autobusowa

Wprowadzenie

Ze względu na negatywny wpływ rosnącego zatłoczenia sieci drogowych na środowisko naturalne, bezpieczeństwo ruchu i czas podróży coraz częściej rozważa się wprowadzanie usprawnień dla pojazdów transportu zbiorowego w celu podniesienia jego konkurencyjności w stosunku do indywidualnego transportu samochodowego. W przypadku obszarów zurbanizowanych są to między innymi elementy infrastruktury drogowej takie, jak wydzielone pasy lub drogi autobusowe. Wiele europejskich miast, np. Paryż i Londyn, wprowadza bardziej radykalne rozwiązania, jakim jest Bus Rapid Transit [1]. Powyższe działania związane są często z dużymi kosztami oraz zróżnicowanym odbiorem społecznym. Wprowadzaniu usprawnień dla transportu zbiorowego towarzyszą najczęściej działania marketingowe, promujące ten transport. Komplementarność obydwu sposobów zachęcania do korzystania z usług operatorów transportu zbiorowego jest zazwyczaj ściśle związana z kierunkami działań samorządów, określonymi w polityce transportowej.

W Gdyni podejmuje się działania marketingowe promujące transport zbiorowy, ale jednocześnie uwzględnia się

priorytety dla tego środka transportu w działaniach inwestycyjnych. Powyższe działania wspiera program europejski CIVITAS DYN@MO, realizowany przez Politechnikę Gdańską i Urząd Miasta Gdyni. Ponadto w przypadku działań promocyjnych można wspomnieć o współudziale Gdyni w Europejskim Tygodniu Zrównoważonej Mobilności oraz w Dniu bez Samochodu. Pod kątem angażowania środków inwestycyjnych należy zwrócić uwagę na przeprowadzony w 2011 roku remont Węzła Wzgórze i wykonany pod koniec 2014 roku wydzielony pas dla autobusów na ulicy Kieleckiej. W obydwu przypadkach wdrożono specyficzne rozwiązania w postaci śluzы autobusowej. W najbliższym czasie do priorytetowego ruchu pojazdów transportu zbiorowego zostanie również dostosowany fragment ulicy Morskiej w okolicy skrzyżowania z Trasą Kwiatkowskiego. Ponadto inwestycją, która w znacznym stopniu może przyczynić się do wzrostu konkurencyjności transportu zbiorowego, jest wdrażany w Trójmieście Zintegrowany System Zarządzania Ruchem TRISTAR. W ramach jego budowy przewidziano uruchomienie priorytetów w sygnalizacji świetlnej dla pojazdów transportu zbiorowego.

W referacie podjęto próbę identyfikacji problemów związanych z zastosowaniem śluz autobusowych w Gdyni. Ponieważ temat sterowania ruchem w obrębie śluz autobusowych z wykorzystaniem systemu sterowania jest w Polsce stosunkowo nowy, niniejszy artykuł może stanowić wstęp do przeprowadzenia bardziej szczegółowych badań efektywności śluz oraz zachowań uczestników ruchu w przypadku ich stosowania.

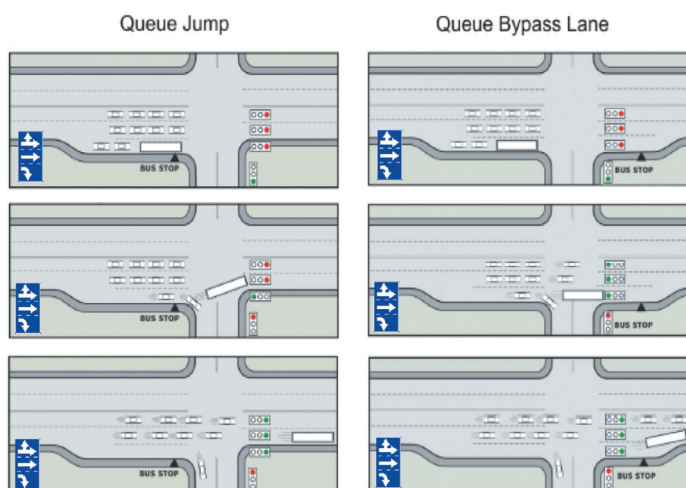
Metody uprzywilejowania pojazdów transportu zbiorowego w obrębie skrzyżowań

Rozwijającym się i chętnie stosowanym sposobem uprzywilejowania pojazdów transportu zbiorowego są priorytety w ramach sterowania sygnalizacją świetlną. Oprócz tych priorytetów zastosowanie znajdują także fizyczne metody odseparowania ruchu pojazdów transportu zbiorowego w postaci np. wydzielonych pasów dla tych pojazdów. Śluzы autobusowa może stanowić połączenie powyższych metod. W zagranicznych źródłach śluzы autobusowe określane są

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2015. Wkład autorów w publikację: J. Oskarbski 34%, M. Miszewski 33%, K. Żarski 33%.

jako „queue jumps” [2] bądź „queue bypass”, lub „bypass lane” [3]. Powyższe nazwy odnoszą się do krótkiego odcinka drogi lub pasa ruchu, najczęściej wydzielonego dla autobusów lub trolejbusów, w celu umożliwienia ominięcia kolejki pozostałych pojazdów znajdujących się przed skrzyżowaniem z sygnalizacją świetlną. W przypadku „queue bypass” może to być również krótki pas za skrzyżowaniem np. w formie otwartej zatoki autobusowej, na którą pojazd transportu zbiorowego może wjechać niezależnie od pozostałego ruchu i włączyć się do ruchu tak, jak ma to miejsce w przypadku otwartej zatoki za skrzyżowaniem [4]. Innym rozwiązaniem jest ominięcie kolejki pojazdów z wykorzystaniem pasa do skrętu w prawo, z dopuszczeniem jazdy na wprost dla autobusów. Przykłady opisanych śluz przedstawiono na rysunku 1.

Śluzy wprowadzane są najczęściej na zakończeniach wydzielonych pasów dla pojazdów transportu zbiorowego, bezpośrednio przed skrzyżowaniami lub przy wyjazdach z przystanków autobusowych zlokalizowanych przed skrzyżowaniem. Pojazdy transportu zbiorowego otrzymują przyspieszony sygnał zezwalający na jazdę, a co za tym idzie – otrzymują pierwszeństwo w zajmowaniu pasa do jazdy w danej relacji oraz przewagę czasową nad pojazdami indywidualnymi [5].



Rys. 1. Różnica we włączaniu się do ruchu między queue jump, a queue bypass lane.
Źródło: [4]

Jak pokazują doświadczenia zagraniczne, zastosowanie śluz autobusowych może zredukować czas przejazdu przez skrzyżowania z sygnalizacją od 5% do 15% [4], a w niektórych przypadkach nawet do 25% [3].

Podczas wdrożeń systemów sterowania ruchem, którym towarzyszy wprowadzanie priorytetów w sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniach, proponuje się kilka standardowych metod detekcji pojazdów w obszarze śluz. W celu detekcji pojazdów wykorzystuje się zazwyczaj pętle indukcyjne (lub innego rodzaju sensory wbudowane w pasie drogowym) oraz montowany pod pojazdem transponder, nadający charakterystyczne, rozpoznawalne zaburzenie pola magnetycznego pętli, dzięki czemu sterownik sygnalizacji otrzymuje informację o zbliżającym się pojeździe i może realizować założony dla niego priorytet [6].

Innego rodzaju sposobem wykrycia pojazdu w obrębie skrzyżowania jest metoda optyczna, której schemat działania koresponduje z metodą sterowania zwrotnicami tramwajowymi za pomocą podczerwieni. Powyższa metoda najczęściej stosowana jest w USA i Japonii. Pojazdy mające otrzymać priorytet wysyłają takie zapotrzebowanie za pomocą sygnału świetlnego do zlokalizowanych na masztach sygnalizacji detektorów [5]. Jednym z najbardziej zaawansowanych rodzajów wykrywania pojazdów jest metoda radiowa z uwzględnieniem pozycji GPS. Pojazd wysyła do sterownika za pomocą fal radiowych informacje o tym, że znajduje się w obrębie wcześniej wyznaczonego punktu z dokładnością do około 15 metrów [7].

Podczas budowy wydzielonych pasów autobusowych należy zwracać uwagę na sposób zakończenia takiego pasa w okolicach skrzyżowania, szczególnie jeżeli znajduje się on w obrębie przystanku usytuowanego przed skrzyżowaniem z sygnalizacją świetlną. Bardzo często śluzy autobusowe postrzegane są jako potencjalne źródło utrudnień w ruchu. Jednym z powodów jest zabieranie przestrzeni na drodze pojazdom indywidualnym. Kolejnym problemem mogą być dodatkowe straty czasu ponoszone przez pojazdy komunikacji zbiorowej w oczekiwaniu na sygnał świetlny zezwalający na wjazd w strefę śluzy. W niektórych przypadkach taki wjazd byłby możliwy bez dodatkowej sygnalizacji. Funkcjonowanie śluzy wiąże się z koniecznością wydzielania dodatkowej fazy w programie sygnalizacji. Śluza powinna w każdym przypadku spełniać wymagania bezpieczeństwa ruchu i dlatego w programie sygnalizacji konieczne jest zapewnienie odpowiedniej długości czasów międzyzielonych oraz minimalnych długości wyświetlania sygnałów dla poszczególnych strumieni ruchu. W przypadku niewielkiego natężenia ruchu czasy przełączeń faz sygnalizacyjnych są głównymi generatorami dodatkowych strat czasu dla pojazdów, które muszą się zatrzymywać na sygnale czerwonym. W przypadku śluz autobusowych sterowanych trójkomorowymi sygnalizatorami dla autobusów (SB), program sygnalizacji musi uwzględniać działanie wydzielonej fazy zezwalającej na ruch autobusów w separacji z pozostałymi strumieniami ruchu.

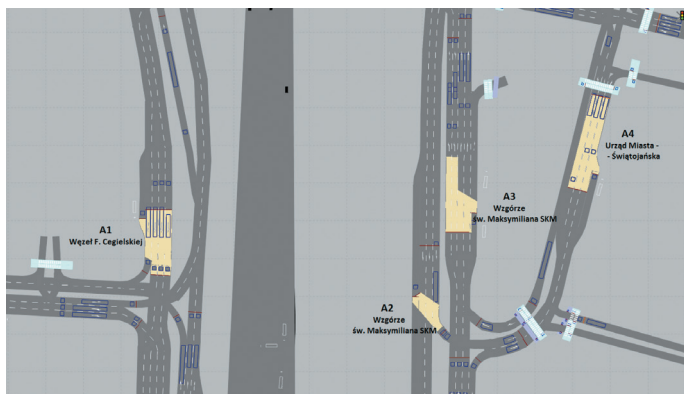
Spełnienie powyższych wymogów formalnych nie eliminuje niebezpiecznych zachowań kierowców, którzy popełniają wykroczenia wjazdu na czerwonym świetle lub korzystają z wydzielonego pasa dla autobusów w celu ominięcia kolejki pojazdów, pomimo, że nie są do tego uprawnieni. W celu ograniczenia zachowań wywołujących zagrożenie w ruchu istotne jest stosowanie instrumentów nadzoru automatycznego – kontrola wykroczeń przejazdów na czerwonym świetle i kontrola korzystania z elementów organizacji ruchu (śluzy, wydzielone pasy) – przez uprawnione pojazdy.

Charakterystyka śluz autobusowych na obszarze miasta Gdyni

Pierwsze rozwiązania usprawniające ruch pojazdów transportu zbiorowego zostały zastosowane w Gdyni stosunkowo niedawno. Zakończona w 2011 roku przebudowa drogowego Węzła Wzgórze, znajdującego się na skraju Śródmieścia Gdyni, spowodowała wprowadzenie istotnych

zmian w organizacji ruchu oraz układzie tras i przystanków transportu zbiorowego.

Przebudowa układu drogowego objęła modernizację lub budowę sygnalizacji świetlnej na siedmiu skrzyżowaniach. Istotną cechą tras linii autobusowych i trolejbusowych przebiegających w obrębie węzła jest konieczność wykonania manewru skrętu w lewo bezpośrednio po zatrzymaniu na przystanku. Wymaga to przecięcia dwóch pasów ruchu przeznaczonych do jazdy na wprost, na których występują duże natężenia ruchu. W celu poprawy bezpieczeństwa i ułatwienia włączania się do ruchu pojazdom transportu zbiorowego na trzech skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną zastosowano rozwiązanie w formie śluz, których rozmieszczenie przedstawiono schematycznie na rysunku 2.



Rys. 2. Układ śluz autobusowych w obrębie Węzła Wzgórze w Gdyni.

Źródło: Symulacja VISSIM dla systemu TRISTAR

Śluza oznaczona na rysunku 2, jako A1 obsługuje przystanek, z którego autobusy odjeżdżające kontynuują jazdę na wprost lub w lewo. Wyjazd z zatoki przystankowej wymaga przecięcia pasa do skrętu w prawo, a w przypadku jazdy w lewo, która dominuje w opisywanej lokalizacji, również pasów do jazdy na wprost. Śluzy oznaczone jako A2 oraz A3 umożliwiają bezkolizyjny wyjazd z przystanku i ustawienie się pojazdu na pasie ruchu przeznaczonym do skrętu w lewo. Korzystają z nich pojazdy linii zawsze wykonujących za przystankiem manewr skrętu, dla których wyznaczone jest osobne stanowisko w celu odróżnienia kierunku jazdy linii. W przypadku śluzy A4 żaden pojazd nie wykonuje manewru skrętu w lewo. Większość z nich przejeżdża prosto przez skrzyżowanie, co wymaga przecięcia pasa wydzielonego do skrętu w prawo. Tylko część autobusów skręca w prawo. Dla tych pojazdów efektywność dedykowanej sygnalizacji jest stosunkowo niewielka, gdyż wymaga jedynie włączenia na pas ruchu przylegający do zatoki przystankowej, obsługujący 20% natężenia ruchu na wlocie skrzyżowania [8]. Należy nadmienić, że zastosowane rozwiązanie przyczynia się do redukcji ryzyka wystąpienia zdarzeń drogowych poprzez znaczne ograniczenie relacji kolizyjnych.

Poza opisanym powyżej przypadkiem również realizacja kolejnych inwestycji drogowych wiąże się z wdrażaniem rozwiązań usprawniających ruch pojazdów transportu zbiorowego oraz poprawą bezpieczeństwa ruchu. W ostatnich latach powstały kolejne dwie dedykowane sygnalizacje dla autobusów, funkcjonujące na zasadzie śluzy.

Sygnalizacja w ciągu ulicy Chwarznieńskiej umożliwia włączenie się do ruchu autobusowi wyjeżdżającemu z zatoki. W tym przypadku zatoka przystankowa zlokalizowana jest za linią warunkowego zatrzymania na wlocie skrzyżowania. Autobusy korzystające z przystanku zawsze kontynuują jazdę w kierunku na wprost. Śluza umożliwia zatem wyłącznie bezkolizyjne włączenie się do ruchu autobusów w momencie zatrzymania ruchu pozostałych pojazdów na głównym i podporządkowanym wlocie skrzyżowania.

Kolejną lokalizacją, gdzie zastosowano dedykowaną sygnalizację dla pojazdów transportu zbiorowego, jest pętla trolejbusowa „Orłowo SKM – Klif”, zlokalizowana w obrębie rozbudowanego skrzyżowania al. Zwycięstwa z ulicami Przebendowskich oraz Balladyny. Śluza umożliwia trolejbusom bezkolizyjny wyjazd z pętli, który wymaga przecięcia kierunków kolizyjnych na dwujezdniowej al. Zwycięstwa. Podczas zatrzymania ruchu na głównym ciągu, trolejbus ma możliwość opuszczenia pętli i rozpoczęcia jazdy po al. Zwycięstwa.

Na początku roku 2015 uruchomiono w Gdyni pierwszy wydzielony pas ruchu dla autobusów, o długości 1,5 kilometra. Kończy się on bezpośrednio przed skrzyżowaniem sterowanym sygnalizacją świetlną. W celu umożliwienia zjazdu z dedykowanego pasa dla autobusów oraz ograniczenia relacji kolizyjnych istniejącą sygnalizację rozbudowano o dodatkowe sygnalizatory umożliwiające zatrzymanie ruchu na pasie dostępnym dla wszystkich pojazdów, co skutkuje możliwością bezkolizyjnego wjazdu autobusu na pas przeznaczony do dalszej jazdy na wprost przez skrzyżowanie.

Na podstawie charakteru funkcjonalnego śluz autobusowych zastosowanych w Gdyni można podzielić je na trzy typy, które opisano w tabeli 1.

Tabela 1

Podział funkcjonalny śluz autobusowych w Gdyni.	
Charakter śluzy	Lokalizacje (skrzyżowania)
wyjazd z zatoki przystankowej z przecinaniem kilku pasów ruchu	Władysława IV – Świętojańska (2 kierunki) Śląska – Kielecka Aleja Zwycięstwa – Przebendowskich
włączenie się do ruchu bez przecinania pasów	Świętojańska – Piłsudskiego Chwarznieńska – Okrężna
zakończenie wydzielonego pasa dla pojazdów transportu zbiorowego	Kielecka – Witomińska

Źródło: opracowanie własne

Ze względu na ograniczenie liczby punktów kolizji w ruchu pojazdów transportu zbiorowego z ruchem pozostałych pojazdów, największą efektywnością cechują się śluzy umożliwiające wyjazd z zatoki przystankowej i ustawienie pojazdu na dowolnym pasie ruchu, w zależności od dalszego przebiegu trasy. Typ drugi i trzeci ma na celu uprzywilejowanie pojazdów transportu zbiorowego w ruchu, jednak warunkiem jego osiągnięcia jest właściwe skonfigurowanie akomodacyjnych programów sygnalizacji na skrzyżowaniach. Umożliwienie włączenia się do ruchu bez konieczności przecinania większej liczby pasów bywa również efektywne w przypadku występowania bardzo dużego natężenia

nia ruchu na odcinku ulicy. Gdy natężenie ruchu jest niewielkie, autobus lub trolejbus najczęściej ma możliwość włączenia się do ruchu bez korzystania z dodatkowej sygnalizacji. Dlatego celowość jej stosowania powinna być każdorazowo dokładnie analizowana. Stosowanie dodatkowej sygnalizacji jest zasadne w przypadkach, gdy obserwowane są duże straty czasu przy opuszczaniu przystanków oraz przemawiają za tym względy bezpieczeństwa ruchu.

Metody sterowania na śluzach autobusowych w Gdyni

Algorytm sterowania w programie sygnalizacji ma kluczowe znaczenie dla efektywności i bezpieczeństwa sterowania ruchem w obrębie śluzy autobusowej. Sposób wyświetlania sygnałów dla kierujących pojazdami transportu zbiorowego musi być dostosowany do rzeczywistych potrzeb ruchowych na skrzyżowaniu z uwzględnieniem bezpieczeństwa ruchu. Ze względu na powyższe należy dążyć do wdrażania akomodacyjnych programów sygnalizacji.

Ze względu na sposób pracy, wydzielić można sterowanie stałoczasowe i zmiennoczasowe. W pierwszym przypadku sterownik sygnalizacji realizuje program cykliczny, w drugim możliwa jest praca acykliczna, gdzie kolejność faz może być zmienna, lecz musi zawierać się w ramach określonych projektem technicznym. Szczególnym przypadkiem jest funkcjonowanie systemu sterowania ruchem, który koordynuje pracę sterowników sygnalizacji na większym obszarze. Zarówno w Gdyni, jak i w Gdańsku oraz Sopocie wdrażany jest Zintegrowany System Zarządzania Ruchem TRISTAR, który umożliwia kontrolę funkcjonowania większości sygnalizacji świetlnych na terenie trzech miast. Wszystkie sygnalizacje świetlne w Gdyni, na których zastosowano dedykowaną sygnalizację dla pojazdów transportu zbiorowego, z wyjątkiem skrzyżowania ulic Chwarznieńskiej i Okrężnej, zostały włączone do systemu TRISTAR i sterowane są za pomocą algorytmów optymalizacyjnych sygnalizacji – lokalnego (EPICS) i obszarowego (BALANCE).

Podstawowym warunkiem funkcjonowania sygnalizacji sterującej śluzami autobusowymi jest właściwy dobór i lokalizacja urządzeń detekcji. W Gdyni na wszystkich skrzyżowaniach włączanych do systemu TRISTAR zastosowano detekcję pojazdów za pomocą pętli indukcyjnych lub w szczególnych przypadkach kamer wideo. Każdy pas ruchu, w tym zatoki przystankowe z dedykowaną sygnalizacją, wyposażone są w urządzenia umożliwiające wykrycie obecności pojazdu i jego bieżący monitoring za pomocą aplikacji systemu sterowania.

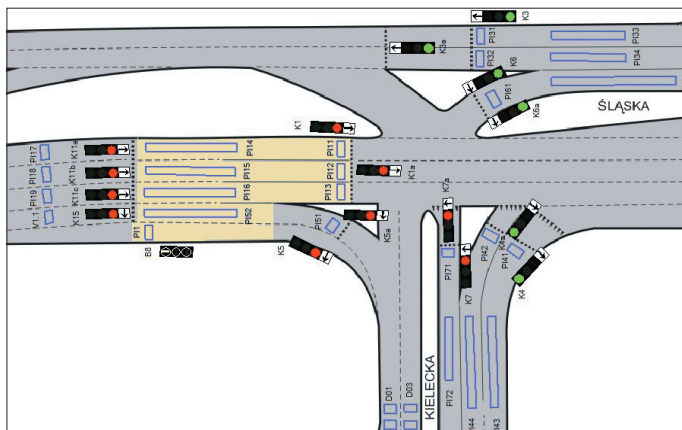
W ramach wdrażania systemu TRISTAR w każdym pojeździe komunikacji miejskiej zainstalowano komputer pokładowy z nadajnikiem GPS, a na skrzyżowaniach radio krótkiego zasięgu połączone ze sterownikiem sygnalizacji. Są to składowe moduły priorytetów dla pojazdów transportu zbiorowego [7]. Pojazdy zgłaszają swoją obecność w zdefiniowanych punktach zgłoszeniowych i na podstawie informacji o opóźnieniu kursu system ma możliwość dostosowania programu sygnalizacji, np. w postaci wydłużenia sygnału zielonego dla opóźnionego pojazdu. Punkty meldunkowe mogą pełnić funkcję wirtualnych detektorów,

dzięki czemu znacznie zwiększa się zakres możliwości lokalizowania pojazdów na trasie i sterowania sygnalizacją przeznaczoną wyłącznie dla nich.

Dla wyróżnionych wcześniej typów śluz stosowanych w Gdyni realizowane są różne sposoby sterowania sygnalizacją. W przypadkach skrzyżowań, na których pojazd wyjeżdżający z zatoki przystankowej przecina kilka pasów ruchu, aby zająć miejsce na pasie do skrętu w lewo, zastosowane są dwa rzędy sygnalizatorów tworzące śluzę. W momencie zatrzymania ruchu na głównej jezdni, sygnał zezwalający na ruch otrzymuje autobus lub trolejbus. Należy zwrócić uwagę, że sygnalizacja śluzy umożliwia najczęściej jedynie włączenie się do ruchu. W momencie wyjazdu z zatoki ruch pojazdów na całym wlocie skrzyżowania jest zatrzymany i pojazd komunikacji zbiorowej nie ma możliwości dalszego przejazdu. W tym przypadku śluza funkcjonuje w sposób pasywny, niejako w cieniu wyświetlania sygnałów na wlotach poprzecznych skrzyżowań. Przykładem tego rozwiązania jest śluza na skrzyżowaniu ulic Śląskiej i Kieleckiej, której układ przedstawiono na rysunku 3.

Jeśli sygnalizacja pracuje w trybie cyklicznym, sygnał zezwalający na wyjazd z zatoki przystankowej będzie wyświetlany w każdym cyklu niezależnie od obecności autobusu lub trolejbusu. Przykładami, gdzie załączanie sygnału dla pojazdu transportu zbiorowego odbywa się w sposób warunkowy, jest śluza na skrzyżowaniu ulic Władysława IV i Świętojańskiej oraz wyjazd z pętli trolejbusowej na skrzyżowaniu al. Zwycięstwa z ulicą Przebendowskich. W obu przypadkach sygnał zezwalający na ruch autobusu lub trolejbusu wyświetli się tylko w przypadku zajętości odpowiednich detektorów pętlowych. Programy sygnalizacji są jednak skonstruowane w taki sposób, że preferowany stan sygnalizacji stanowi faza, w której poruszają się pojazdy na głównych kierunkach ulic. Ramy czasowe funkcjonowania śluzy są ograniczone, dlatego też czas oczekiwania na zmianę sygnału dla kierującego pojazdem transportu zbiorowego może być stosunkowo długi.

Skrzyżowania ulic Świętojańskiej i Piłsudskiego oraz Chwarznieńskiej i Okrężnej wyposażone są w śluzy, które umożliwiają jedynie włączenie się do ruchu. Na pierwszym z nich sygnały również wyświetlane są w sposób pasywny,



Rys. 3. Zasada działania śluzy na skrzyżowaniu ulic Śląskiej i Kieleckiej w Gdyni.

Źródło: CrossVis MSR systemu TRISTAR

uzależniony od ruchu innych strumieni na skrzyżowaniu. W tym przypadku jednak, pomimo że czas trwania fazy dopuszczającej wyjazd z zatoki wynosi około 40% cyklu sygnalizacji, to w dalszym ciągu nie ma możliwości opuszczenia skrzyżowania. Drugie z wymienionych skrzyżowań znajduje się poza systemem sterowania ruchem. Program sygnalizacji jest tak skonstruowany, że wyraźnie preferowane jest wyświetlanie sygnału zielonego dla pojazdów poruszających się w ciągu ulicy Chwarznińskiej. Czas przeznaczony na umożliwienie włączenia się do ruchu autobusu jest znacznie ograniczony i zawiera się tylko w określonym przedziale cyklu sygnalizacji o stałej długości. Pomimo uruchamiania służby tylko w przypadku zajętości pętli indukcyjnej ograniczenie ram czasowych powoduje, że taki sposób sterowania jest mało efektywny.

Najbardziej zaawansowany algorytm sterowania zastosowano na zakończeniu wydzielonego pasa ruchu dla autobusów w ciągu ulicy Kieleckiej (rys. 4). 50 metrów przed linią warunkowego zatrzymania na skrzyżowaniu wyznaczającym koniec dedykowanego pasa dla autobusów zastosowano sygnalizatory dla pojazdów i dla autobusów, które mają na celu regulację dopływu pojazdów do skrzyżowania. Wdrożenie pasa ruchu dla autobusów wymagało zastosowania środków udzielania priorytetu dla pojazdów transportu zbiorowego. Przewidziano możliwość pracy służby umożliwiającej włączenie się do ruchu, zarówno w trybie pasywnym, jak i aktywnym, na zgłoszenie żądania priorytetu z odbiornika radiowego. W momencie trwania fazy umożliwiającej opuszczenie skrzyżowania dojeżdżający pojazd wysyła żądanie zmiany sygnału, co w wybranym programie sygnalizacji realizowane jest natychmiastowo. Ponadto istnieje możliwość aktywnego przedłużenia sygnału na głównym ciągu tak, aby każdy autobus zgłaszający dojazd drogą radiową do sterownika miał możliwość nie tylko bezkolizyjnego wjazdu na ogólny pas ruchu, ale również dalszej jazdy przez skrzyżowanie bez konieczności zatrzymania się. Mając na uwadze, że poza godzinami szczytu natężenie ruchu kołowego w ciągu ulicy Kieleckiej spada, przygotowano warianty programów sygnalizacji, w których na sygnalizatorach sterujących służą wyświetlany jest tylko sygnał ostrzegawczy. Dzięki temu ograniczone zostały straty czasu wynikające z konieczności zatrzymań pojazdów przed

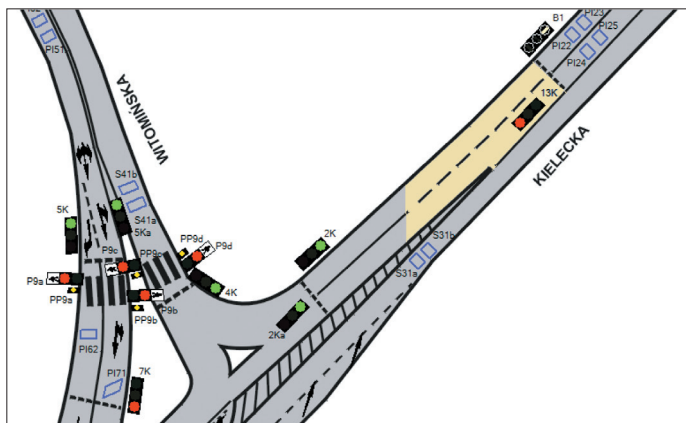
służą. O wyborze trybu sterowania służą decydują algorytmy systemu sterowania ruchem. W przypadku wykrycia zatoru przed skrzyżowaniem sygnalizatory sterujące służą są uruchamiane w programie trójbarwnym, natomiast kiedy ruch jest niewielki, szczególnie poza godzinami szczytu, przełączają się one do pracy w trybie ostrzegawczym.

Straty czasu pojazdów transportu zbiorowego na wybranej służbie

W celu oceny efektywności stosowania służby podjęto próbę oszacowania strat czasu pojazdów transportu zbiorowego na służbie umieszczonej na Węźle Wzgórze (na rys. 2 oznaczona jako A2). W tym celu wykorzystano dane z dwóch podsystemów wdrażanego w Trójmieście systemu TRISTAR. System sterowania ruchem dostarcza informacji na temat czasu zajętości pętli indukcyjnej znajdującej się przed sygnalizatorem zezwalającym na wjazd na służę z zatoki autobusowej. Pozwala to na obliczenie czasu postoju poszczególnych pojazdów na przystanku wraz z wymianą pasażerów i oczekiwaniem na sygnał zielony. Lokalizacja pętli indukcyjnej powoduje, że pojazdy transportu zbiorowego nie korzystające ze służby czasem szybciej skręcają w zatokę autobusową i wzbudzają na chwilę detektor. W celu potwierdzenia wiarygodności pomierzonych danych wykonano selekcję wzbudzeń, odrzucając dane zaburzające wynik (dane o pojazdach nie korzystających ze służby, a jedynie wzbudzających detektor). W odfiltrowaniu pomocne były dane z drugiego podsystemu TRISTARA, którym jest System Zarządzania Transportem Zbiorowym. Dzięki odbiornikom GPS zamontowanym w pojazdach i rejestrowaniu momentu odjazdu pojazdów z przystanku można było powiązać konkretny kurs ze wzbudzeniem detektora.

Podczas weryfikacji wyników sprawdzono, czy pojazdy odjeżdżały w momencie wyświetlania światła zielonego na służbie. W tym celu porównano moment wzbudzenia pętli indukcyjnej z momentem zmiany sygnału wyświetlanego na sygnalizatorze dla autobusu. Stwierdzono, że w około połowie przypadków kierowcy ignorowali sygnał czerwony na sygnalizatorze i średnio po około 25 sekundach odjeżdżali ze służby. Powyższe wskazuje na to, że po wymianie pasażerów trwającej około 15–20 sekund kierowcy opuszczają służę bez oczekiwania na sygnał zielony (jedną z przyczyn wykroczeń może być brak pojazdów na głównym ciągu w chwili wjazdu autobusu). Efektywne włączenie sygnału zezwalającego na opuszczenie służby jest warunkiem koniecznym do jej prawidłowego i bezpiecznego funkcjonowania, biorąc pod uwagę zachowania kierowców pojazdów transportu zbiorowego.

Opisana powyżej analiza wykazała zasadność działań zmierzających do zmiany zdefiniowania logiki wzbudzania służby w celu umożliwienia bardziej efektywnego jej opuszczenia. Ponadto zostały potwierdzone możliwości pozyskiwania danych z różnych podsystemów w celu diagnozowania obszarów problemowych i podejmowania kroków usprawniających funkcjonowanie rozwiązań sterowania oraz poprawiających bezpieczeństwo ruchu.



Rys. 4. Służba autobusowa na zakończeniu pasa autobusowego na ul. Kieleckiej w Gdyni.
Źródło: CrossVis MSR systemu TRISTAR

Podsumowanie

Zasadniczym problemem związanym ze stosowaniem śluz autobusowych, oprócz ich lokalizacji i oznakowania, jest zapewnienie właściwego sposobu sterowania za pomocą sygnalizacji świetlnej.

Od lokalnych uwarunkowań i wahań ruchu zależy, w jakich przypadkach dedykowana sygnalizacja dla pojazdów transportu zbiorowego stanowi dla nich faktyczne ułatwienie w ruchu. W pewnych przypadkach może okazać się elementem, który zamiast skracać czas przejazdu środkami transportu zbiorowego, niepotrzebnie go wydłuża, potęgując przy tym wzrost zagrożenia bezpieczeństwa uczestników ruchu.

Głównym problemem jest zapewnienie właściwej elastyczności załączania fazy dla pojazdów transportu zbiorowego, mając na uwadze, że każdorazowo musi zostać wstrzymany ruch pozostałych pojazdów, które dominują na skrzyżowaniu. Stosowanie dodatkowych faz sterowania związanych ze służą może powodować ograniczanie przepustowości skrzyżowania i w efekcie przyczyniać się do pogorszenia warunków ruchu na całym skrzyżowaniu sterowanym sygnalizacją. Kluczowym staje się więc ustalenie kryteriów stosowania priorytetu dla pojazdów transportu zbiorowego i jego właściwa realizacja za pomocą odpowiedniego algorytmu programu sterującego.

W Gdyni służa lokalizowane są przed skrzyżowaniami. Jest to układ typowy, ponieważ pozwala na włączenie się do ruchu i umożliwia zajęcie odpowiedniego pasa w zależności od dalszego przebiegu trasy. W przypadku takiej lokalizacji służ można wydzielić dwa zasadnicze sposoby uruchamiania sygnału dla autobusów przy wyjeździe z zatoki przystankowej – aktywny lub pasywny. W pierwszym z nich autobus otrzymuje sygnał zielony częściowo niezależnie od aktualnie realizowanej fazy na skrzyżowaniu. Istotny jest tutaj poziom priorytetu dla transportu zbiorowego i sposób zastosowanej detekcji. Rozwiązanie to nie jest zalecane na rozbudowanych skrzyżowaniach, gdyż natychmiastowe wstrzymanie ogólnego ruchu na wlocie, na którym zlokalizowana jest służa może powodować zaburzenia w przepływie pojazdów na całym skrzyżowaniu. Rozwiązania z wysokim poziomem priorytetu mają z kolei dużą efektywność w przypadku niskiego poziomu natężenia ruchu przy zastosowaniu śluz umożliwiających włączenie się do ruchu z zatoki przystankowej.

Pasywne uruchamianie sygnałów dla kierujących autobusami jest stosunkowo mało skomplikowanym rozwiązaniem. Kiedy ruch pojazdów na wlocie jest wstrzymywany, tzn. sygnał czerwony otrzymują pojazdy na wlocie skrzyżowania i przed punktem kolizji z torem ruchu autobusu opuszczającego zatokę lub wydzielony pas ruchu, wyświetlany jest sygnał zezwalający na ruch autobusu. W tym czasie najczęściej odbywa się ruch poprzeczny w stosunku do wlotu, na którym zlokalizowana jest służa, wobec czego autobus zazwyczaj nie ma możliwości dalszej jazdy przez skrzyżowanie bez zatrzymania po ruszeniu z przystanku. Istnieje możliwość zastosowania odpowiedniego offsetu sygnałów, aby umożliwić opuszczenie skrzyżowania, jednak

w tym wypadku nie jest wskazana praca sygnalizacji w trybie stałoczasowym, gdyż tworzy się „okno czasowe” dla pojazdów, które na skrzyżowaniu pojawiają się sporadycznie.

Uruchamianie fazy umożliwiającej włączenie się do ruchu autobusu na zasadzie służy w przypadku niewielkiego natężenia ruchu pojazdów na wlocie bywa nieefektywne. Szczególnie widoczne jest to w okresie między szczytami ruchu lub po szczycie ruchu na skrzyżowaniach, gdzie służa funkcjonują przez całą dobę. W takich okresach, pomimo występowania dużych odstępów między pojazdami umożliwiających bezpieczne włączenie się autobusu do ruchu, na sygnalizatorze SB wyświetlany jest sygnał zabraniający wjazd autobusu. Dlatego zaleca się stosowanie urządzeń detekcji i określenie priorytetu w sterowaniu sygnalizacją, w szczególności w okresach mniejszego ruchu ulicznego.

Kolejnym problemem jest ustalenie częstotliwości uruchomienia fazy zezwalającej na wyjazd autobusu. O ile w przypadku sterowania w trybie pasywnym jest to uzależnione od ustalonego cyklu programu sygnalizacji, o tyle w sterowaniu akomodacyjnym z priorytetem należy każdorazowo określić, w jakich stanach programu dopuszczone będzie aktywowanie fazy dla pojazdu transportu zbiorowego. Wymaga to określenia, czy służa musi być powiązana z pozostałymi fazami ruchu, czy też dopuszcza się jej niezależne działanie w stosunku do realizowanej sekwencji faz na skrzyżowaniu. Sposób powiązania powinien również uwzględniać możliwość dalszej jazdy pojazdu transportu zbiorowego, tj. zapewnienie dalszego przejazdu przez skrzyżowanie za pomocą aktywnego wydłużania sygnału zielonego lub umożliwienie jedynie włączenia się pojazdu do ruchu i ustawienie na odpowiednim pasie.

Jak pokazują powyższe rozważania, zagadnienia związane ze służami autobusowymi są na tyle złożone, że wymagają kompleksowych analiz, które uwzględnią również wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego.

Literatura

1. *Bus Rapid Transit service design guidelines*, VTA, 2007.
2. Zhou G., Gan A., *Design of Transit Signal Priority at Signalized Intersections with Queue Jumper Lanes*, „Journal of Public Transportation”, 2009, Vol. 12, No. 4.
3. *Transit Capacity and Quality of Service MANUAL*, Transportation Research Board, Washington, D.C. 2003.
4. *Bus and Rail Transit Preferential Treatments in Mixed Traffic A Synthesis of Transit Practice*, Transportation Research Board, Washington, D.C. 2010.
5. Adamski A., *Priorytetowe sterowanie w transporcie publicznym z wykorzystaniem metod PIACON-DISCON*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2006, nr 4.
6. Gondek S., *Uprzywilejowanie pojazdów komunikacji zbiorowej na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2004, nr 11.
7. Birr K., Oskarbski J., Żarski K., *Module of priorities for public transport vehicles in the TRISTAR system*; „Logistyka”, 2014, nr 4.
8. Oskarbski J., Kuprewicz G., *Priorytety dla transportu zbiorowego z wykorzystaniem systemu sterowania ruchem*, „Logistyka”, 2014, nr 3.