

KRZYSZTOF DOSTANI

mgr inż., Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Poznaniu, Spółka z o.o., ul. Głogowska 131/133, 60-244 Poznań, e-mail: dostatni.krzysztof@gmail.com

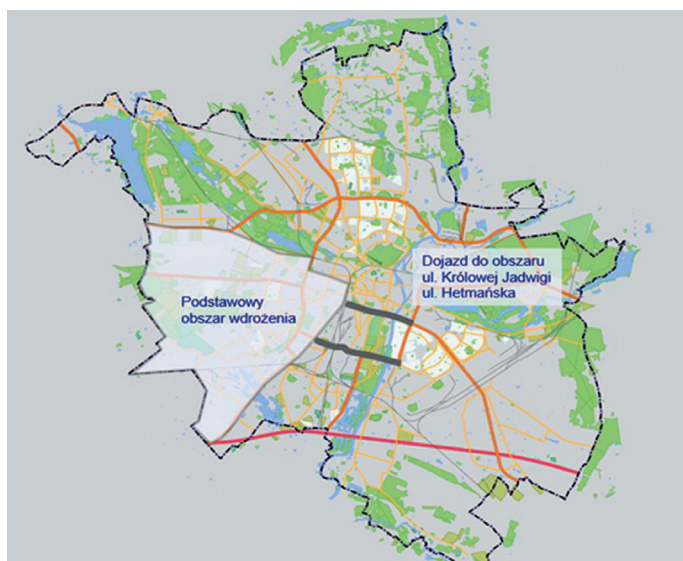
Funkcjonowanie systemów ITS dla transportu zbiorowego na przykładzie ulicy Grunwaldzkiej w Poznaniu¹

Streszczenie: System ITS dla transportu zbiorowego w Poznaniu budowano w latach 2013–2016 równoległe z inwestycją modernizacji ulicy Grunwaldzkiej i jej przebudową do drogi dwujezdniowej z dwoma pasami ruchu w każdym kierunku oraz wydzielonym torowiskiem tramwajowym na odcinku od pętli Junikowo do skrzyżowania z ulicą Smoluchowskiego. Wdrożono wówczas zasady funkcjonowania systemu udzielania priorytetów dla komunikacji tramwajowej. Efekt wprowadzonych zmian spełnił założone oczekiwania i przy zachowaniu wysokiego poziomu priorytetów dla komunikacji tramwajowej uzyskano poprawę warunków przejazdu dla autobusów komunikacji miejskiej. W artykule przybliżono działanie systemu ITS oraz rozmiar uzyskanych efektów w czasie przejazdu tramwajów i autobusów.

Słowa kluczowe: transport zbiorowy, komunikacja tramwajowa, priorytety w ruchu tramwajów, transport zbiorowy w Poznaniu.

Wprowadzenie

Projekt wprowadzenia systemu ITS w Poznaniu powstał w 2009 roku i zakładał wdrożenie inteligentnych narzędzi sterowania ruchem w południowo-zachodniej części miasta, w obręb której wchodziły trasy tramwajowe na ulicach: Dąbrowskiego, Grunwaldzkiej, Głogowskiej, Roosevelta, Przybyszewskiego i Reymonta oraz na dwóch dojazdowych ciągach komunikacyjnych do obszaru ITS tj. ulicach Królowej Jadwigi i Hetmańskiej.



Rys 1. Szkic poglądowy obszaru wdrożenia ITS. Główny obszar wdrożenia: obszar ograniczony ulicami Dąbrowskiego – św. Wawrzyńca – Żeromskiego – Dąbrowskiego – Roosevelta – Głogowska – granica miasta

Źródło: Dokumentacja Zarządu Dróg Miejskich w Poznaniu

Rozpoczęcie prac przy wdrażaniu systemu ITS dla transportu zbiorowego miało miejsce w roku 2013, a całkowite uruchomienie nastąpiło w roku 2016 i zbiegło się również w czasie z zakończeniem inwestycji związanych z modernizacją ulicy Grunwaldzkiej i jej przebudową do drogi dwujezdniowej z dwoma pasami ruchu w każdym kierunku i wydzielonym torowiskiem tramwajowym na odcinku od pętli Junikowo do skrzyżowania z ulicą Smoluchowskiego. Na pozostałym przebiegu tej ulicy w kierunku centrum droga posiadała już taki właśnie przekrój.

Dokonano także przebudowy węzła przy ulicy Smoluchowskiego i utworzono wiadukt z rondem Skubiszewskiego (obiekt uwzględniający przebieg przyszłej III ramy komunikacyjnej Poznania), a także modernizacji infrastruktury torowej i sieciowej na niemodernizowanych jeszcze odcinkach tj. od ronda Skubiszewskiego do skrzyżowania z ulicą Bułgarską. Zmodernizowano także rondo Nowaka-Jeziorańskiego i odcinek ulicy pomiędzy tym rondem a skrzyżowaniem z ulicą Roosevelta.

Modernizacje były możliwe m.in. dzięki funduszom unijnym pozyskanym przez Poznań w związku z mistrzostwami EURO 2012, ponieważ ulica Grunwaldzka jest główną ulicą dojazdową do Stadionu Miejskiego zlokalizowanego przy ulicy Bułgarskiej. W zakresie komunikacji tramwajowej założeniem systemu ITS było uzyskanie 8,12% skrócenia czasu podróży tramwajami w obszarze objętym sterowaniem ITS. Dla potrzeb wdrożenia systemu udzielania priorytetów dla tramwajów na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną, w ramach realizowanego projektu ITS Poznań, wykorzystany został komputer pokładowy SRG5000 dostarczający niezbędnych informacji na temat bieżącej lokalizacji pojazdów poruszających się w sieci poznańskich ulic. Pozostałe nieodłączne elementy systemu ITS to:

- modernizacja Centrali Nadzoru Ruchu MPK Poznań Sp. z o.o. i wyposażenie w cyfrową łączność pomiędzy CNR a pojazdami transportu zbiorowego, a także uruchomienie oprogramowania pozwalającego na śledzenie na mapie wszystkich pojazdów transportu zbiorowego zintegrowanych z systemem;
- instalacja na przystankach tramwajowych i autobusowych tablic systemu dynamicznej informacji pasażerskiej;
- wdrożenie komputerów pokładowych i tablic elektronicznych w ponad 500 pojazdach MPK Poznań Sp. z o.o. (tramwaje i autobusy), tworząc sieć mobilną oraz obsługującą priorytet dla komunikacji publicznej;

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2020.

- zmodernizowanie 49 zwrotnic tramwajowych na ciągach komunikacyjnych objętych systemem ITS z założeniem, że sterowanie zwrotnic odbywa się automatycznie na podstawie informacji o numerze linii tramwaju i przebiegu tramwaju;
- wdrożenie 115 odbiorników VDV na każdym skrzyżowaniu w obszarze ITS Poznań;
- wymiana 115 sterowników sygnalizacji świetlnej przystosowanych do realizacji sterowania z wysokim priorytetem dla komunikacji zbiorowej.

Zasady funkcjonowania systemu udzielania priorytetów dla komunikacji tramwajowej

Ustalono następujące zasady funkcjonowania systemu udzielania priorytetów dla komunikacji tramwajowej:

- system priorytetu bazuje na informacjach umożliwiających bieżącą lokalizację pojazdów transportu publicznego, które poruszają się w sieci ulic poznańskich i przekazują je, bądź generują przez komputery pokładowe SRG5000 zainstalowane w pojazdach;
- w pojazdach jest zainstalowany i podłączony do istniejących komputerów pokładowych nadajnik telegramów VDV (BFG TX);
- komputer pokładowy przekazuje do sterownika komunikatów aktualną pozycję w oparciu o system GPS;
- komputer – poprzez nadajnik telegramów VDV, na podstawie aktualnej pozycji i zaprogramowanych informacji o trasie przejazdu oraz wcześniej wyznaczonych punktów zgłoszeniowych – wysyła odpowiednie telegramy bezpośrednio do sterowników sygnalizacji;
- komunikacja pomiędzy pojazdem a sterownikiem sygnalizacji odbywa się drogą radiową, za pomocą radia krótkiego zasięgu (maks. 500 m);
- zastosowane są standaryzowane telegramy według otwartego protokołu VDV-R09.16;
- za pośrednictwem tego połączenia radiowego pojazd transportu zbiorowego przesyła, w momencie osiągnięcia zdefiniowanego punktu zgłoszeniowego, telegram żądania do sterownika urządzenia sygnalizacji świetlnej;
- sterownik sygnalizacji świetlnej uwzględnia żądanie pojazdu transportu zbiorowego w algorytmie sterowania, uzależnionym od natężenia ruchu i reaguje odpowiednio na zgłoszenie;
- telegram żądania zapisywany jest razem z dodatkowymi informacjami w sterowniku w dzienniku transportu zbiorowego;
- dziennik transportu zbiorowego jest stale odczytywany przez System Sterowania Ruchem Drogowym Siemens Sitraffic Scala, archiwizowany w centrali i wykorzystywany do analiz jakościowych przez operatorów systemu.

Postać schematyczną telegramu VDV R.09.16 wysyłanego przez pojazdy tramwajowe przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Postać schematyczna telegramu R09.16	
Typ	10010001
Status	vVV
Ilość bajtów	0110
Numer punktu rejestracji	MMMM MMMM MMMM MMMM
Priorytet/Ręczny kierunek	PPHH
Nr trasy	LLLL LLLL LLLL
Nr przejazdu	KKKK KKKK
Nr celu	ZZZZ ZZZZ ZZZZ
Długość pojazdu	RAAA

Poszczególne bity mogą przybierać wartości zgodnie z tabelą 2.

Tabela 2

Postać wartości poszczególnych bitów		
Symbol	Znaczenie	Przyjmowane wartości
A	Długość pojazdu	0 – 7
K	Numer przejazdu	00 _b – 99 _b
M	Numer punktu rejestracji	0000 _H – FFFF _H
H	Kierunek ręczny	0 – 3
L	Numer trasy	000 _b – 999 _b
P	Priorytet, gdy B=0	0 – 7
Z	Numer celu	000 _b – 999 _b
R	Zarezerwowany	
<small> _b – kodowanie binarno-dziesiętne, _d – kodowanie dziesiętne, _H – kodowanie heksadecymalne. </small>		

Rozróżnia się kilka rodzajów punktów zgłoszeniowych (np. zgłoszenie wstępne, zgłoszenie główne, wyrejestrowanie). Pozycja punktu określana jest przez komputer pokładowy pojazdu transportu publicznego za pośrednictwem systemu lokalizacji GPS.

Dokładna lokalizacja geograficzna punktów zgłoszeniowych jest określana na etapie szczegółowych projektów sterowania ruchem dla poszczególnych skrzyżowań. Pozwala to na precyzyjne określenie, w jakich punktach mają następować zgłoszenia tramwajów, aby zapewnić właściwy poziom priorytetu w zależności od prędkości dojazdu do danego skrzyżowania. W komputerze zapisana jest lista koordynat, w jakich pojazd powinien wysłać komunikaty. W momencie, kiedy tramwaj znajdzie się w jednej z określonych na liście lokalizacji, nadaje komunikat do niej przypisany.

W telegramie zakodowany jest unikalny numer punktu, który jest połączeniem id skrzyżowania oraz numeru, który reprezentuje numer wlotu oraz odległość od skrzyżowania. W informacji zawarty jest także numer brygady, numer linii, informacja o opóźnieniu lub przyśpieszeniu względem rozkładu jazdy. Na podstawie odebranego punktu sterownik sygnalizacji określa położenie pojazdu względem skrzyżowania i rozpoczyna algorytm przyznawania sygnału zielonego. Do każdej z relacji możliwe jest przypisanie nawet 5 różnych punktów, jednakże w większości 3 punkty są wystarczające, np. dla skrzyżowania o numerze 125:

- 12511 – wstępne zalogowanie pojazdu np. 300 m od skrzyżowania;

- 12512 – zalogowanie pojazdu w strefie bliskiej skrzyżowaniu, np. na przystanku – 30 m od skrzyżowania; może ono być skorelowane z informacją o otwarciu lub zamknięciu drzwi w pojeździe;
- 12513 – wylogowanie tj. informacja o opuszczeniu skrzyżowania przez pojazd – najczęściej lokalizowane ok. 10 m za linią zatrzymania.

Dane dla punktów zgłoszeniowych są wprowadzane i korygowane w oprogramowaniu rozkładów jazdy BUSMAN przez ZTM w Poznaniu w porozumieniu z ZDM Poznań i MPK Poznań Sp. z o.o. Do systemu muszą być przekazane takie informacje jak:

- numer skrzyżowania zgodny z centralą Sitraffic Scala,
- nazwa skrzyżowania,
- numer wlotu skrzyżowania,
- numer punktu, punkt referencyjny,
- długość i szerokość geograficzna punktu meldunkowego,
- numer punktu meldunkowego,
- odległość punktu meldunkowego od linii zatrzymania.

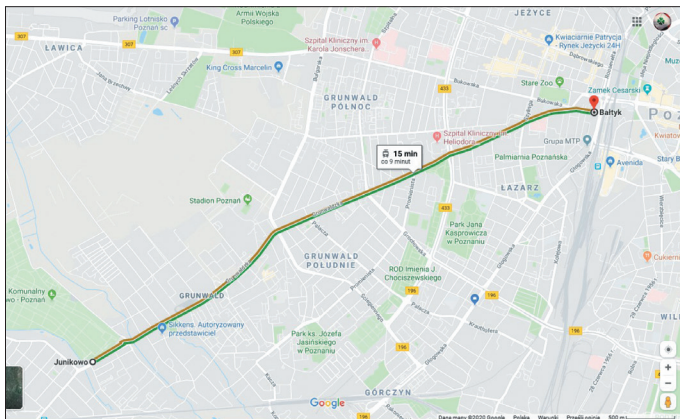
Efekty wdrożenia systemu ITS na trasie tramwajowej na ulicy Grunwaldzkiej

Trasa tramwajowa na ulicy Grunwaldzkiej w Poznaniu umożliwia dojazd z centrum miasta do pętli tramwajowej na Junikowie zlokalizowanej w zachodniej części miasta.

Na analizowanym ciągu komunikacyjnym funkcjonują cztery linie tramwajowe (tab. 3). Długość trasy pomiędzy pętlą tramwajową Junikowo a przystankiem tramwajowym Bałtyk wynosi 5,93 km i znajduje się na niej 14 przystanków tramwajowych (rys. 2).

Tabela 3

Linie tramwajowe na analizowanym ciągu komunikacyjnym			
Nr linii	Odcinek wspólny na ciągu Junikowo–Bałtyk	Długość wspólnego przebiegu [km]	Częstotliwość kursów w godz. szczytu [min] 6.30–9.00 14.00–18.30
1	Junikowo–rondo Jana Nowaka Jeziorańskiego–Franowo	4,25	10
6	Junikowo–Bałtyk–Miłostowo	5,93	10
13	Junikowo–Bałtyk–Starołęka	5,93	10
15	Budziszyńska–Bałtyk–os. Sobieskiego	4,73	6



Rys. 2. Schemat trasy tramwajowej na ul. Grunwaldzkiej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie mapy Google

Układ linii tramwajowych pozwala na obsługę analizowanej trasy tramwajowej 45 pociągami tramwajowymi w ciągu godziny.

Na odcinku pomiędzy pętlą Junikowo a przystankiem Bałtyk znajduje się 16 obiektów sygnalizacji świetlnej, w tym 7 skrzyżowań drogowych z ważnymi arteriami komunikacyjnymi miasta, które przecinają trasę tramwajową. Na długości 5,28 km pomiędzy pętlą Junikowo a ulicą Matejki torowisko tramwajowe jest całkowicie wyodrębnione z jezdni, natomiast na długości 680 m torowisko jest wbudowane w jezdnię, ale organizacyjnie wydzielone z ruchu pojazdów ogólnych. Dobowe potoki pasażerskie dla komunikacji tramwajowej na ulicy Grunwaldzkiej wynoszą około 42 tysięcy pasażerów – dla jednego kierunku.

Wykaz przystanków, skrzyżowań, sygnalizacji świetlnych, odległości i czasów przejazdów tramwajów jadących z przystanku Bałtyk w kierunku pętli Junikowo podano w tabeli 4. Fotografie 1 i 2 przedstawiają zmodernizowany dworzec autobusowo-tramwajowy na pętli Junikowo oraz przystanek Stadion Miejski.

Wdrożenie systemu ITS na ulicy Grunwaldzkiej umożliwiło nadawanie priorytetów dla komunikacji tramwajowej i pozwoliło osiągnąć 15-minutowy czas przejazdu odcinka Bałtyk–Junikowo i prędkość komunikacyjną wynoszącą 23,72 km/h. Dla porównania, przed uruchomieniem systemu ITS, ten sam odcinek tramwaje pokonywały w czasie 17 minut, osiągając prędkość komunikacyjną na poziomie 20,93 km/h. Dla danego kierunku ruchu osiągnięto więc 11,76% wskaźnik skrócenia czasu przejazdu.

Tabela 4

Wykaz przystanków, skrzyżowań, sygnalizacji świetlnych, odległości i czasów przejazdów tramwajów jadących w kierunku pętli Junikowo

Przystanek	Linie	Odległość narastająco [km]	Czas przejazdu [min]	Sygnalizacja	Układ drogowy
Bałtyk	6, 13, 15	0,00	0	-	-
Matejki	6, 13, 15	0,68	2	tak	skrzyżowanie
Wojskowa	6, 13, 15	1,30	3	tak	skrzyżowanie
Rondo Nowaka-Jeziorańskiego	1, 6, 13, 15	1,68	5	tak	skrzyżowanie Tram+Bus
Ostroroga	1, 6, 13, 15	2,08	6	tak x 2	przejścia dla pieszych
Grochowska	1, 6, 13, 15	2,57	7	tak	skrzyżowanie Bus
Drzewieckiego	1, 6, 13, 15	3,17	8	tak	przejścia dla pieszych
Stadion Miejski	1, 6, 13, 15	3,48	9	tak	skrzyżowanie Bus
Węgorka	1, 6, 13, 15	4,00	10	tak	przejście dla pieszych
Rondo Skubiszewskiego	1, 6, 13, 15	4,32	11	tak	skrzyżowanie Bus
Budziszyńska	1, 6, 13, 15	4,73	12	tak x2	przejście dla pieszych i skrzyżowanie Tram
Grotkowska	1, 6, 13	5,19	13	tak	przejście dla pieszych
Cmentarna	1, 6, 13	5,57	14	tak	skrzyżowanie
Junikowo	1, 6, 13	5,81	15	-	-
Junikowo	1, 6, 13	5,93	15	-	-



Fot. 1. Zmodernizowany dworzec autobusowo-tramwajowy na pętli Junikowo

Źródło: fotografia Krzysztof Dostatni

Warto również wspomnieć, że na etapie opracowywania PFU dla Systemu ITS Poznań do obliczenia czasów przejazdu nie wprowadzono przystanku Rondo Skubiszewskiego, który pojawił się w wyniku modernizacji infrastruktury drogowo-torowej i budowy wiaduktu pod przyszłą III ramę komunikacyjną. PFU zakładał natomiast całkowite remonty torowisk tramwajowych i zniesienie ograniczeń prędkości wynikających ze stanu torowisk, co akurat w przypadku ulicy Grunwaldzkiej udało się zrealizować. Do 2012 roku tramwaje odcinek Junikowo–Budziszyńska (odległość około 1400 m) mogły pokonywać z prędkością maksymalnie 20 km/h z uwagi na fatalny stan torowiska. Z tej przyczyny przed modernizacją infrastruktury na przebycie odcinka Junikowo–Bałtyk tramwaje potrzebowały aż 20 minut. Uzyskane obecnie parametry przejazdu tramwajów dowodzą, jak wiele korzyści przynosi zarówno wdrażanie inteligentnych systemów transportowych, jak również modernizacja torowisk tramwajowych.

Tabela 3

Wykaz przystanków, skrzyżowań, sygnalizacji świetlnych, odległości i czasów przejazdów tramwajów jadących z pętli Junikowo w kierunku Bałtyku					
Przystanek	Linie	Odległość narastająco [km]	Czas przejazdu [(min)]	Sygnalizacja	Układ drogowy
Junikowo	1, 6, 13	0,00	0	-	-
Cmentarna	1, 6, 13	0,35	1	tak	skrzyżowanie
Grotkowska	1, 6, 13	0,78	2	tak	przejście dla pieszych
Budziszyńska	1, 6, 13, 15	1,19	3	tak x 2	przejście dla pieszych i skrzyżowanie Tram
Rondo Skubiszewskiego	1, 6, 13, 15	1,48	4	tak	skrzyżowanie Bus
Węgorka	1, 6, 13, 15	1,87	5	tak	przejścia dla pieszych
Stadion Miejski	1, 6, 13, 15	2,34	6	tak	skrzyżowanie Bus
Drzewieckiego	1, 6, 13, 15	2,68	7	tak	przejście dla pieszych
Grochowska	1, 6, 13, 15	3,36	8	tak	skrzyżowanie Bus
Ostroroga	1, 6, 13, 15	3,78	9	tak	przejście dla pieszych
Rondo Nowaka - Jeziorańskiego	1, 6, 13, 15	4,42	11	tak	skrzyżowanie Bus + Tram
Matejki	6, 13, 15	5,10	12	tak	skrzyżowanie
Bałtyk	6, 13, 15	5,94	14	-	-



Fot. 2. Przystanek tramwajowy na ulicy Grunwaldzkiej – Stadion Miejski

Źródło: fotografia Krzysztof Dostatni

Dla kierunku jazdy z Junikowa do Bałtyku skrócono czasy przejazdów przedmiotowego odcinka o 3 minuty, uzyskując wartość 14 minut i pozwalając uzyskać średnią prędkość komunikacyjną na poziomie 25,46 km/h (tab. 5). Przed wprowadzeniem systemu ITS czas przejazdu odcinka z Junikowa do Bałtyku wynosił 17 minut, a prędkość komunikacyjna 20,93 km/h. Czas przejazdu skrócił się o 17,6%.

Uzyskane wartości prędkości komunikacyjnych są wartościami wysokimi jak na trasę tramwajową z tak dużą liczbą punktów kolizyjnych. Wskazane parametry przejazdu udało się osiągnąć dzięki dobrze opracowanemu systemowi nadawania priorytetów dla komunikacji tramwajowej. W poznańskim ITS zdecydowano się na połączenie metody przydzielania priorytetów na poziomie lokalnym z ideą przyznawania priorytetów na poziomie centralnym. W przypadku formy przydzielania priorytetów na poziomie lokalnym informacje o nadjeżdżającym pojeździe są wykrywane za pomocą fizycznych lub wirtualnych detektorów i przekazywane do sterownika danej sygnalizacji świetlnej, który podejmuje decyzje na poziomie lokalnym o skróceniu bądź przerwaniu sygnałowych grup kolizyjnych i otwarciu grup dla transportu zbiorowego.

Dzięki telegramom VDV istnieje możliwość otrzymania informacji lokalnej o nadjeżdżającym pojeździe nawet do 500 m przed danym skrzyżowaniem, co w wystarczającym stopniu zabezpiecza potrzeby realizacji zgłoszeń priorytetowych. W przypadku formy przydzielania priorytetów na poziomie centralnym informacja o wykryciu pojazdu transportu zbiorowego trafia do komputera centralnego, który opracowuje specjalny algorytm dla wysterowania sygnalizacji świetlnej i te parametry przekazuje do danego sterownika na skrzyżowaniu. Połączenie tych dwóch technik udzielania priorytetów dla komunikacji tramwajowej pozwala na niezawodne przydzielanie sygnału zielonego dla komunikacji miejskiej dzięki lokalnemu wykrywaniu informacji o zbliżeniu się pojazdu do danego skrzyżowania. Jednocześnie informacja ta trafia do komputera centralnego, który, wykorzystując dedykowane algorytmy, przygotowuje sterowanie sygnalizacją świetlną na kolejnych skrzyżowaniach w danym obszarze, pod kątem

spodziewanej lokalnej informacji o obecności pojazdu transportu zbiorowego. Dzięki takiej metodzie znacznie zmalało ryzyko zagubienia informacji o obecności pojazdu komunikacji miejskiej i tramwaj otrzymuje zielone światło w najbardziej pożądanym momencie. W przypadku zerwania łączności pomiędzy komputerem centralnym a sygnalizacjami świetlnymi w danym obszarze, zawsze pozostanie funkcjonalność wykrywania pojazdów i nadawania priorytetów na poziomie lokalnym, co zabezpiecza przed znacznie poważniejszymi perturbacjami mogącymi wystąpić w przypadku całkowitego braku kontroli nad sterowaniem sygnalizacjami (np. na skutek zerwania łączności i załączenia się programów stałoczasowych nie realizujących priorytetów dla transportu zbiorowego).

Najpoważniejszym punktem kolizyjnym jest rondo Jana Nowaka-Jeziorańskiego, gdzie tramwaje jadące ulicą Grunwaldzką przecinają II ramę komunikacyjną Poznania będącą również fragmentem drogi wojewódzkiej nr 433 (rys. 3). W ciągu doby przez rondo Jana Nowaka-Jeziorańskiego przejeżdża około 80 tysięcy pojazdów samochodowych. Wzdłuż II ramy komunikacyjnej funkcjonują również inne linie tramwajowe i autobusowe, w związku z powyższym skrzyżowanie to jest miejscem o najniższym poziomie priorytetów w ciągu całej trasy na ulicy Grunwaldzkiej. Niestety skrzyżowanie ma ograniczoną powierzchnię jak na skrzyżowanie o ruchu okrężnym i małe strefy akumulacji pojazdów ograniczają w pewnym stopniu możliwości podwyższenia poziomu priorytetów dla transportu zbiorowego. Z tej przyczyny również tramwaje wjeżdżające na rondo muszą mieć zapewniony zjazd w jednej fazie, ponieważ zatrzymanie na wyspie centralne skutkuje zablokowaniem przejazdu tramwajów w kierunku poprzecznym.

Rozszerzenie funkcjonalności systemu ITS

Od momentu wdrożenia systemu ITS na ulicy Grunwaldzkiej w roku 2016 optymalizuje się sterowanie sygnalizacjami świetlnymi, a także rozbudowuje system ITS o kolejne funkcjonalności. Warte uwagi są dwa skrzyżowania tj. Grunwaldzka / Grochowska i Grunwaldzka / Bułgarska, gdzie linie tramwajowe nr 1, 6, 13 i 15 krzyżują się liniami autobusowymi kursującymi wzdłuż ulic Grochowskiej nr 169 i 182 oraz Bułgarskiej z liniami nr 145, 150, 163 i 191. Aby zminimalizować opóźnienia dla komunikacji autobusowej, na przełomie kwietnia i maja 2018 roku wprowadzono korekty w sterowaniu sygnalizacją świetlną i wykorzystano możliwości systemu ITS poprzez identyfikowanie autobusów kursujących w rejonach obu skrzyżowań. Na tych samych zasadach, co dla komunikacji tramwajowej, utworzone zostały punkty meldunkowe VDV dla autobusów komunikacji miejskiej i dzięki temu sterowanie na omawianych skrzyżowaniach odbywa się w oparciu o identyfikację nadjeżdżających autobusów i tramwajów (tab. 6). Co więcej, na obu tych skrzyżowaniach wykorzystano informację o wartości odchylenia od rozkładu jazdy i w sytuacji zgłoszenia tramwaju i autobusu priorytet jest przydzielany pojazdowi opóźnionemu.

Zastosowany algorytm sterowania dał zaskakujące efekty – dla tramwajów nie został wydłużony czas przejazdu, natomiast autobusy zminimalizowały opóźnienia, w szczególności jadące ulicą Grochowską w relacji południe–północ, na której występowały największe opóźnienia w związku z regularną kongestią komunikacyjną w godzinach szczytu komunikacyjnego (fot. 3). Autobusy na ulicy Grochowskiej w kierunku północnym przed optymalizacją sterowania w godzinach szczytu popołudniowego na prze-



Rys. 3.
Układ drogowy i torow na rondzie
Nowaka-Jeziorańskiego wraz
ze strefami detekcji pojazdów
i tramwajów
Źródło: Dokumentacja Zarządu Dróg
Miejskich w Poznaniu.

jazd skrzyżowania (odcinek 110 m + sygnalizacja) potrzebował średnio 1 minutę i 49 sekund, a po optymalizacji 41 sekund (tab. 7). Jak pokazują dane pomiarowe, uzyskano poprawę czasu przejazdów autobusów średnio o 62%.

Tabela 6

Algorytm sterowania dla skrzyżowania ulic Grochowska / Grunwaldzka			
Autobus na Grochowskiej	Tramwaj w stronę Junikowa	Tramwaj w stronę centrum	Algorytm
opóźniony	-	-	priorityt dla autobusu
punktualny	-	-	priorityt dla autobusu
opóźniony	opóźniony	-	priorityt dla tramwaju
opóźniony	punktualny	-	priorityt dla tramwaju
punktualny	opóźniony	-	priorityt dla tramwaju
punktualny	punktualny	-	priorityt dla tramwaju
opóźniony	-	opóźniony > 1 min	priorityt dla tramwaju
opóźniony	-	opóźniony < 1 min	priorityt dla autobusu do momentu pojawienia się tramwaju na przystanku
opóźniony	-	punktualny	priorityt dla autobusu z możliwym wstrzymaniem tramwaju, ale nie większym niż 10 sek.
punktualny	-	opóźniony	priorityt dla tramwaju
punktualny	-	punktualny	priorityt dla tramwaju



Fot. 3. Skrzyżowanie ulic Grunwaldzka i Grochowska

Źródło: Opracowanie M. Koziełczyk „Stopniowanie prioritytu dla komunikacji publicznej na podstawie informacji o opóźnieniu, na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka/Grochowska w Poznaniu” na podstawie zdjęcia z mapy Google.

Tabela 7

Czas przejazdu autobusów przez skrzyżowanie ulic Grunwaldzka i Grochowska							
Przed optymalizacją			Po optymalizacji				
Czwartek 19.04.2018			Czwartek 24.05.2018				
	Zalogowanie	Wylogowanie	Czas przejazdu	Zalogowanie	Wylogowanie	Czas przejazdu	
1	02:58:47	02:59:12	00:00:25	1	02:57:53	02:58:00	00:00:07
2	03:08:18	03:08:31	00:00:13	2	03:07:02	03:07:57	00:00:55
3	03:17:37	03:19:25	00:01:48	3	03:21:17	03:21:29	00:00:12
4	03:20:36	03:23:19	00:02:43	4	03:21:47	03:23:28	00:01:41
5	03:36:48	03:39:16	00:02:28	5	03:32:03	03:33:22	00:01:19
6	03:37:37	03:39:29	00:01:52	6	03:42:06	03:42:49	00:00:43
7	03:52:17	03:54:31	00:02:14	7	03:43:31	03:43:40	00:00:09
8	03:52:51	03:55:22	00:02:31	8	03:54:11	03:54:20	00:00:09
9	03:58:12	04:00:17	00:02:05	9	03:55:54	03:56:48	00:00:54
		ŚREDNIA	00:01:49		ŚREDNIA	00:00:41	

Źródło: Dane pomiarowe z logowania autobusów ze sterownika firmy SIEMENS

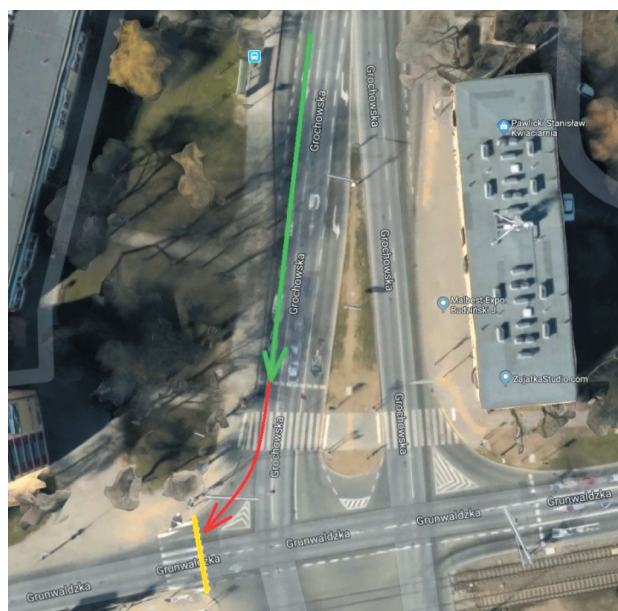
Czas przejazdu autobusów w kierunku odwrotnym, tj. północ-południe był porównywalny dla przejazdów przed optymalizacją i po optymalizacji. Wynosił średnio odpowiednio od 01:02 min do 00:56 min. Możliwe przyczyny tej sytuacji, to:

- utrudniony wyjazd z zatoki przystankowej (fot. 4),
- blokowanie pasa ruchu na wprost w związku z koniecznością udzielenia pierwszeństwa pieszym przez pojazdy skręcające w prawo (fot. 5).



Fot. 4. Utrudniony wyjazd z zatoki przystankowej

Źródło: Opracowanie M. Koziełczyk „Stopniowanie prioritytu dla komunikacji publicznej na podstawie informacji o opóźnieniu, na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka/Grochowska w Poznaniu” na podstawie zdjęcia z mapy Google.



Fot. 5. Blokowanie pasa ruchu na wprost w związku z koniecznością udzielenia pierwszeństwa pieszym przez pojazdy skręcające w prawo

Źródło: Opracowanie M. Koziełczyk „Stopniowanie prioritytu dla komunikacji publicznej na podstawie informacji o opóźnieniu, na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka/Grochowska w Poznaniu” na podstawie zdjęcia z mapy Google.

Dla porównania, w badanych dniach czasy przejazdów tramwajów jadących w kierunku centrum (tab. 8), jak i w kierunku Junikowa (tab. 9), kształtowały się na tym samym poziomie przed i po optymalizacji programu.

Tabela 8

Porównanie czasów przejazdów tramwajów jadących w kierunku centrum							
Przed optymalizacją				Po optymalizacji			
Czwartek 19.04.2018				Czwartek 24.05.2018			
Czas przejazdu = odcinek 160m + obsługa przystanku + sygnalizacja							
	Zalogowanie	Wylogowanie	Czas przejazdu		Zalogowanie	Wylogowanie	Czas przejazdu
1	03:06:14	03:07:06	00:00:52	1	02:58:41	02:59:41	00:01:00
2	03:08:28	03:09:21	00:00:53	2	03:02:55	03:04:01	00:01:06
3	03:09:05	03:10:13	00:01:08	3	03:04:28	03:05:19	00:00:51
4	03:11:42	03:12:36	00:00:54	4	03:09:08	03:09:59	00:00:51
5	03:19:10	03:19:59	00:00:49	5	03:12:09	03:12:58	00:00:49
6	03:20:11	03:21:02	00:00:51	6	03:14:37	03:15:29	00:00:52
7	03:22:53	03:23:44	00:00:51	7	03:16:52	03:17:56	00:01:04
8	03:28:02	03:28:50	00:00:48	8	03:23:43	03:24:37	00:00:54
9	03:29:14	03:30:33	00:01:19	9	03:25:31	03:26:09	00:00:38
10	03:35:42	03:36:54	00:01:12	10	03:28:44	03:29:30	00:00:46
11	03:39:43	03:40:27	00:00:44	11	03:29:46	03:30:34	00:00:48
12	03:42:42	03:43:18	00:00:36	12	03:31:20	03:31:57	00:00:37
13	03:44:11	03:44:56	00:00:45	13	03:35:25	03:36:02	00:00:37
14	03:46:50	03:47:49	00:00:59	14	03:37:54	03:38:34	00:00:40
15	03:49:11	03:49:57	00:00:46	15	03:43:27	03:44:21	00:00:54
16	03:50:09	03:50:49	00:00:40	16	03:44:41	03:45:36	00:00:55
17	03:53:25	03:54:09	00:00:44	17	03:46:04	03:46:45	00:00:41
18	03:57:47	03:58:24	00:00:37	18	03:49:28	03:50:23	00:00:55
19	03:59:17	04:00:43	00:01:26	19	03:52:44	03:53:45	00:01:01
20	04:00:37	04:01:21	00:00:44	20	03:53:53	03:55:00	00:01:07
21	04:02:32	04:03:25	00:00:53	21	03:55:36	03:56:26	00:00:50
				22	03:59:28	04:00:15	00:00:47
				23	04:00:30	04:01:10	00:00:40
	ŚREDNIA	00:00:53			ŚREDNIA	00:00:51	

Źródło: Dane pomiarowe z logowania tramwajów ze sterownika firmy SIEMENS

Tabela 9

Porównanie czasów przejazdów tramwajów jadących w kierunku Junikowa							
Przed optymalizacją				Po optymalizacji			
Czwartek 19.04.2018				Czwartek 24.05.2018			
Czas przejazdu = odcinek 310m + sygnalizacja							
	Zalogowanie	Wylogowanie	Czas przejazdu		Zalogowanie	Wylogowanie	Czas przejazdu
1	03:05:45	03:06:12	00:00:27	1	02:59:07	02:59:31	00:00:24
2	03:06:26	03:06:51	00:00:25	2	02:59:59	03:00:23	00:00:24
3	03:11:50	03:12:30	00:00:40	3	03:01:46	03:02:04	00:00:18
4	03:12:18	03:12:44	00:00:26	4	03:12:00	03:12:17	00:00:17
5	03:14:08	03:14:27	00:00:19	5	03:14:01	03:14:26	00:00:25
6	03:16:16	03:16:42	00:00:26	6	03:15:01	03:15:22	00:00:21
7	03:18:24	03:18:58	00:00:34	7	03:22:55	03:23:47	00:00:52
8	03:21:53	03:22:19	00:00:26	8	03:24:18	03:25:04	00:00:46
9	03:23:53	03:24:30	00:00:37	9	03:30:29	03:30:50	00:00:21
10	03:28:47	03:29:27	00:00:40	10	03:32:25	03:32:58	00:00:33
11	03:31:50	03:32:37	00:00:47	11	03:35:02	03:35:23	00:00:21
12	03:38:25	03:38:55	00:00:30	12	03:36:37	03:37:13	00:00:36
13	03:40:57	03:41:26	00:00:29	13	03:46:41	03:47:17	00:00:36
14	03:44:27	03:44:48	00:00:21	14	03:50:32	03:51:02	00:00:30
15	03:46:15	03:46:43	00:00:28	15	03:52:32	03:53:05	00:00:33
16	03:50:18	03:50:39	00:00:21	16	03:53:09	03:53:46	00:00:37
17	03:53:01	03:53:23	00:00:22	17	03:56:17	03:56:36	00:00:19
18	03:54:24	03:54:48	00:00:24	18	03:56:52	03:57:31	00:00:39
19	03:58:38	03:59:04	00:00:26	19	03:58:25	03:58:50	00:00:25
20	04:00:44	04:01:06	00:00:22	20	04:00:31	04:01:00	00:00:29
	ŚREDNIA	00:00:29			ŚREDNIA	00:00:29	

Źródło: Dane pomiarowe z logowania tramwajów ze sterownika firmy SIEMENS

Podsumowanie

Efekt wprowadzonych zmian spełnił założone oczekiwania i przy zachowaniu wysokiego poziomu priorytetów dla komunikacji tramwajowej uzyskano poprawę warunków przejazdu dla autobusów komunikacji miejskiej. Sukces odniesiony na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka / Grochowska spowodował wprowadzenie podobnego algorytmu sterowania na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka / Bułgarska, gdzie również z powodzeniem zaimplementowano nowy program sterowania sygnalizacją świetlną. Warty uwagi jest również fakt, że na ulicach Grochowskiej, jak i Bułgarskiej nie ma wyodrębnionych buspasów i mimo tego udało się uzyskać zadowalające parametry przejazdu autobusów. Wprowadzenie priorytetów dla autobusów przecinających trasę tramwajową w pewnym sensie zrównoważyło sterowanie na przedmiotowych skrzyżowaniach, na czym również zyskali inni użytkownicy dróg korzystających z kierunków podporządkowanych do trasy tramwajowej.

Wykorzystanie możliwości systemu ITS w postaci identyfikacji pojazdów transportu zbiorowego za pomocą telegramów radiowych VDV pozwoliło na wprowadzanie kolejnych optymalizacji w sterowaniu sygnalizacją świetlną na terenie Poznania, również poza obszarem ITS zarówno dla komunikacji tramwajowej, jak i autobusowej. Na lokalnych skrzyżowaniach, gdzie nie występowała możliwość lub konieczność wydzielania buspasów, np. Grochowska / Marcelesińska, Szpitalna / Dąbrowskiego, Promienista / Ściegiennego wprowadzono identyfikację nadjeżdżających autobusów poprzez telegramy VDV, co umożliwiło minimalizację strat czasów na postojach na skrzyżowaniach. Oczywiście rozwiązanie takie nie kłóci się z ideą tworzenia nowych buspasów na rzecz uspokajania ruchu pojazdów indywidualnych w centrum miasta.

Na najbliższe lata 2020–2022 władze Poznania zapowiadają realizację szerokiego programu uprzywilejowania komunikacji miejskiej poprzez utworzenie szkieletów pasów dla autobusów na ulicach, gdzie występuje największa kongestia komunikacyjna i opóźnienia w przejazdach autobusów.

Literatura

1. <http://www.its.poznan.pl>.
2. Giedła P., Jaśkowski W., Kaczmarek M., Krych A., Nawrocki M., Paszta M., Piątkowski Ł., Polak J., Sobczak M., Sołtowski B., Staszewski M., Szymaniak W., Ulatowski M., Wąsik S. *ITS Poznań Program Funkcjonalno-Użytkowy*, Opracowanie niepublikowane, Instytut Informatyki Politechniki Poznańskiej, Laboratoria Badawcze Systemów Mobilnych, Poznań 2013.
3. Dokumentacja projektowa ITS Poznań, Zarząd Dróg Miejskich w Poznaniu, Poznań 2013.
4. Kozielczyk M., *Priorytetowe sterowanie ruchem a skrócenie czasu podróży*, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Opracowanie niepublikowane, Poznań 2017.
5. Kozielczyk M., *Stopniowanie priorytetu dla komunikacji publicznej na podstawie informacji o opóźnieniu*, Opracowanie niepublikowane, Siemens Mobility Sp. z o.o., 2018.