

Tomasz Kamiński

Instytut Transportu Samochodowego

Jacek Oskarbski

Politechnika Gdańska

WDRAŻANIE SYSTEMÓW ITS NA PRZYKŁADZIE MIASTA ŁODZI I BYDGOSZCZY

W niniejszym artykule opisano zalety funkcjonowania, przyczyny wdrażania i wskazano ścieżkę rozwoju Inteligentnych Systemów Transportowych w miastach. Przedstawiono krótką analizę podstaw prawnych wdrażania systemów ITS. Opisano dwa praktyczne przykłady wdrażania systemów ITS w Polsce, na przykładzie wdrożenia zintegrowanego systemu zarządzania ruchem w mieście Łodzi i mieście Bydgoszczy. Cechą charakterystyczną obu projektów był krótki termin wdrożenia i sposób działania obu z nich, polegający na tym, że dane z czujników i podsystemów akwizycji danych są przesyłane od razu po wykonaniu pomiaru do centrum zarządzania ruchem, w którym są wykorzystywane na bieżąco do monitorowania, sterowania i zarządzania ruchem drogowym. W przypadku obu systemów uzyskano stosunkowo wysokie wskaźniki poprawy warunków ruchu pojazdów, wyższe aniżeli pierwotnie zakładano, co potwierdza tezę, że systemy ITS są jednym z tańszych rozwiązań umożliwiających uzyskanie istotnej poprawy w obrębie miejskiej sieci drogowej, w odniesieniu do poniesionych nakładów.

IMPLEMENTING ITS SYSTEMS USING THE EXAMPLE OF THE CITY OF ŁÓDŹ AND BYDGOSZCZ

This article describes the advantages of the operation, the reasons for implementation, and the development path of intelligent transport systems in the cities. A brief analysis of the legal bases for implementing ITS is presented. Two practical examples of implementing ITS systems in Poland are described, based on the example of the implementation of integrated traffic management system in the city of Łódź and the city of Bydgoszcz. The characteristic feature of both projects was short implementation deadline and the way they both operated, where the data from sensors and the data acquisition subsystems are sent immediately after the measurement to the traffic management centre where they are used on a regular basis to monitor, control and traffic management. For both systems, relatively high rates of improvement in the vehicle traffic conditions were achieved, higher than originally assumed, confirming the belief that ITS systems are one of the cheaper solutions to achieve significant improvements within the urban road network with respect to the outlays incurred.

1. Wstęp

W niniejszym artykule opisano zakres i sposób wdrażania systemów ITS w Polsce na przykładzie wdrożenia zintegrowanego systemu zarządzania ruchem w mieście Łodzi i mieście Bydgoszczy.

Inteligentne Systemy Transportowe są stosowane w celu:

- zwiększania poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego i płynności ruchu,
- minimalizacji negatywnego wpływu transportu na środowisko naturalne,
- usprawnienia zarządzania ruchem drogowym poprzez centralizację, informatyzację i automatyzację,
- optymalizacji wykorzystania sieci drogowej z punktu widzenia zarówno pojazdów komunikacji zbiorowej, jak i indywidualnej.

Zadania te są realizowane dzięki połączeniu technologii teleinformatycznych wykorzystywanych w transporcie, wiedzy z zakresu procesów transportowych oraz organizacji ruchu drogowego. Zmiany zachodzące na polskich drogach determinuje rozbudowa sieci drogowej, intensywny rozwój systemów ITS oraz stale doskonalony sposób zarządzania i utrzymania dróg. Przykładem tego typu działań może być wdrażanie Krajowego Systemu Zarządzania Ruchem (KSZR), który będzie obejmował wybrane odcinki dróg krajowych, w tym dróg szybkiego ruchu i autostrad. Zaproponowane w ramach projektu KSZR podejście do wdrażania systemów ITS systematyzuje sposób ich wdrażania poprzez określenie modułów wdrożeniowych i wytycznych w zakresie ich zastosowania w zależności od np. rodzaju drogi i natężenia ruchu. Niezależnie od KSZR w kolejnych polskich miastach wdrażane są systemy ITS. Obszary te są zarządzane przez władze samorządowe, które w ramach środków unijnych i środków własnych, finansują wdrażanie systemów ITS.

Kolejnym etapem rozwoju tych systemów będą systemy typu kooperacyjnego C-ITS. Dzięki użytym technologiom pojazdy będą mogły komunikować się z innymi pojazdami oraz z elementami infrastruktury drogowej i innymi elementami sieci transportowej. Informacje wymieniane między pojazdami oraz pojazdami a infrastrukturą drogową umożliwią poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego, płynności ruchu i wykorzystania sieci drogowej. Przykładem takiej współpracy może być wykrycie, przez systemy pojazdu, osoby przechodzącej w nieprawidłowy sposób w poprzek drogi (poza obszarem przejścia dla pieszych) i następnie przekazanie tej informacji do pozostałych pojazdów znajdujących się w pobliżu. W sytuacjach wymagających hamowania inne pojazdy będą mogły z odpowiednim wyprzedzeniem rozpocząć hamowanie w celu uniknięcia potrącenia pieszego lub najechania na tył hamującego, poprzedzającego pojazdu. W sytuacji, kiedy mimo wszystko doszłoby do kolizji, systemy te mogą pomóc w ograniczeniu jej skutków poprzez chociażby zmniejszenie prędkości, przy której doszło do zderzenia.

Systemy ITS zajmują ważne miejsce w polityce Unii Europejskiej. Jednym z dokumentów nawiązujących do rozwiązań ITS jest Biała Księga Transportu, w której dużo uwagi poświęca się zastosowaniu najnowszych technologii, integracji różnych rodzajów transportu w połączeniu z zaawansowanymi technologiami, a także wdrażaniu idei „użytkownik płaci”. Kolejnym dokumentem dotyczącym systemów ITS jest Dyrektywa 2010/40/WE z dnia 7 lipca w sprawie ram wdrażania inteligentnych systemów transportowych w obszarze transportu drogowego oraz interfejsów z innymi rodzajami transportu. Zgodnie z Dyrektywą, państwa członkowskie UE powinny zapewnić wykorzystanie danych o drogach, natężeniu ruchu i podróżach, ciągłość usług ITS związanych z zarządzaniem ruchem i przewozami towarów, aplikacje ITS związane

z bezpieczeństwem i ochroną ruchu drogowego, a także zapewnić komunikację pojazdu z infrastrukturą transportową.

Ponadto na terenie Unii Europejskiej będzie wdrożony system e-Call służący do automatycznego wzywania pomocy w przypadku poważnej kolizji drogowej. System będzie w sposób automatyczny przysyłał podstawowe dane o pojeździe i jego lokalizacji, określonej na podstawie satelitarnego systemu pozycjonowania.

2. System ITS wdrożony w mieście Łodzi

Jednym z systemów ITS wdrożonych w ostatnich latach w Polsce, jest System Obszarowego Zarządzania Ruchem wdrożony w mieście Łodzi. Projekt uwzględniał rozbudowę i modernizację trasy tramwaju wraz z systemem zasilania, w kierunku wschód-zachód (Retkinia – Olechów). Całkowity koszt inwestycji wyniósł około 750 mln zł, z czego 80 mln zł brutto, to koszt systemu ITS. Około 60% środków finansowych, przeznaczonych na budowę systemu, pochodziło z UE, z Programu Operacyjnego 7.3 (Infrastruktura i Środowisko) pn. „Transport miejski w obszarach metropolitalnych”. Projekt został zrealizowany w czasie niecałych 16-stu miesięcy. W skład systemu wchodzi:

- podsystem urządzeń sensorycznych i wideo, w tym kamery CCTV/ANPR,
- podsystem obszarowego sterowania ruchem SCATS,
- podsystem do zarządzania tunelem SCADA,
- podsystem informacji dla kierowców,
- podsystem informacji mobilnych,
- podsystem zarządzania transportem publicznym MUNICOM,
- podsystem informacji pasażerskiej,
- podsystem zarządzania infrastrukturą drogową eDIOM.

Dane w systemie są gromadzone i przetwarzane w Centrum Sterowania Ruchem, w którym zapadają decyzje strategiczne. Centrum współpracuje z systemem SCADA, zastosowanym w tunelu przeznaczonym dla ruchu pojazdów samochodowych i realizuje przyznawanie priorytetów dla tramwajów i autobusów. Centrum zajmuje sześć pomieszczeń (z serwerownią i salą konferencyjną) dla pracowników Zarządu Dróg i Transportu. W sali przeznaczonej dla operatorów znajdują się cztery stanowiska dla operatorów Systemu Obszarowego Zarządzania Ruchem i dwa stanowiska dla operatorów systemu monitoringu wizyjnego. Każde ze stanowisk jest wyposażone w dwumonitorowy ekran. Natomiast stanowiska operatorów systemu monitoringu wizyjnego (CCTV) są wyposażone dodatkowo w pulpity do sterowania pracą kamer.

W sali dla operatorów zainstalowano dwie „ściany graficzne”. Pierwsza z nich jest wykorzystywana przez operatorów Systemu Obszarowego Zarządzania Ruchem (SOZR), natomiast druga jest przeznaczona do obsługi systemu CCTV. Ekran dla operatorów SOZR zbudowany jest z czterech profesjonalnych monitorów cienkoramkowych LCD o przekątnej ekranu 55 cali. Całkowita rozdzielczość, zbudowanego w ten sposób ekranu o wymiarach 2430x1372 mm, wynosi 3840x2160 punktów. Umożliwia to wyświetlenie danych z dowolnego podsystemu, lub z kilku podsystemów jednocześnie. Druga „ściana graficzna”, wyświetla obraz z monitoringu wizyjnego CCTV. Zbudowano ją z 24 monitorów LCD o przekątnej ekranu 23 cala każdy, co daje przy układzie monitorów 6x4, całkowity wymiar 3120x1300 mm. Ściana umożliwia wyświetlanie na każdym z monitorów obrazu z dowolnie wybranej kamery podsystemu monitoringu.

Nadrzędna aplikacja wraz z oprogramowaniem do obsługi poszczególnych podsystemów została uruchomiona na platformie stanowiącej zestaw serwerów kasetowych z mechanizmem wirtualizacji. Zaimplementowany mechanizm wysokiej dostępności zapewnia prawidłową pracę najistotniejszych aplikacji systemu. Poszczególne elementy systemu komunikują się z Centrum Zarządzania Ruchem poprzez sieć światłowodową, zapewniającą przepustowość na poziomie 10Gb/s dla sieci szkieletowej i 1Gb/s dla punktów dostępowych.

W ramach projektu wykonano modernizację i włączono do systemu 236 sygnalizacji świetlnych.

W skład podsystemu czujników i systemu wideo wchodzi dwie grupy kamer – służące do obserwacji otoczenia i kamery wykorzystywane w systemie sterowania ruchem. Liczbę 12-stu kamer przeznaczonych do obserwacji, zwiększono o kolejnych 49 nowo zainstalowanych, które zostały włączone do systemu. Dla potrzeb systemu zarządzania ruchem zastosowano 126 kamer rozmieszczonych na 22 skrzyżowaniach. Obraz z kamer monitoringu wizyjnego umożliwia stałą kontrolę obszaru poszczególnych skrzyżowań oraz wykrywanie ewentualnych incydentów w komunikacji publicznej. System jest wyposażony w kamery rejestrujące obraz, na podstawie którego są rozpoznawane tablice rejestracyjne (system ANPR) oraz cechy pojazdu dla potrzeb klasyfikacji rodzajowej pojazdów. Możliwa jest również automatyczna identyfikacja zdarzeń w tunelu (system AID). System przechowuje zdjęcia zwykle i zdjęcia w podczerwieni rozpoznanych tablic rejestracyjnych.

Automatyczna rejestracja cech pojazdów polega na detekcji i archiwizacji numerów pojazdów poruszających się w obrębie monitorowanego obszaru. Dokonywana jest również klasyfikacja wykrytych pojazdów ze względu na ich rodzaj. Detekcja obejmuje cały obszar funkcjonowania systemu ITS w Łodzi. Wykonywany jest również automatyczny pomiar czasu przejazdu pojazdów między punktami, w których zainstalowane zostały kamery do automatycznej rejestracji cech pojazdów. W przypadku systemu ITS użytkowanego w Łodzi, do pomiaru czasu przejazdu wykorzystano 121 kamer, które obsługują 35 zdefiniowanych w systemie odcinków dróg.

System informacji dla kierowców obejmuje 9 tablic o zmiennej treści, na których są wyświetlane informacje o aktualnej sytuacji na poszczególnych odcinkach dróg.

Podsystem informacji przystankowej składa się ze 130 tablic rozmieszczonych na 65 przystankach. Są to tablice TIP-10148180-01 firmy R&G, na których wyświetlane są aktualne informacje o planowanym przyjeździe autobusu lub tramwaju.

Podsystem informacji mobilnych obejmuje elektroniczne rozkłady jazdy, umożliwiające zaplanowanie podróży, bazujące na czasach rzeczywistych i system przeznaczony do informowania o utrudnieniach w ruchu (wypadkach, robotach drogowych, imprezach masowych, prędkościach przejazdu uzyskiwanych na wybranych odcinkach dróg i innych zdarzeniach).

System ITS w Łodzi umożliwia też zarządzanie infrastrukturą drogową przy użyciu aplikacji do ewidencji dróg i obiektów mostowych – eDIOM.

O skali systemu ITS w Łodzi świadczą liczby nowo zainstalowanych lub włączonych do systemu urządzeń. W czasie realizacji projektu zmodernizowano lub włączono do systemu 236 sygnalizacji świetlnych. Zainstalowano 130 tablic informacji pasażerskiej na skrzyżowaniach. Zmodernizowano 8 tablic, a 11 tablic zainstalowano poza skrzyżowaniami. Wykonano kanalizację kablową o długości 40 km i ułożono 555 km przewodów elektrycznych. W obszarze objętym projektem zainstalowano łącznie 176 kamer. Do systemu włączono 700 pojazdów MPK instalując w nich tzw. „autokomputery”.

Do sterowania ruchem w tunelu wykorzystano 4 znaki o zmiennej treści ogólnego przeznaczenia (VMS), 9 znaków o zmiennej treści typu LCS, służących do sterowania ruchem na pasach ruchu (wyświetlających symbol dostępności pasa, zamknięcia pasa lub konieczności zmiany pasa ruchu przez kierowcę) oraz 57 kamer do rozpoznawania zdarzeń drogowych.

W systemie zarządzania i sterowania ruchem dla miasta Łodzi założono realizację priorytetu w zakresie pierwszeństwa przejazdu dla pojazdów transportu publicznego. Jego elementem jest program AGC BusMan przeznaczony do zarządzania komunikacją zbiorową. Służy on do projektowania i synchronizacji rozkładów jazdy, przygotowywania informacji dla pasażerów i informacji technicznej. W systemie wykorzystano urządzenia pełniące rolę tzw. „punktów meldunkowych”, opracowanych przez firmę Sprint. Urządzenia te są umieszczone w odległości 400-500 m od skrzyżowania. Pojazd nadjeżdżający do „punktu meldunkowego” przesyła drogą radiową (wykorzystując technologię GPRS), do podsystemu zarządzania transportem publicznym MUNICOM, informację o swoim położeniu, określonym na podstawie systemu GPS i licznika przebytej drogi. Równocześnie przesyłana jest informacja o odchyleniu od rozkładu jazdy. System MUNICOM przekazuje do aplikacji nadrzędnej „Sprint/ITS” pełną informację o pojeździe, zawierającą pozycję pojazdu, numer linii komunikacyjnej i kierunek jazdy pojazdu oraz opóźnienie względem rozkładu jazdy. Aplikacja „Sprint/ITS” przekazuje do systemu SCATS informację o pozycji i kierunku jazdy pojazdu wraz z przyczyną przekazania zgłoszenia (np. opóźnienie). System SCATS realizuje wówczas, w zależności od nadanego poziomu priorytetu, odpowiedni program sterowania sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniu. Nadawane są trzy główne poziomy priorytetów. Pierwszy z nich zakłada możliwość skracania faz kolizyjnych w stosunku do fazy priorytetowej. Drugi poziom umożliwia przejście do realizacji fazy priorytetowej z możliwością pominięcia relacji kolizyjnych. Trzeci z poziomów umożliwia realizację priorytetu zależną od kilku czynników, takich jak opóźnienie, kierunek jazdy, numer linii, czy zatłoczenie.

W celu dostosowania sposobu działania mechanizmu udzielania priorytetu do indywidualnych i zmieniających się potrzeb użytkownika (miasta) możliwe jest przypisanie poszczególnym skrzyżowaniom indywidualnych poziomów udzielanego priorytetu. Możliwa jest także zmiana warunków udzielania priorytetu na podstawie analizy wpływu priorytetu na warunki ruchu. Użytkownik ma również możliwość modyfikacji parametrów systemów w celu kalibracji systemu udzielania priorytetów.

Ważnym zagadnieniem jest współpraca systemu zarządzania ruchem w mieście z systemem zarządzania tunelem, który stanowi element miejskiej przestrzeni drogowej. Na podstawie obrazu z kamer AID wykrywane są zdarzenia drogowe, a informacja o nich jest przekazywana do systemu sterowania ruchem w tunelu – SCADA. Na podstawie tych informacji podejmowana jest decyzja o sterowaniu oznakowaniem w tunelu, w szczególności o zamknięciu zablokowanego pasa ruchu, na przykład przez uszkodzony pojazd. Informacje te są przekazywane do nadrzędnej aplikacji Sprint/ITS, a następnie do systemu sterowania SCATS. W ramach SCATS przewidziano cztery scenariusze, polegające na:

- zamknięciu jezdni północnej tunelu,
- zamknięciu jezdni południowej tunelu,
- zamknięciu obu jezdni tunelu,
- wprowadzeniu stanu ograniczonego ruchu.

Integracja systemów SCADA i SCATS polega na wyznaczaniu objazdów odcinków tunelu, z utrudnieniami w ruchu, poprzez:

- wydłużenie czasu sygnałów „zezwalających na jazdę” na trasie wyznaczonego objazdu,
- zmianę wartości progowych parametrów adaptacyjnych,
- korektę parametrów koordynacyjnych,
- ograniczenie/wyłączenie priorytetów dla komunikacji publicznej.

Głównym celem wdrożenia systemu obszarowego sterowania ruchem w Łodzi była poprawa warunków ruchu poprzez: skrócenie czasów przejazdu, zmniejszenie liczby zatrzymań, zmniejszenie liczby zatorów oraz zmniejszenie poziomu emitowanych zanieczyszczeń i hałasu. W projekcie ITS dla miasta Łodzi założono 5% redukcję czasu przejazdu dla pojazdów transportu zbiorowego i taką samą wartość wskaźnika dla pojazdów transportu indywidualnego. W celu oceny efektów wdrożenia systemu ITS wykonano serię pomiarów przed i po wdrożeniu systemu. Pomiary wykonał Zarząd Dróg i Transportu w Łodzi oraz wykonawca systemu – firma Sprint.

Zgodnie z pomiarami Zarządu Dróg i Transportu w Łodzi uzyskano w przypadku włączenia sygnalizacji świetlnych do systemu sterowania i zarządzania ruchem (początkowo sygnalizacje izolowane):

- w przypadku Alei Włókniarzy (DK1) o długości korytarza ok. 5 km i liczbie skrzyżowań z sygnalizacją świetlną – 9:
 - skrócenie czasu przejazdu z 18 minut do 8,5 minuty,
 - zmniejszenie liczby zatrzymań z 7 do 2,
- w przypadku ulicy Zachodniej, o długości korytarza ok. 4 km i liczbie skrzyżowań z sygnalizacją świetlną – 13:
 - skrócenie czasu przejazdu z 7 minut do 4 minut,
 - zmniejszenie liczby zatrzymań z 4 do 1,
- w przypadku tzw. „Trasy Górnej” (droga w sieci dróg publicznych miasta Łodzi, łącząca Al. Jana Pawła II z ul. Rzgowską), o długości korytarza ok. 1,6 km i liczbie skrzyżowań – 3:
 - skrócenie czasu przejazdu z 3,5 minut do 1,5 minuty,
 - zmniejszenie liczby zatrzymań z 2 do zera.

Zgodnie z danymi firmy Sprint S.A., która wdrażała system, uzyskano średni wynik na poziomie 9,6%, odpowiednio, w zakresie redukcji czasu przejazdu pojazdów transportu publicznego i redukcję tej wielkości, aż o 29,46% – w przypadku pojazdów transportu indywidualnego.

3. System ITS wdrożony w Bydgoszczy

Wdrożenie systemu ITS w Bydgoszczy zostało dofinansowane w 85% z funduszy Unii Europejskiej, z programu 8.3 Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko, pn. Rozwój Inteligentnych Systemów Transportowych. Wartość projektu wynosiła 54 mln zł brutto. Rozstrzygnięcie przetargu ograniczonego na budowę systemu nastąpiło w listopadzie 2012 roku, a czas na wdrożenie systemu wynosił 24 miesiące od podpisania kontraktu. System wdrażano w ramach tzw. formuły „zaprojektuj i zbuduj”. Faza projektowa obejmowała opracowanie koncepcji systemu, a faza realizacji zakładała minimalizację utrudnień ruchu, skrócenie czasu trwania modernizacji i dostosowanie, do pracy z systemem, sygnalizacji świetlnych. Wykonawcą systemu była firma Sprint S.A. z Olsztyna.

System zarządzania ruchem obejmował:

- system sterowania ruchem SCATS, realizujący obszarową optymalizację działania sygnalizacji świetlnych i realizację priorytetów przejazdu,

Wdrażanie systemów ITS...

- system zarządzania transportem publicznym:
 - zintegrowany z istniejącym elektronicznym system rozliczania kierowców MZK ze spóźnień obejmującym system informacji dla pasażerów: tablice przystankowe, portal internetowy i tzw. „infokioski”,
 - zintegrowany z systemem nadzoru ruchu,
- monitoring przy użyciu CCTV, ARCP (Automatycznej Rejestracji Cech Pojazdów), stacje pogodowe i stacje pomiaru parametrów ruchu,
- system parkingowy z uwzględnieniem parkomatów i tablic informujących o wolnych miejscach do parkowania,
- planowanie i informowanie o trasach alternatywnych wraz z tablicami o zmiennej treści (VMS) oraz monitoringiem ARCP.

Faza projektowania systemu zajęła 12 miesięcy, podczas których opracowano koncepcję systemu, projekt systemu (obejmujący adaptację pomieszczeń Centrum Sterowania Ruchem, projekty poszczególnych podsystemów, projekty światłowodowej sieci do transmisji danych wraz z projektem kanalizacji kablowej) oraz projekt sygnalizacji świetlnej w zakresie elektrycznym, w tym instalacji kablowych.

W ramach budowy systemu:

- zmodernizowano 45 sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniach,
- zbudowano 7 nowych sygnalizacji,
- zbudowano 30 km kanalizacji kablowej i 60 km przewodów zasilających podzespoły systemu,
- zainstalowano 83 km linii światłowodowych,
- zainstalowano 32 znaki o zmiennej treści (VMS),
- zainstalowano 180 tablic, na których jest wyświetlana informacja dla pasażerów i 20 „infokiosków”,
- zainstalowano 26 tablic informacji parkingowej i 101 parkomatów,
- zainstalowano 96 kamer,
- zainstalowano 20 stacji do pomiaru ruchu i 10 stacji pomiarów warunków atmosferycznych.

Zastosowany w systemie ITS w Bydgoszczy podsystem sterowania ruchem „SCATS” działa, zgodnie z deklaracją dostawcy systemu, w trybie tzw. „true on-line”, przy wykorzystaniu aktualnej informacji o warunkach ruchu. Oznacza to, że do sterowania wykorzystywane są aktualne dane z czujników drogowych, a sterowanie na bieżąco uwzględnia zmieniające się warunki ruchu pojazdów. Dodatkowo uwzględniana jest informacja z modelu umożliwiającego predykcję warunków ruchu.

System umożliwia wskazywanie kierowcom najszybszej drogi dojazdu do celu, wyświetlając na bieżąco informacje na ten temat na tablicach o zmiennej treści.

Dostępny jest również portal internetowy, z którego mogą korzystać kierowcy planujący podróż. W ramach portalu wyświetlana jest aktualna informacja np. o zatłoczeniu na drogach, warunkach pogodowych, czy dostępności miejsc parkingowych. Możliwy jest także podgląd obrazu z kamer.

Udostępniony mieszkańcom internetowy planer podróży umożliwia dobór trasy przejazdu, w tym jej zaplanowanie w zależności od godziny wyjazdu.

Etapy budowy systemu ITS dla Bydgoszczy obejmowały:

- analizę stanu istniejącego,
- wykonanie nowych projektów organizacji ruchu i planów koordynacji sygnalizacji świetlnej,
- modernizację skrzyżowań objętych systemem,

- implementację sterowania lokalnego (w obrębie poszczególnych skrzyżowań),
- włączanie ciągów koordynowanych,
- modernizację infrastruktury i uruchomienie priorytetów dla tramwajów.

Dla potrzeb systemu ITS w Bydgoszczy opracowano model predykcji ruchu drogowego, umożliwiający prognozowanie podstawowych parametrów ruchu dla potoków pojazdów poruszających się po drogach objętych systemem ITS. Dzięki wykorzystaniu danych z modelu ruchu możliwa jest optymalizacja natężenia potoku pojazdów poprzez informowanie kierowców o nadmiernym zatłoczeniu ulic. Możliwe jest również odpowiednie sterowanie sygnalizacją świetlną (czas trwania i moment włączenia sygnału zezwalającego na przejazd) oraz koordynacja sygnalizacji w zależności od warunków pogodowych i prognozowanych charakterystyk ruchu. W sytuacji nadmiernego nasycenia ruchem możliwe jest skracanie czasu wjazdu na drogach dojazdowych do obszaru objętego systemem ITS. W systemie zastosowano samouczący się mikromodel ruchu, dzięki czemu jakość predykcji wzrasta wraz z wpływem czasu.

Procesy symulacji, predykcji i analizy danych w modelu ruchu prowadzone są w ramach przedziałów 15-sto minutowych dla danego odcinka sieci drogowej i dla danej populacji generalnej. Populacja ta jest związana z uwarunkowaniami ruchu, opisanymi poprzez kombinacje cech spośród grup czynników, które zostały uznane za najistotniejsze dla przebiegu procesu ruchu odbywającego się w ramach rozpatrywanej sieci drogowej. Proces przetwarzania danych w systemie, ze względu na czasochłonność, realizowany jest w porze nocnej, poza okresem predykcji.

Systemu Zarządzania Ruchem systemu ITS w Bydgoszczy zawiera aplikację nadrzędną Sprint/ITS obejmującą system zarządzania ruchem na autostradach i drogach ekspresowych (Sprint/ITS/Autostrada) i system sterowania ruchem miejskim (Sprint/ITS/SCATS). Oba systemy współpracują z:

- podsystemem monitoringu ruchu,
- podsystemem informacji dla kierowców,
- znakami o zmiennej treści (VMS),
- podsystemem priorytetu dla transportu publicznego,
- podsystemem informacji dla pasażerów,
- kamerami CCTV i ARTR,
- podsystemem obszarowego sterowania sygnalizacją świetlną,
- podsystemem wyznaczania alternatywnych tras przejazdu.

Dla potrzeb systemu zastosowano detektory w postaci pętli indukcyjnych zamontowanych w jezdni.

Aplikacja centralna zawiera mapy systemu GIS (ang. Geographic Information System) z lokalizacją wszystkich elementów systemu ITS. Aktualny stan urządzeń jest zaznaczany na mapach odmiennym kolorem oznaczającym, że urządzenie jest włączone, że pracuje poprawnie, że nie można uzyskać połączenia z urządzeniem, itp. W przypadku zmiany stanu urządzenia generowane są informacje, które można odczytać po odpowiednim powiększeniu mapy GIS. Dzięki aktualnym informacjom o stanie urządzeń możliwe jest szybkie reagowanie na usterki i zmiany stanu systemu. Po odpowiednim zbliżeniu obrazu mapy i kliknięciu prawym przyciskiem myszy na wybranym obiekcie, wyświetlane są podstawowe informacje o urządzeniu i warunkach jego pracy. W przypadku wybranych urządzeń możliwy jest również bezpośredni podgląd przetwarzanych przez nie informacji – np. podgląd obrazu kamer.

Przy uwzględnieniu aktualnej informacji o sytuacji drogowej na skrzyżowaniach i pozostałym obszarze objętym systemem, możliwy jest dobór odpowiedniej strategii

sterowania. Na pracę sygnalizacji świetlnej wpływa adaptacyjny obszarowy system SCATS. System ten został poprawnie i dostatecznie zweryfikowany, w wyniku zastosowania w ponad 260 miastach w 27 krajach całego świata, gdzie steruje ruchem na 37 tysiącach skrzyżowań. Sterowanie ruchem odbywa się w czasie rzeczywistym.

W ramach systemu udzielania priorytetu dla pojazdów komunikacji publicznej Centrum Zarządzania Ruchem przesyła informacje do komputerów pojazdów o punktach meldunkowych i przydzieleniu priorytetu. Dla potrzeb udzielania priorytetu przejazdu, pojazdy są wyposażone w radionadajniki, a sterowniki sygnalizacji świetlnej w radioodbiorniki. Informacja o zgłoszeniu z punktu meldunkowego jest wysyłana do sterownika sygnalizacji świetlnej za pośrednictwem Radia Krótkiego Zasięgu. Operator systemu obsługi priorytetów powinien przypisać wybrane poziomy priorytetu do poszczególnych skrzyżowań. Następnie powinien dokonać konfiguracji wpływu warunków ruchu na poziomy priorytetu i konfiguracji priorytetów warunkowych, które są udzielane tylko wówczas, kiedy zaistnieją zdefiniowane przez operatora, specyficzne warunki ruchu pojazdów komunikacji publicznej – np. znaczne odchylenie od rozkładu jazdy. Skutkuje to ochroną ruchu samochodowego przed nadmiernym uprzywilejowaniem ruchu tramwajowego i autobusowego.

Miasto Bydgoszcz zdefiniowało, w odniesieniu do transportu indywidualnego, następujące cele działania systemu ITS:

- skrócenie średniego czasu przejazdu w korytarzach drogowych objętych projektem, o co najmniej 6%,
- zmniejszenie liczby zatrzymań.

W ramach celów dla transportu publicznego założono:

- skrócenie średniego czasu podróży pojazdami transportu szynowego w korytarzach drogowych objętych projektem o co najmniej 8%,
- zmniejszenie liczby zatrzymań.

Zgodnie z informacją podaną przez wykonawcę systemu, uzyskano następujące wartości skrócenia czasu przejazdu:

- dla komunikacji tramwajowej 12,9%, wobec wymaganego przez zamawiającego – 8,33%,
- dla komunikacji indywidualnej w ramach korytarzy z priorytetem dla tramwajów – 23,4%, wobec wymaganego przez zamawiającego – 6,03%,
- dla komunikacji indywidualnej w ramach korytarzy bez priorytetu dla tramwajów – 35,2%, wobec wymaganego przez zamawiającego – 6,03%.

Oprócz, wykonywanych poza systemem, pomiarów jego efektywności, możliwa jest bieżąca analiza efektów jakości jego działania na podstawie:

- danych z podsystemu naprowadzania pojazdów na drogi alternatywne,
- wskaźników jakości obliczanych przez system w 1-no godzinnych interwałach,
- analizy danych dla dowolnie zdefiniowanych odcinków dróg.

W wyniku jednej z analiz generowany jest profil średniej prędkości przejazdu na rozpatrywanym odcinku drogi. Możliwe jest również wykonanie analizy średniego czasu przejazdu dla tego odcinka.

4. Podsumowanie

Systemy zarządzania ruchem stosowane są z powodzeniem w krajach zachodnich od wielu lat. Obecnie w większości dużych polskich miast wdrożono zintegrowane systemy zarządzania ruchem. Jednym z nielicznych wyjątków jest miasto Warszawa, gdzie trwają

prace przygotowawcze do uruchomienia zamówienia na taki system. Zintegrowany system ITS zawiera wiele elementów. Począwszy od czujników umożliwiających bieżące monitorowanie sytuacji drogowej, aż do komponentów systemu udzielania priorytetów dla pojazdów komunikacji publicznej, elementów systemów informacji dla pasażerów, czy systemu monitoringu sieci ulicznej.

Biorąc pod uwagę efektywność systemów ITS w odniesieniu do kosztów ich wdrożenia należy stwierdzić, że inwestycja ta jest znacznie tańsza niż rozbudowa istniejącej sieci drogowej. Należy uwzględnić również, że nie zawsze istnieje możliwość rozbudowy sieci drogowej, np. o kolejne pasy ruchu, ponieważ uniemożliwia to zabudowa miasta. Biorąc powyższe pod uwagę, jak również inne zalety systemów ITS, w tym ich wszechstronność, należy spodziewać się kolejnych wdrożeń na terenie kraju. Wydaje się, że największe korzyści dla mieszkańców może przynieść zintegrowany system ITS obejmujący znaczą liczbę usług dla mieszkańców ułatwiających przemieszczanie się.

Należy mieć na uwadze, że wraz z rozwojem gospodarczym, społecznym i środowiskowym będzie rosła liczba mieszkańców miast. Według prognoz ONZ, w 2050 roku, liczba mieszkańców miast będzie wynosiła 66% ogółu populacji [12]. Będzie to powodowało wzrost zapotrzebowania na mobilność społeczeństwa, zdefiniowaną jako szeroko rozumianą potrzebę i sposób przemieszczania towarów i osób. Rosnącą potrzebę poprawy mobilności mieszkańców dostrzega też Unia Europejska wdrażając programy i strategie podnoszenia mobilności społeczeństwa i działań na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego. Wdrażanie systemów ITS wpisuje się w tego typu działania zarówno w zakresie poprawy mobilności, jak również w zakresie poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, z uwzględnieniem działań na rzecz zwiększenie płynności ruchu.

LITERATURA:

- [1]. Kamiński T., Matysiak A., Niezgoda M., Kruszewski M.: Wybrane aspekty funkcjonowania systemów ujawniania wykroczeń drogowych, *Transport Samochodowy*, Warszawa 2013.
- [2]. Kamiński T., Mitraszewska I., Niezgoda M., Kruszewski M.: Badanie przydatności punktów kamerowych ARTR (automatyczne rozpoznawanie tablic rejestracyjnych) do monitorowania pasów autobusowych, *Infrastruktura Transportu*, Katowice 2010.
- [3]. Kamiński T., Niezgoda M., Kruszewski M., Matysiak A., Filipek P.: Technical and organizational aspects of the Automatic Number Plate Recognition System (ANPR), *Archives of Transport System Telematics*, Vol. 5, iss. 3, 2012.
- [4]. Kamiński T., Niezgoda M., Siergiejczyk M., Oskarbski J., Świdorski A., Filipek P.: Wpływ stosowania usług inteligentnych systemów transportowych na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, zeszyt 113, Warszawa 2016.
- [5]. Kamiński T.: Praca zbiorowa pt. „Kodeks Dobrych Praktyk (cz. II). Wdrażanie miejskich systemów ITS”. *Polski Kongres ITS*, Warszawa 2016.
- [6]. Kamiński T.: Praca zbiorowa pt. „KODEKS DOBRYCH PRAKTYK efektywnego wdrażania Inteligentnych Systemów Transportowych”. *Polski Kongres ITS*, Warszawa 2015.
- [7]. Łazowska E., Kamiński T., Niezgoda M., Kruszewski M., Grzeszczyk R.: The concept of automatic road safety evaluation, *Combustion Engines*. 2013, 154(3), 728-734. ISSN 0138-0346, 2013.
- [8]. Matysiak A., Kamiński T., Kruszewski M., Niezgoda M.: The analysis of ANPR camera location points in bus lanes monitoring system in the city of Warsaw, *Journal of KONES*, Vol. 20, No. 4, 2013.

- [9]. Niezgoda M., Kruszewski M., Kamiński T., Tarnowski A.: Operationalization of DBQ measures in the driving simulation environment, International Conference Road Safety and Simulation, 22-25.10.2013, Rome, Italy.
- [10]. Pawlus D., Tarnowski A., Lewkowicz R., Kamiński T., Kruszewski M.: Innowacyjny zestaw metod i narzędzi do analizy infrastruktury drogowej w aspekcie poprawy bezpieczeństwa, *Logistyka* 6/2014, s. 8514.
- [11]. Proper, Allen T.: Intelligent Transportation System Benefits: 2003 Update. U.S. Department of Transportation, Washington D.C. 2002.
- [12]. World Urbanization Prospects 2014, United Nations, New York, 2014.