

# ZASTOSOWANIE SYSTEMÓW ITS DO STEROWANIA RUCHEM ULICZNYM W MIASTACH NA PRZYKŁADZIE DOTYCHCZASOWYCH ROZWIĄZAŃ

Kazimierz LEJDA<sup>1</sup>, Krzysztof ŁAKOTA<sup>2</sup>

## 1. WPROWADZENIE

Ciągle wzrastające potrzeby komunikacyjne prowadzą do przeciążenia istniejącej sieci transportowej, w szczególności w obszarach miejskich, ze względu na bardzo wysoki stopień zatłoczenia oraz zanieczyszczenie środowiska naturalnego (emisja spalin, wysoki poziom hałasu). W wyniku tego, szybko rosnące natężenie ruchu skutecznie ogranicza wolną przestrzeń na drogach. Główne przyczyny takiej sytuacji to ograniczone możliwości rozbudowy istniejącej sieci komunikacyjnej oraz rosnące potrzeby ruchowe w transporcie indywidualnym jak i publicznym. Dlatego zachodzi potrzeba tworzenia nowych, efektywnych systemów, które mają służyć poprawie funkcjonowania infrastruktury transportowej. W artykule przedstawiono wdrożone metody sterowania ruchem na przykładzie dotychczasowych rozwiązań na świecie.

## 2. STEROWANIE RUCHEM DROGOWYM W WARUNKACH MIEJSKICH

Dotychczasowe tradycyjne metody zarządzania ruchem ograniczają się do udziału w modernizacji przestarzałych rozwiązań technologicznych i ich eksploatacji. Obecne trendy światowe w zakresie zarządzania ruchem wprowadzają szereg innowacyjnych technologii, polegających na monitorowaniu i interweniowaniu w momencie wystąpienia sytuacji nietypowych, takich jak: zatłoczenie, wypadki, czy też roboty drogowe.

Prace nad systemami tego typu trwają już od ponad połowy dekady. Pierwsza implementacja została wdrożona w Toronto. Opracowano dużą liczbę modeli, ale ze względu na bardzo dużą złożoność zintegrowanych systemów zarządzania ruchem, nie udało się znaleźć do tej pory rozwiązania sprawdzającego się w każdym warunkach. Dlatego też Komisja Europejska zdecydowała o utworzeniu projektu KAREN (*ang. Keystone Architecture Required for European Networks*), którego celem jest standaryzacja europejskiej struktury architektury systemów ITS (*ang. Intelligent Transportation Systems*). Obecnie projekt KAREN jest uaktualniany i rozszerzany przez projekt FRAME (*ang. Framework Architecture Made for Europe*) i stosowany w wielu krajach europejskich jako podstawa narodowej, regionalnej i miejskiej struktury systemu. Europejska Architektura ITS jest zaprojektowana by dostarczyć elastyczną strukturę, którą inne kraje mogą dostosować do ich własnych potrzeb. Zgodnie z przyjętymi kanonami architektury FRAME<sup>3</sup> system zarządzania ruchem miejskim powinien uwzględniać następujące elementy [1]:

- istniejącą infrastrukturę drogową,
- pojemność komunikacyjną obszaru,
- prognozę zmian natężenia ruchu obszaru,
- prognozę zmian rozłożenia ruchu powodujących zaburzenia płynności ruchu,
- przepustowość dróg i ulic na odcinkach między skrzyżowaniami,
- przepustowość skrzyżowań,
- zyski lub straty czasu dla pojazdów indywidualnych oraz użytkowników komunikacji zbiorowej,
- koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, wynikające z wprowadzenia i funkcjonowania systemu zarządzania ruchem miejskim.

<sup>1</sup>Prof. dr hab. inż. Kazimierz Lejda; Politechnika Rzeszowska, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, [klejda@prz.rzeszow.pl](mailto:klejda@prz.rzeszow.pl)

<sup>2</sup>mgr inż. Krzysztof Łakota, Miejski Zarząd Dróg, ul. Targowa 1, 35-064 Rzeszów, [krzysztof.lakota@mzd.ereszow.pl](mailto:krzysztof.lakota@mzd.ereszow.pl)

<sup>3</sup>FRAME – Europejska Ramowa Architektura systemów ITS stworzona w celu zapewnienia stabilnych ram niezbędnego minimum do wdrożenia zintegrowanych systemów ITS w Unii Europejskiej.

Systemy obszarowego sterowania ruchem stosuje się często w układach drogowych, charakteryzujących się dużymi stratami czasu i występowaniu kolejek na dojazdach. W skład obszarowych systemów sterowania ruchem najczęściej wchodzi następujące podsystemy: sterowania sygnalizacją świetlną, informowania kierowców, poboru opłat, planowania podróży, zarządzania komunikacją zbiorową, nawigacji czy też sterowania trakcją. W odniesieniu do obszarów miejskich są to systemy monitorujące, sterujące i zarządzające ruchem drogowym w obszarach miejskich, z reguły centralnie sterowane przez system nadrzędny. W centrach tych zbierane są informacje z sensorów i kamer rozmieszczonych na drogach. Na podstawie zbieranych informacji dotyczących charakterystyk ruchu drogowego, komputer centralny systemu podejmuje decyzję o zmianie parametrów sygnalizacji świetlnej w celu minimalizacji efektywnych miar sterowania [2].

Dodatkowymi parametrami, które mogą być brane pod uwagę przy optymalizacji sterowania i zarządzania, są parametry odpowiadające za płynność ruchu oraz przepustowość. Płynność ruchu zależy od:

- strat czasu na poszczególnych skrzyżowaniach,
- liczby zatrzymań pojazdów,
- długości kolejek na pasach dojazdowych do skrzyżowań,
- rozkładu strat czasu,
- rozkładu długości kolejek.

W algorytmach zarządzania ruchem drogowym coraz częściej stosowane są metody sztucznej inteligencji, takie jak: logika rozmyta, algorytmy genetyczne czy sieci neuronowe. W kolejnych punktach artykułu zostały przedstawione powszechnie stosowane algorytmy sterowania ruchem ulicznym.

### **3. BALANCE – BALANCING ADAPTIVE NETWORK CONTROL METHOD**

Rozwiązanie zaproponowane przez niemiecki koncern GEVAS jest podejściem typowo adaptacyjnym do kwestii sterowania ruchem w sieci transportowej miasta. System umożliwia efektywną reakcję na ciągle zmieniające się natężenie ruchu oraz ogólny wgląd na stan ruchu w obrębie zatłoczonej sieci miasta. Kolejne kroki sterowania realizowane są poprzez optymalizację ramowych planów sygnalizacji w interwałach 5 minutowych [3]. Zadaniem sterowania lokalnego jest nadzór w skali mikro, mający na celu przede wszystkim przyspieszenie ruchu pojazdów komunikacji publicznej, co gwarantuje szybką reakcję na zaistniałe zdarzenie oraz podjęcie natychmiastowego optymalnego sterowania.

Architektura systemu rozdziela jego funkcjonalność sterowania sygnalizacją świetlną hierarchicznie na dwa poziomy:

- poziom lokalny – reakcja na krótkotrwałe zmiany w przebiegu ruchu w interwałach sekundowych (skala mikro),
- poziom taktyczny – algorytmy systemu realizują sterowanie w długotrwałym obszarze sterowania w interwałach czasowych od 5 do 15 minut (skala makro).

Odwzorowanie ruchu i optymalizacja sterowania sygnalizacją w systemie odbywa się za pomocą złożonych modeli matematycznych. Zastosowane algorytmy skutecznie przeszukują złożoną przestrzeń rozwiązań wykorzystując do optymalizacji algorytmy genetyczne, dzięki czemu system jest stabilny i nieskomplikowany do skalibrowania. BALANCE współpracuje z detektorami ruchu wykrywającymi luki między pojazdami, które stosowane są do obsługi programów zależnych od bieżących wahań ruchu, co nie wymaga umieszczania dodatkowych detektorów znajdujących się na wyjazdach.

Można wyróżnić 4 grupy funkcjonalne systemu [4]:

- akwizycja danych przez system detekcji (na tym etapie system rejestruje aktualny stan ruchu ulicznego w ramach pomiaru jego parametrów; dla każdego kroku iteracyjnego sterowania detektory rejestrują ruch w postaci pomiarów przekrojowych; pomierzone wartości poddawane są testowi poprawności oraz agregowane są w odniesieniu do ich

wykorzystania; na tej podstawie tworzone są modele i optymalizacja zatorów na ciągach ulic),

- modelowanie ruchu (model ruchu drogowego składa się z części makroskopowej i mikroskopowej; w modelu makroskopowym na podstawie zadanej macierzy ważonej oraz dopływów i odpływów ruchu pomierzonych na granicach sieci, dokonywana jest estymacja macierzy podróży na podstawie wielkości natężeń na odcinkach sieci transportowej; model mikroskopowy uwzględnia wpływ sygnalizacji świetlnej, czasu podróży i rozkładu kolumny pojazdów w czasie wskutek różnych prędkości; jest to proces iteracyjny, w którym na końcu procesu modelowania definiowane są profile przepływu ruchu dla węzłów sieci),
- ocena sterowania (skutkiem zastosowania modelu jest prognoza dla następnego interwału czasowego oraz określenie m.in. czasów oczekiwania pojazdów, liczby zatrzymań i długości zatorów przed skrzyżowaniami; parametry tworzone są przez dwa modele cząstkowe; model mikroskopowy umożliwia optymalizację długości sygnału zielonego i offsetów pomiędzy sąsiadującymi skrzyżowaniami; losowe wahania i przeciążenia sieci odwzorowywane są za pomocą makroskopowego modelu kolejkowego; w wyniku tego modelowania otrzymywane są czasy oczekiwania i średnie długości zatorów powstałe wskutek pomierzonych wahań ruchu; suma czasów oczekiwania obu modeli cząstkowych wykorzystywana jest następnie do obliczania indeksu wydajności),
- tworzenie alternatyw sterowania (mając na uwadze istotę uczenia się algorytmów genetycznych, w miarę kolejnych iteracji uzyskuje się lepsze parametry sterowania; rezultatem optymalizacji jest ramowy plan sygnalizacji sporządzony dla każdego pojedynczego skrzyżowania; plan ten określa stałe i zmienne zakresy cyklu sygnalizacji wspólnego dla wszystkich instalacji sygnalizacji świetlnej w obrębie jednego korytarza ruchu).

Wdrożenia systemu BALANCE zakończone zostały powodzeniem w niemieckich miastach, m.in. Hamburgu, Ingolstadt oraz Frankfurcie nad Menem.

#### **4. MOTION – METHOD FOR THE OPTIMIZATION OF TRAFFIC SIGNALS IN ONLINE CONTROLLED NETWORKS**

System sterowania MOTION jest sposobem optymalizacji sterowania sygnalizacją świetlną sieci dróg miejskich. Opiera się na sterowaniu fazowym oraz wspartym modelowo obrazie sytuacji ruchu w sieci dróg ulicznych. Kluczowym elementem obrazu ruchu jest dynamiczne określanie obciążonych skrzyżowań w sieci. W wyniku decyzji na poziomie operacyjnym wysyłane są krótko i średniookresowe sygnały sterujące. Poprzez odpowiednie zmiany sterowania możliwe jest płynne dostosowanie się do zewnętrznych warunków brzegowych wynikających z topografii sieci, geometrii sieci transportowej i oczekiwanej strategii sterowania wraz z uprzywilejowaniem ruchu dla pojazdów komunikacji zbiorowej. W systemie tym zastosowano konwencjonalne techniki pomiarowe służące do określania ruchu pojazdów indywidualnych oraz ruchu w ramach publicznej komunikacji miejskiej.

W systemie sterowania ruchem MOTION rozróżnia się zasadniczo trzy poziomy funkcjonalne [5]:

- poziom strategiczny; na tym poziomie ustalane są długości cyklu sygnalizacyjnego, średnie otwarcia sygnału zielonego, kolejność podstawowych faz oraz koordynacja sieciowa (od 5 – 15 minut),
- poziom taktyczny; wpływa na aktualną długość cyklu sygnalizacyjnego (od 60 – 90 sekund),
- poziom operacyjny; reaguje na ruch lokalny co sekundę.

Generalna strategia systemu MOTION polega na możliwie płynnym kształtowaniu ruchu w całej sieci drogowej. W tym celu konieczne jest wczesne wykrywanie przeciążeń, aby podjąć skuteczne działania w celu uniknięcia zatrzymań i związanych z nimi szkodliwymi emisjami spalin do środowiska naturalnego.

Dane niezbędne dla funkcjonowania systemu można podzielić na sieciowe dane strategiczne i dane lokalne. Dane wymagane do podejmowania decyzji strategicznych pozyskiwane są na punktach zewnętrznych sieci oraz w punktach krytycznych wewnątrz sieci w odległości 100 – 150m przed linią zatrzymania przy braku zatoru. Na poziomie lokalnym sterownika, czujniki instalowane są w odległości około 40m przed linią zatrzymania lub około 20m za zjazdem ze skrzyżowania [6]. Pozyskiwane przez czujniki dane wykorzystywane są do sterowania takimi wielkościami, jak: natężenie ruchu, stopień zajęcia detektora lub długość kolejek. Na podstawie tych informacji określone są optymalne kolejności faz sygnalizacyjnych z odpowiednimi czasami zmiany sygnałów (m.in. początek sygnału, koniec sygnału zielonego, minimalizacja oczekiwania, minimalizacja zatrzymań). W następnej kolejności wybierane jest najlepsze rozwiązanie koordynacji sieciowej. Jako kryterium oceny służy funkcja celu wynikająca z czasów postoju i zatrzymywania oraz rzeczywistego czasu jazdy. Przy zastosowaniu określonych wielkości sterowania tworzony jest plan dla każdego skrzyżowania w przypadku występowania warunków technicznych niezbędnych do sterowania zależnego od ruchu. Plany te aktualizowane są w interwałach od 5 – 15 minut. System MOTION realizuje automatyczne wykrywanie zakłóceń w ruchu przy pomocy danych pochodzących z detektorów. Jako zakłócenia rozumiane są zarówno regularne przeciążenia ruchu w postaci zatorów, jak również przypadkowe zdarzenia, np. wypadki. Ich natychmiastowe wykrycie pozwala na podjęcie odpowiednich kroków w celu minimalizacji negatywnych skutków na sieci ulicznej. Wykorzystano przy tym doświadczenia z projektu DRIVE MONICA, polegające na opracowaniu algorytmów zależności natężenia ruchu pomiędzy sąsiednimi miejscami pomiaru [7]. Algorytmy optymalizacyjne umożliwiają stosowanie różnych strategii eliminacji zakłóceń.

Niemiecki system MOTION jest zainstalowany w wielu miastach starego kontynentu, m. in. w Kopenhadze, Pradze, Atenach, a także w Polsce w Warszawie oraz Krakowie.

## **5. SCATS – SYDNEY COORDINATED ADAPTIVE TRAFFIC SYSTEM**

SCATS jest jednym z najstarszych systemów zastosowanych do sterowania ruchem ulicznym. Zapewnia adaptacyjne sterowanie ruchem na obszarze miasta w czasie rzeczywistym. Jako jedyny z prezentowanych w artykule rozwiązań analizuje parametry ruchu w krokach jednosekundowych i na tej podstawie steruje długością cykli, faz i offsetów. Optymalne parametry pracy sygnalizacji świetlnej pozwalają na efektywne wykorzystanie istniejącego układu ulicznego i zmniejszenie uciążliwych dla kierowców zatorów [8]. Najważniejszym celem stawianym funkcjonalności systemu jest zapewnienie w pełni automatycznej koordynacji sygnalizacji świetlnej, a przez to ograniczenie do minimum liczby zatrzymań i opóźnień pojazdów. Zadaniem systemu SCATS jest optymalizacja sterowania ruchem pojazdów w sieci ulicznej oraz przydzielenie priorytetów pojazdom transportu publicznego. Architektura systemu składa się z trzech poziomów [9]:

- poziomu sterowników lokalnych, odpowiedzialnego za taktyczne decyzje w zakresie sterowania ruchem oraz zbieranie, przetwarzanie i przesyłanie do poziomu nadrzędnego danych o ruchu,
- poziomu komputerów regionalnych, odpowiadającego za strategiczne decyzje w zakresie sterowania ruchem, tj. określanie strategii sterowania, wyznaczanie długości cyklu oraz offsetów,
- poziomu centralnego, nadzorującego stan pracy całego systemu.

Informacje o wahaniami warunków ruchu zebrane przez system detekcji są analizowane przez system SCATS w danym cyklu i zostają uwzględniane w parametrach sterowania w kolejnych cyklach. Algorytmy systemu analizują dane o ruchu w czasie rzeczywistym, aby automatycznie obliczyć optymalny plan sygnalizacji świetlnej dostosowany do aktualnych warunków ruchu.

Dane, które zostały zebrane, odpowiednio są przetwarzane a następnie optymalizowane jako plany programów sygnalizacyjnych w zależności od panujących aktualnie warunków ruchu.

Parametrem wpływającym na zmianę warunków ruchu jest stopień nasycenia w danym obszarze sieci (ocena procentowa gęstości ruchu w stosunku do przepustowości), która skutkuje optymalizacją sieci drogowej. Bezpośrednio wpływa to na zmniejszenie zatłoczeń oraz liczby zatrzymań. Tryb „on-line” na bieżąco śledzi parametry ruchu i dobiera długości czasów cyklu oraz sygnałów zielonych na skrzyżowaniach w celu wyboru jak najlepszego kompromisu pomiędzy przepustowością a czasem podróży. System SCATS może przyjmować odpowiednią strategię również dla nieprzewidzianych obciążeń ruchu występujących podczas imprez masowych [10]. W przypadku wystąpienia takiego zdarzenia, system automatycznie określa najlepszą reakcję na taką sytuację. Stacje robocze operatorów korzystają z programów dla klientów, które mogą łączyć się za pośrednictwem sieci LAN, WAN, telefonii przewodowej lub sieci komórkowej GSM.

## **6. SCOOT – SPLIT, CYCLE AND OFFSET OPTIMIZATION TECHNIQUE**

Założenia systemu SCOOT były wynikiem bardzo małej efektywności systemów niższej generacji, spowodowanej przez zakłócenia w ruchu wywoływane zmianą planów sygnalizacji niewłaściwym prognozowaniem parametrów potoku ruchu [11]. Wiele cech systemu SCOOT zostało zapożyczonych od metody TRANSYT/9<sup>4</sup>. Do obliczania strat czasu i zatrzymań pojazdów wykorzystano profile intensywności ruchu w postaci histogramów poddawanych dyspersji. W metodzie SCOOT składniki funkcji celu są przeliczane co kilka sekund, podobnie jak ma to miejsce w systemie SCATS, na podstawie bieżących pomiarów profili intensywności ruchu. Pomiary wykonywane są przez przeznaczone do tego celu detektory umieszczone na wylotach skrzyżowań (dzięki temu otrzymuje się obraz kolumn pojazdów poruszających się wzdłuż głównych arterii). Aktualizowane profile intensywności ruchu, wraz z ustalonymi wcześniej natężeniami nasycenia i czasami jazdy, są wykorzystywane do prognozowania długości kolejek pojazdów na kolejnych skrzyżowaniach. Oprócz wyliczania funkcji celu, sprawdzane są długości kolejek. Splitsy i offsety są w metodzie SCOOT na bieżąco aktualizowane małymi krokami dla minimalizacji długości kolejek w sieci [12]. Długość cyklu jest także dobierana tak, aby najbardziej obciążone skrzyżowanie działało przy stopniu obciążenia ok. 90%, przy czym stała długość cyklu jest utrzymywana jedynie w podobnych obszarach a diagnostyka detektorów, sterowników lokalnych i elementów systemu łączności pozwalała na utrzymanie sprawności systemu. Wdrożone i uruchomione instalacje systemu SCOOT występują w Londynie oraz Madrycie.

## **7. PIACON – POLYOPTIMAL INTELLIGENT AND INTEGRATED TRAFFIC CONTROL METHOD**

W 2008 roku, przy udziale inżynierów z Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie oraz jednego z holenderskich producentów sterowników sygnalizacji świetlnej, powstała nowoczesna, a zarazem unikatowa metoda, oparta na wykorzystaniu systemów ekspertowych do sterowania ruchem drogowym w miastach [13]. Algorytmy zaproponowanej metody wdrożono w mieście Lubin (województwo dolnośląskie). W początkowej fazie działania i testowania systemu włączono 4 skrzyżowania z sygnalizacją świetlną. Docelowo zakłada się rozbudowę systemu, do którego będzie włączonych 35 urządzeń sterujących znajdujących się na obszarze miasta.

Sterowanie PIACON bazuje na trzech zintegrowanych ze sobą poziomach [14]:

- sterowanie lokalne na pojedynczym skrzyżowaniu określone przez wyższe poziomy np. arterię lub sieć (proces sterowania na poziomie lokalnym wykorzystuje offset oraz długości czasów dla sygnałów zielonych),
- sterowanie arterią (aby osiągnąć lepszą efektywność sterowania koordynacji liniowej, stosuje się dynamiczne obliczanie w oparciu o aktualną sytuację ruchową; sygnały zielone dla poszczególnych potoków ruchu są wyliczane z cyklu na cykl),

---

<sup>4</sup>TRANSYT/9 – metoda optymalizacji koordynacji sygnalizacji w arteriach i w sieciach skrzyżowań, wykorzystująca deterministyczny makromodel przepływu potoków ruchu w arterii z sygnalizacją.

- sterowanie siecią lub obszarem (metoda optymalizacji sieci zastosowana w PIACON szuka kompromisu między sterowaniem w podobszarach a arteriami; czasowy horyzont tej optymalizacji to 15 minut a dane agregowane są w interwałach 5 sekundowych; do poszczególnych sieci podobszarów mogą być wprowadzone różne kryteria; arterie mogą być określane dynamicznie a część arterii może być pomijana w obliczeniu wspólnego cyklu i offsetu dla koordynacji).

Prezentowana metoda bazuje na informacji o ruchu dostarczanej przez detektory ruchu, którymi mogą być pętle indukcyjne lub wideodetektory. Informacja niezbędna do realizacji procesu transportowego to: liczba pojazdów, odstęp pomiędzy pojazdami, zajętość detektorów, długość kolejek, miarodajna prędkość pojazdów. Na podstawie tych danych otrzymuje się wartości ruchowe dla konkretnych skrzyżowań w postaci nasycenia ruchu, przepustowości, zajętości, długości kolejki oraz straty czasu. W następnym kroku obliczane są tzw. markery ruchu, opisujące sytuacje ruchowe. Z kolei za pomocą odpowiednich reguł obliczane są mody sterowania. Liczba zatrzymań, straty czasu, rezerwa przepustowości oraz długości kolejek stanowią główne kryteria optymalizacyjne.

Metoda PIACON daje obecnie możliwość wyróżnienia następujących modów sterowania [15]:

- liczba zatrzymań,
- straty czasu,
- przepustowość,
- długość kolejki,
- zator uliczny,
- zużycie paliwa,
- emisja zanieczyszczeń powietrza.

Różne aspekty sterowania reprezentowane przez te mody są zintegrowane w odpowiedni zbiór kompromisów (w przestrzeni kryteriów). Następnie algorytm dokonuje ostatecznego wyboru wielokryterialnego rozwiązania z tego zbioru kompromisów. Obliczone dane, a są nimi gotowe zmienne programu sterowania, uwzględniane są w procesie sterowania lokalnego.

## 8. WNIOSKI

Zaprezentowane w artykule metody optymalizacji, w każdym z przedstawionych systemów sterowania, mają zawsze na celu zmniejszenie bądź zwiększenie wydajności procesu transportowego. Poczynając od rozwiązań opartych na starszych metodach, a skończywszy na bardzo skomplikowanych algorytmach sterowania, otrzymuje się wymierne rezultaty. Nie sposób wymienić wszystkich zalet, jednak do najistotniejszych można zaliczyć:

- skrócenie czasu przejazdu,
- większą płynność ruchu,
- zwiększenie bezpieczeństwa na drogach,
- monitorowanie ruchu w mieście przez centrum zarządzania,
- udzielanie priorytetu pojazdom komunikacji zbiorowej i uprzywilejowanym,
- zmniejszenie zużycia paliwa,
- zmniejszenie emisji spalin,
- możliwość indywidualnego planowania trasy na podstawie bieżącej informacji o ruchu zamieszczanej na znakach zmiennej treści VMS oraz w Internecie,
- możliwość pozyskiwania danych statystycznych.

Zarówno z prowadzonych badań oraz z przytoczonych wdrożeń w wymienionych aglomeracjach można wnioskować, że aplikacja tego typu systemów na terenie miast jest korzystna zarówno dla kierowców, pieszych i środowiska naturalnego oraz rzutuje opiniotwórczo na operatywność władz municypalnych w zakresie poprawy bezpieczeństwa ruchu ulicznego.

## LITERATURA

- [1] R. T. van Katwijk, B. de Schutter, Hellendoorn J.: *Look-ahead traffic-adaptive signal control*. Technical Report 07-020, Delft University of Technology 2007.
- [2] Intelligent Transportation Systems (ITS) – *Statewide Plan, Advanced Traffic Analysis Center Upper Great Plains*. Transportation Institute North Dakota State University Fargo, North Dakota October 2004.
- [3] Gevas Software: *BALANCE – intelligent signal control for sustainable road traffic*. Monachium 2009.
- [4] Gevas Software: *Traffic Research in Bavaria for the best signal control in cities*. BALANCE – Adaptive Network Control. Monachium 2010.
- [5] Siemens A.G.: *Motion – Optimized signal control for less congestion*. Monachium 2010.
- [6] Kubanek S.: *Możliwości nowoczesnych zintegrowanych systemów zarządzania ruchem na przykładzie systemu warszawskiego*. Warszawa 2011.
- [7] Siemens A.G.: *MOTION: System optymalizacji sterowania miejską sygnalizacją świetlną*. Monachium, 2005.
- [8] Sims A. G., Dobinson K. W.: *The Sydney Coordinated Adaptive Traffic (SCAT) System Philosophy and Benefits*. IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. Vt-29, No.2, May 1980 pp.130-137.
- [9] Giedryś A.: *Wdrażanie system zarządzania ruchem w Łodzi*. Przegląd ITS nr 7/8, lipiec/sierpień, Warszawa 2008.
- [10] Łakota K.: *Pilotażowy system sterowania ruchem SCATS w Rzeszowie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, SAKON, Rzeszów 2009.
- [11] <http://www.scoot-utc.com/> - SCOOT – urbantrafficcontrol system.
- [12] Halkias J., Malek S.: *Advanced Transportation Management Technologies*. Office of Technology Applications, USA 1997.
- [13] Miśkiewicz M.: *ViaPIACON – polska metoda sterowania ruchem drogowym*. Przegląd ITS nr 4, Warszawa 2008.
- [14] Adamski A.: *PIACON: Polyoptimal intelligent and integrated traffic control method*. Institute of Automatics – Cracow University of Mining and Metallurgy Institute of Construction and Transport Management. Cracow 2007.
- [15] Adamski A.: *Piacon-discon integrated approach to public transport priority control at traffic signals*. Advanced OR and AI Methods in Transportation. Poznan University of Technology, 2005

## APPLICATION ITS SYSTEMS IN URBAN TRAFFIC CONTROL BASED ON CURRENT SOLUTIONS

Continually growing communication needs lead to overload of the existing transport network, particularly in urban areas, due to the very high level of congestion and environmental pollution. As a result, the rapidly growing traffic effectively limits space on our roads. The main reasons for this situation is limited expansion of the existing communication network and the increasing needs in individual and public sector. Therefore there is a need to create new, effective transportation systems that are intended to improve the transport infrastructure. This paper presents implemented urban traffic control methods on the example of the existing solutions in the world.