

Łukasz Chołaj

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

INTELIĞENTNE SYSTEMY STERUJĄCE SYGNALIZACJĄ JAKO ELEMENT ZARZĄDZANIA KOMUNIKACJĄ MIEJSKĄ

Wprowadzenie

Pomimo stale poprawiającej się infrastruktury drogowej, współczesne aglomeracje borykają się z licznymi problemami w zarządzaniu komunikacją miejską. W aktualnych warunkach tanim i prostym rozwiązaniem może okazać się utworzenie inteligentnego systemu sterowania komunikacją miejską. Do istotnych komponentów takiego rozwiązania należy zaliczyć m.in. identyfikację pojazdów oraz heurystyczne systemy zarządzania komunikacją. Celem artykułu jest przedstawienie szans i zagrożeń wdrożenia takiego rozwiązania, a także skonfrontowanie przykładowych propozycji z rozwiązaniami zagranicznymi w ramach koncepcji zwanej smart city.

Biorąc pod uwagę z jednej strony ciągły wzrost liczby pojazdów w arteriach miejskich oraz rosnące znaczenie transportu samochodowego, a także jego strukturę i dynamikę rozwoju w porównaniu do innych środków transportu towarów i osób, można stwierdzić, że to właśnie transport samochodowy jest jednym z kluczowych sektorów gospodarczych w Polsce. Z drugiej strony zbyt wolna rozbudowa sieci dróg miejskich lub nawet w niektórych aglomeracjach niemożliwa czy też nieopłacalna hamuje rozwój miast. Zdarza się, że wprowadzane rozwiązania mające na celu podnoszenie bezpieczeństwa, takie jak zamknięcie odcinków dróg lub obniżanie dozwolonej prędkości sprawia, że sektor ten bezpośrednio i pośrednio traci na efektywności. Wszystkie te okoliczności powodują, że temat optymalizacji ruchu drogowego zaczyna stanowić kluczowe zagadnienie dla sektora transportowego.

Nie bez znaczenia jest również istotny, lecz często pomijany w opracowaniach fakt dotyczący korzyści płynących dla gospodarki z udrażniania systemu drogowego. Należy przy tym wziąć pod uwagę nie tylko publiczne przewozy czy prywatne przedsiębiorstwa logistyczne, które mogą zyskać na poprawie

systemu, ale również prywatne osoby, oszczędzające czas przejazdu, którego nie da się jednoznacznie oszacować (niemniej nie można bagatelizować tej kwestii). Każda dowolna organizacja, czy jednoosobowa działalność gospodarcza, w której wykorzystuje się pojazd w celach zarobkowych może potencjalnie zyskać (np. dotrzeć do większej ilości odbiorców, czy szybciej dostarczyć usługi swoim klientom), poczynając od nauczycieli, po brokerów mieszkaniowych, doradców ubezpieczeniowych, a kończąc na bankowych negocjatorach. Wszystkie te podmioty zyskają na poprawie systemu, skracając czasy oczekiwania w swoich procesach operacyjnych oraz poprawiając ich efektywność, a także minimalizując koszty m.in. ze względu na rosnące ceny paliw.

Kolejnymi negatywnymi skutkami zwiększonego natężenia transportu drogowego są zatory drogowe powodujące zanieczyszczenie powietrza oraz zwiększenie natężenia hałasu. Wpływają one również na bezpieczeństwo i śmiertelność mieszkańców aglomeracji poprzez wydłużenie czasu przybycia karetki do chorego wymagającego nagłej pomocy, co nierzadko jest kwestią życia bądź śmierci. Analogiczna sytuacja może dotyczyć czasu oczekiwania na przybycie wozu strażackiego czy patrolu policji.

Niejednokrotnie zdarza się także, że ze względu na wydłużający się czas oraz rosnące koszty ponoszone na dojazdy, wykwalifikowani pracownicy rezygnują z dotychczasowej pracy na rzecz innej, co niekoniecznie może wpływać na wyższą produktywność gospodarki. Innymi słowy, organizacje dążące do pozyskania najlepszych specjalistów i decydujące się na sytuowanie swoich siedzib w dużych aglomeracjach mogą ich w konsekwencji tracić. Aktualnie zauważa się tendencję przenoszenia zakładów pracy poza granice miast, czyli odwrócenia się podstawowych funkcji aglomeracji.

Przedstawione argumenty dowodzą, że rozwiązanie usprawniające ruch drogowy może przynieść potencjalnie korzyści dla całej gospodarki narodowej.

1. Charakterystyka problemu

Aby lepiej zrozumieć przedstawiony problem, warto zwrócić uwagę na kilka kluczowych wskaźników dotyczących transportu w Polsce. Wszystkie przytoczone dane pochodzą z opracowań GUS¹.

Dane te dotyczą podmiotów gospodarczych prowadzących działalność związaną z zapewnieniem transportu osób lub towarów oraz działalności wspomagającej (takiej jak przeładunek, czy magazynowanie).

¹ *Transport – Wyniki Działalności w 2011 r.*, GUS, Warszawa 2012; *Transport – Wyniki Działalności w 2012 r.*, GUS, Warszawa 2013.

Biorąc pod uwagę kształtowanie się dynamiki oraz struktury przewozu ładunków, transport samochodowy stanowi główny rodzaj transportu w Polsce po transporcie kolejowym, lotniczym oraz żegludze śródlądowej i morskiej. Wszystkimi rodzajami transportu przewieziono prawie 1,9 mld t ładunków w 2012 r., z czego prawie 80% transportem samochodowym (odnotowana wartość to ok. 1,5 mld t). Odnotowany został również wzrost ilości przewiezionych ładunków transportem samochodowym na przestrzeni ostatnich 10 lat. Nie bez znaczenia pozostaje także ciągły wzrost odległości, na jaką towary są przewożone.

W odniesieniu do przewozów pasażerów środkami transportu publicznego, transport samochodowy dwukrotnie przewyższa pod względem wolumenu ilości przewiezionych osób w porównaniu do transportu kolejowego i pomimo ciągłego spadku użytkowników wyniósł on w 2012 r. pół mld pasażerów. Spadek ten w znacznej mierze jest spowodowany migracją użytkowników z transportu publicznego do prywatnego lub do własnych samochodów (wzrost udziału sektora prywatnego z ok. 10% w 2001 r. do 63% w 2012 r.).

Kolejnym wskaźnikiem jest ilość samochodów osobowych na 1000 mieszkańców. W ciągu ostatnich 11 lat odnotowano wzrost z ok. 250 samochodów do prawie 500 na 1000 mieszkańców (równe z średnią unijną), co dawało w sumie 18,7 mln samochodów osobowych na koniec 2012 r. (przy wzroście o ok. 0,6 mln w porównaniu z 2011 r.). Liczba wszystkich zarejestrowanych samochodów według stanu na ostatni dzień 2012 r. wynosiła prawie 25 mln i było to o 0,7 mln więcej niż w roku poprzednim. Przeciętne zatrudnienie w sektorze transportu samochodowego osiągnęło prawie 0,5 mln. Przedstawione statystyki są optymistyczne dla sektora transportu, niemniej porównując je z kluczowym czynnikiem tego sektora, czyli siecią dróg, nie dają one pozytywnej perspektywy.

Pod uwagę wzięto główny element sieci transportowej, jakim są drogi miejskie – długość dróg miejskich o nawierzchni twardej (zarówno ulepszonej, jak i nieulepszonej). Biorąc pod uwagę województwo dolnośląskie, długość dróg miejskich wzrosła o prawie 50 km (dla województwa śląskiego to około 130 km) przy całkowitej długości dróg wynoszącej 5 tys. km (śląskie ponad 9,7 tys. km) – dane GUS dostępne za lata 2010 oraz 2011. Na koniec 2012 r., stan samochodów zarejestrowanych wyniósł 1 443 555 szt. w porównaniu z 1 389 180 szt. w 2011 r. (w województwie śląskim 2 206 940 w 2012 r. w porównaniu z 2 144 926 w 2011 r.). Porównując stan sieci dróg miejskich oraz ilości pojazdów, można stwierdzić, że rozwój sieci dróg nie nadąży za wzrostem ilości pojazdów. Ważnym aspektem może być też audyt stanu dróg w Polsce z 2011 r.², przeprowadzony przez NIK w latach 2000-2010, obejmujący głównie bezpieczeństwo drogowe. Negatywnie oceniono stan dróg oraz ich rozwój i utrzymanie.

² Informacja o wynikach kontroli bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce, NIK, Warszawa 2011.

Opisana tendencja utrzymuje się przez ostatnie lata, dlatego kongestia staje się coraz większym problemem w aglomeracjach miejskich (warto zwrócić uwagę na oddolną inicjatywę, która zaowocowała powstaniem portalu, odnotowującym i raportującym spadki i wzrosty średnich prędkości podróżowania po największych miastach w Polsce³).

Oprócz przyrostu liczby samochodów i zbyt wolnej rozbudowy dróg, jako pośrednią przyczynę wzrostu kongestii można wskazywać brak modernizacji węzłów komunikacyjnych (lub czasami brak możliwości przeprowadzenia takiej inwestycji) bądź poprawy bezpieczeństwa, czy też zapobiegania wypadkom. W niektórych miastach przyczynia się do tego wyłączanie części ulic z sieci drogowej. Co więcej, zdarza się, że zgodnie z paradoksem Braessa, dodanie nowego połączenia nie pomaga w rozładowaniu zatłoczonych ulic lub w myśl paradoksu Downsa-Thomsona, nadmierne faworyzowanie transportu prywatnego kosztem publicznego przyczynia się do zwiększenia kongestii. Niemniej rozbudowa infrastruktury czy jej modernizacja jest zwykle przedsięwzięciem bardzo kosztownym, powodującym zwykle zwolnienie ruchu podczas realizacji, a każda kolejna rozbudowa systemu może przynosić proporcjonalnie coraz mniejsze efekty.

2. Koncepcja systemu sterującego sygnalizacją świetlną

Jedną z ważniejszych metod poprawy tego stanu może być wdrażanie systemów w ramach koncepcji smart cities. Do głównych rozwiązań tego typu można zaliczyć systemy ITLC (Intelligent Traffic Light Control). W artykule przedstawiono szanse i zagrożenia płynące z implementacji takiego systemu, jako jednego z systemów poprawy jakości ruchu drogowego.

Spośród systemów ITLC (będących często częścią składową kompleksowych rozwiązań ITS – Intelligent Traffic Systems) można wyróżnić układy o skali globalnej, sterujące przepływem przez sieć we wszystkich węzłach systemu, tzn. na wszystkich skrzyżowaniach. Drugim typem są systemy o skali lokalnej, czyli sterujące tylko pojedynczymi węzłami. Pomimo że systemy globalne często charakteryzują się znaczną złożonością numeryczną oraz z reguły są bardziej kosztowne, to dużą przeszkodą w ich implementacji może być ryzyko awarii jednostki centralnej, sterującej całym systemem.

Kolejną klasyfikację rozwiązań można podzielić ze względu na stosowane algorytmy. Wyróżnia się systemy wykorzystujące algorytmy inteligentne, takie jak algorytmy ewolucyjne (w szczególności genetyczne) używające logikę roz-

³ Raporty średnich prędkości podróżowania po Polsce dostępne na <http://korkowo.pl/raporty> [20.06.2014].

mytą, czy też sieci neuronowe oraz algorytmy deterministyczne, stosujące takie techniki, jak programowanie dynamiczne, a także explicite modele deterministyczne, czy programowanie liniowe.

W publikacjach naukowych można zaobserwować coraz nowsze koncepcje rozwiązań lub modyfikacje już istniejących. Do celów użytecznych należy natomiast przedstawić stosunkowo tani oraz maksymalnie efektywny system, który mógłby zostać realnie zaimplementowany oraz pomógłby przy rozwiązaniu problemu optymalizacji czasu przejazdu przez miasto. Metody zarządzania ruchem drogowym (Traffic Management) pojawiają się coraz częściej jako koncepcje w tzw. smart cities⁴, gdzie traktuje się zarządzanie ruchem drogowym jako jeden z elementów zarządzania nowoczesnymi miastami.

Proponowany przez autora system sterowania sygnalizacją powinien być zatem systemem lokalnym, niekomunikującym się z innymi węzłami, stosującym algorytmy heurystyczne oraz korzystającym z systemu kamer do optycznego przetwarzania obrazów w celu zliczania ilości pojazdów na jezdni. Efektywność lub funkcja celu byłaby liczona spadkiem czasu oczekiwania na światłach lub spadkiem ilości samochodów oczekujących do wyjazdu z węzła oraz skróceniem czasu podróży.

Poniżej przedstawiono przebieg jednego interwału w działaniu heurystycznego systemu zamontowanego na pojedynczym węzle (w mikroskali):

- przetwarzanie obrazów wejściowych,
- identyfikacja i zliczanie pojazdów,
- minimalizacja funkcji celu, czyli sumy czasów oczekiwania każdego pojazdu lub ilości pojazdów na skrzyżowaniu,
- obsługa wyjątków,
- decyzja systemu (zmiana świateł).

Niewątpliwym atutem tego systemu jest stosowanie pojedynczego mikrokontrolera oraz kilku kamer w zależności od wielkości skrzyżowania, który jest w stanie obsłużyć jeden węzeł komunikacyjny. Kontroler w razie awarii może automatycznie zasygnalizować awarię i przełączyć się do trybu zapasowego do czasu likwidacji usterki. Takie kontrolery nie są rozwiązaniem kosztownym, a większość skrzyżowań w miastach jest już wyposażona w kamery, co znacznie ułatwiłoby wdrażanie tego systemu. Koszt generowałby tylko zakup mikrokontrolera oraz oprogramowania dedykowanego do optycznego przetwarzania obrazu i sterowania systemem.

Taki układ samoistnie dąży do optimum ze względu na to, że jego części składowe też dążą do optimum. Stwierdzenie to opiera się na fakcie, że jeżeli każdy ze skończonej ilości węzłów dąży do optimum, to suma granic tych węzłów dąży do optimum.

⁴ *Smarter Cities Series: Understanding the IBM Approach to Traffic Management*, IBM, <http://www.redbooks.ibm.com/redpapers/pdfs/redp4737.pdf> [20.06.2014].

Oznaczając F_i jako funkcję optymalizującą układ X_i , dążącą do stanu optymalnego f_i oraz opierając się na trywialnej zależności sumy granic funkcji, otrzymano:

$$F_i(X_i) \rightarrow f_i \text{ to } \sum_{i \in I} F_i(X) \rightarrow \sum_{i \in I} f_i.$$

Oznacza to, że jeżeli zadba się o poprawną optymalizację w jednym węźle, cały system będzie dążył do optymalnego rozwiązania, ale tylko wdrożenie kompleksowe na wszystkich węzłach komunikacyjnych da najbardziej pożądaną efekt. Przykładowym zastosowaniem takiego podejścia był test akomodacyjnej sygnalizacji świetlnej na jednym z najważniejszych skrzyżowań w Poznaniu⁵.

We wspomnianym eksperymencie światła obsługiwały cztery fazy. Na podstawie danych historycznych stwierdzono, że jedna z dróg wylotowych z reguły była znacznie zatłoczona. Autorom udało się tak ustawić akomodacyjne światła, że podczas symulacji nastąpiła redukcja długości kolejki do 30% w godzinach szczytu (tzn. z około 160 metrów do 50 metrów), przy nieznacznym pogorszeniu przepustowości innych wylotów. Niemniej jednak całkowita długość wszystkich kolejek skróciła się o prawie o 50%.

Poza przytoczonymi atutami, można także zidentyfikować potencjalne korzyści z wdrożenia systemów ITLC:

1. Większość symulacji związanych z opisanym podejściem wskazuje na osiągnięte oszczędności w czasie podróży do 25%⁶.
2. Oprócz minimalizacji funkcji celu, są wykazywane inne efekty zewnętrzne, takie jak:
 - spadek kosztów transportu (w tym zużycia paliw, dróg, dostrajania świateł, jeżeli opierają się na cyklach deterministycznych),
 - dalsza ekspansja znaczenia transportu samochodowego oraz wyższe przychody dla innych działów gospodarki narodowej,
 - wykazywany wpływ na podwyższenie bezpieczeństwa drogowego,
 - polepszenie komfortu jazdy kierowców, zarówno w sektorze transportowym, jak i w sektorze transportu prywatnego,
 - zmniejszenie negatywnego wpływu na otoczenie, wśród którego można wyróżnić zmniejszenie hałasu lub spadek emisji substancji szkodliwych. Wykazano spadek emisji substancji od 10% do 20% przez zwiększenie płynności ruchu (na poziomie od 5% do 15% zredukowanej kongestii ruchu)⁷,

⁵ B. Piątkowski, M. Maciejewski, *Projekt Akomodacyjnej Sygnalizacji Świetlnej dla Skrzyżowania Rondo Starołęka w Poznaniu*, Politechnika Poznańska, Poznań 2011.

⁶ M. Wiering, *Intelligent Traffic Light Control*, Institute of Information and Computing Sciences Utrecht University, Utrecht 2004.

⁷ S. Krawiec, I. Celiński, *Alternatywny Rozwój Systemów Obszarowego Sterowania Ruchem Drogowym*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.

- wykazuje się też, że zmniejszona kongestia może wpłynąć pozytywnie na bezpieczeństwo na drogach i zmniejszenie zdarzeń drogowych (spadek od około 5% do 10% w zależności od zastosowanych metod)⁸,
- system jest samoregulujący się i relatywnie tani w stosunku do innych systemów zarówno w utrzymaniu, jak i instalacji.

Zidentyfikowano także potencjalne zagrożenia, które może spowodować wdrożenie opisanego systemu:

- inwestycja w system nie poprawi infrastruktury węzłów komunikacyjnych,
- problemy perspektywy, np. rozpoznanie małych pojazdów lub zasłoniętych przez większe pojazdy,
- skala przedsięwzięcia – zakłada się, że cała aglomeracja powinna być objęta zmianą,
- nieprzewidywalne efekty zewnętrzne, takie jak pojawienie się znacznej liczby pojazdów, rezygnacja z komunikacji miejskich lub pojawianie się zatorów w dotychczas niespodziewanych miejscach,
- pomimo że przedstawiony system jest systemem rozproszonym, to nadal istnieje pewne zagrożenie związane z awarią kilku pobliskich węzłów mogących dezorganizować ruch, np. spowodowane brakiem w dostawach prądu, niemniej zawsze takie zdarzenia losowe mogą być minimalizowane.

Jako przykłady wdrożeń rozwiązań ITS można wskazać na Southampton, gdzie uzyskano 18% redukcji w czasach przejazdu, w Tuluzie 10%, a w Los Angeles 18%⁹. W Londynie oszczędności związane z wdrożeniem inteligentnego systemu zarządzania światłami przyniosły oszczędność rzędu prawie 30 mln funtów od 2009 r.

Najbardziej zbliżonym projektem inteligentnych świateł do opisanego był inteligentny system sterowania sygnalizacją świetlną Traffic21¹⁰ zaimplementowany przy współpracy z Carnegie Mellon University w Pittsburgh (stan Pensylwania). Wyniki wdrożenia pozwoliły na uzyskanie znacznych oszczędności. Oszacowano spadek o 40% czasu oczekiwania na skrzyżowaniach oraz spadek czasu podróży do 26%¹¹. Sieć ta najbardziej ze wszystkich przypomina wspomniane rozwiązanie oraz, co istotne, osiąga jedne z najlepszych wyników na świecie.

W Polsce jak dotąd nie wdrożono na dużą skalę kompleksowego systemu ITS¹², niemniej jednak można zauważyć, że władze każdego z większych miast

⁸ Ibid.

⁹ *Inteligentne systemy transportowe*, 2013, <http://www.itspolska.pl/admin/pliki/Dodatek%20Gazeta%20Prawna%20nt.%20ITS%202013.pdf> [20.06.2014].

¹⁰ *Smart Traffic Signals*, <http://www.cmu.edu/homepage/computing/2012/fall/smart-traffic-signals.shtml> [20.06.2014].

¹¹ <http://traffic21.heinz.cmu.edu/> [20.06.2014].

¹² <http://przegląd-its.pl/> [20.06.2014]; <http://www.itspolska.pl/> [20.06.2014].

żywo interesują się tą tematyką (około 33 miasta są zaangażowane w projekty ITS¹³). Dotychczas wdrażano proste rozwiązania, takie jak sterowanie pojedynczymi skrzyżowaniami, często będącymi ważnymi węzłami komunikacyjnymi. Jednak znaczna część wdrażanych rozwiązań koncentruje się jedynie na dostarczaniu informacji przed i w trakcie podróży, ostrzeganiu o zagrożeniach, nadzorze nad ruchem, elektronicznym poborze opłat oraz bardziej racjonalnym zarządzaniu flotą komunikacji miejskiej. Nigdzie w naszym kraju nie wdrożono kompleksowego systemu ITLC będącego częścią ITS.

Akomodacyjne rozwiązania najczęściej opierają się na wykrywaniu np. pojazdów komunikacji miejskiej i faworyzowaniu ich, jednak nie rozładowuje to całkowitego ruchu na skrzyżowaniu, a nawet może spowodować obniżenie jego płynności.

Jednym z większych miast w kraju, które może wdrożyć wspomniany system jest Wrocław. Miasto posiada około 257 skrzyżowań z sygnalizacją świetlną¹⁴, z czego na około 70 z nich zamontowano kamery (w ramach rozwiązań monitoringu i wdrażanego systemu Inteligentny System Transportu „ITS Wrocław” POIS.08.03.00-00-007/10 realizowanego do 2015 r.¹⁵). Koszt montażu jednej kamery na skrzyżowaniu jest stosunkowo niewielki i waha się od 1 do 2 tys. zł. Koszty oprogramowania aplikacji do detekcji wizyjnej są również niewysokie i wahają się w granicach od 50 do 100 tys. zł za system. Oprócz wymienionych kosztów, należy doliczyć koszty montażu mikroprocesorów sterujących sygnalizacją na każdym z skrzyżowań. Pełne koszty montażu mogłyby zamknąć się w wysokości 2 mln zł, co jest stosunkowo tanim projektem dla miasta. Oczywiście dodatkowymi kosztami, jakie należałoby uwzględnić w rachunku są koszty utrzymania oraz kalibracji systemu, jego nadzoru oraz przeprowadzenia wcześniejszych testów, które podniosą całkowity koszt inwestycji.

Pozytywnym aspektem proponowanej implementacji jest zmniejszenie liczby operatorów systemu, a główne ich zadanie ograniczyłoby się do monitorowania ewentualnych awarii. Cały system w proponowanej koncepcji wydaje się być w zasięgu budżetów niejednego miasta.

Według dostępnych danych we Wrocławiu jest zarejestrowanych około 440 tys. aut. Jest to także przybliżona liczba pojazdów, jaka pojawia się codziennie na drogach tej aglomeracji w dni robocze. W takich warunkach spadek czasu oczekiwania oraz czasu podróży o 20% stanowi znaczne ułatwienie i oszczędność dla użytkowników dróg. Biorąc pod uwagę statystyki sumaryczne z urządzeń GPS, wskazujące na to, że średnio w ciągu roku przez ponad 100 godzin¹⁶ potencjalny

¹³ *Inteligentne systemy transportowe*, 2013, op. cit. [20.06.2014].

¹⁴ *Sygnalizacja świetlna na wrocławskich skrzyżowaniach*, ZDiUM, Wrocław, <http://www.zdium.wroc.pl/view/index/142> [20.06.2014].

¹⁵ Zob. *Inteligentny System Transportu ITS Wrocław*, BIP, Wrocław.

¹⁶ <http://korkowo.pl/raport/korki-po-wroclawsku-100> [20.06.2014].

kierowca w tym mieście musi spędzić w zatorach drogowych przejeżdżając tylko przez jedną z głównych dróg dojazdowych do centrum miasta w dni robocze, oszczędności mogłyby osiągnąć nawet poziom kilkuset milionów. Ta prosta analiza wykazuje, że projekt ma uzasadnienie ekonomiczne.

Podsumowanie

Analiza dostępnych rozwiązań sterowania sygnalizacją w miastach w ramach koncepcji tzw. smart cities, przegląd ich stopnia złożoności oraz problemów z obsługą wskazuje, że optymalnymi systemami są systemy akomodacyjne, opierające się na samoregulujących się węzłach stosujących algorytmy inteligentne, które dzięki autoregulacji nie wymagają integracji między sobą.

Wyniki symulacji wskazują na spadek czasu oczekiwania samochodów w ruchu miejskim oraz informację, że systemy ITLS dają zadowalające wyniki. Efekt wdrożenia pilotażowego systemu z Pittsburgha potwierdza założenia teoretyczne. Niestety nie ma gwarancji ani pewności, że przeniesienie jakiegokolwiek systemu do warunków krajowych może dać efekty na podobnym poziomie. Wynika to ze specyfiki sieci dróg w miastach oraz znacznym skoncentrowaniu ruchu w ścisłych centrach miast. Największą barierą przy implementacji tego systemu przez długi czas może być znaczna niepewność i brak pewnych szacunków dotyczących zwrotu takiej inwestycji, co jest spowodowane przede wszystkim efektywnością całego systemu oraz skalą takiej zmiany, która musiałaby objąć całe miasto. Nie można przeprowadzić dokładnych badań benchmarkingowych dopóki władze jednego z dużych miast nie zdecydują się na takie rozwiązanie. Nie można też zdać się na symulacje, ponieważ nie oddadzą one realnych efektów, jakie mogłyby spowodować podobne projekty, dlatego też wyniki wszelkich modeli są traktowane bardzo ostrożnie.

Należy jednak pamiętać, że poza bezpośrednimi efektami ekonomicznymi dla sektora transportu i całej gospodarki, trzeba także wziąć pod uwagę czynniki niewymierne. Implementacja opisanego rozwiązania może znacznie poprawić poziom komfortu życia mieszkańców poprzez redukcję hałasu, czy zanieczyszczeń oraz samego zadowolenia z użytkowania dróg miejskich. Czynniki te mogą przyczynić się do intensyfikacji działań gospodarczych związanych z konsumpcją, a to właśnie konsumpcja daje znaczne wpływy do budżetów miast ze względu na podatki.

Zdarza się, że władze miast wykorzystują zatory drogowe jako narzędzia do upowszechniania komunikacji publicznej lub umacniania jej znaczenia. Niestety takie działania zaprzeczają głównym funkcjom miast, jakim jest produktywność oraz bliskość do dużych skupisk wysoce wykwalifikowanych specjalistów i in-

nych podmiotów świadczących usługi lub będących miejscami zbytu usług. Wysoka specjalizacja przekłada się na produktywność miasta, dlatego też takie działania były niejednokrotnie krytykowane i postrzegane jako działania destruktywne. Brakuje jednak rzetelnych danych pozwalających całkowicie zakwestionować takie zabiegi.

Pozytywnym aspektem wdrożenia opisanego rozwiązania może być także wzrost mobilności mieszkańców miast, co jest słabo docenianym aspektem udrażniania systemów transportowych.

Wdrożenie systemów ITS oferuje możliwość podnoszenia atrakcyjności miast oraz pozwala na dalsze inwestycje, poprawia komfort życia mieszkańców, a także wpływa zarówno bezpośrednio na sektor transportu, jak i pośrednio na całą gospodarkę. Może stanowić zarówno ciekawe, jak i alternatywne rozwiązanie problemów kongestii w miastach. System może okazać się bardzo tanim w implementacji środkiem do znacznej poprawy poziomu egzystencji wielu mieszkańców dzisiejszych dużych miast.

Literatura

- <http://korkowo.pl/raport/korki-po-wroclawsku-100> [20.06.2014].
- <http://korkowo.pl/raporty> [20.06.2014].
- <http://przeklad-its.pl/> [20.06.2014].
- <http://traffic21.heinz.cmu.edu/> [20.06.2014].
- <http://www.cmu.edu/homepage/computing/2012/fall/smart-traffic-signals.shtml> [20.06.2014].
- <http://www.itspolska.pl/> [20.06.2014].
- <http://www.itspolska.pl/admin/pliki/Dodatek%20Gazeta%20Prawna%20nt.%20ITS%202013.pdf> [20.06.2014].
- <http://www.redbooks.ibm.com/redpapers/pdfs/redp4737.pdf> [20.06.2014].
- <http://www.zdium.wroc.pl/view/document/185> [20.06.2014].
- <http://www.zdium.wroc.pl/view/index/142> [20.06.2014].
- Informacja o wynikach kontroli bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce*, Wydawnictwo NIK, Warszawa 2011.
- Inteligentne systemy transportowe*, 2013, <http://www.itspolska.pl/admin/pliki/Dodatek%20Gazeta%20Prawna%20nt.%20ITS%202013.pdf> [20.06.2014].
- Inteligentny System Transportu ITS Wrocław*, BIP, Wrocław.
- Krawiec S., Celiński I., *Alternatywny Rozwój Systemów Obszarowego Sterowania Ruchem Drogowym*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
- Piątkowski B., Maciejewski M., *Projekt Akomodacyjnej Sygnalizacji Światłej Dla Skrzyżowania Rondo Starołęka W Poznaniu*, Politechnika Poznańska, Poznań 2011.
- Saldanha A., *Development Of Intelligent Traffic Lights Using Multi-Agent Systems*, Lisboa 2010.
- Smarter Cities Series: Understanding the IBM Approach to Traffic Management*, IBM, <http://www.redbooks.ibm.com/redpapers/pdfs/redp4737.pdf> [20.06.2014].

-
- Sygnalizacja świetlna na wrocławskich skrzyżowaniach*, ZDiUM Wrocław, <http://www.zdium.wroc.pl/view/index/142> [20.06.2014].
- Transport – Wyniki Działalności w 2011 r.*, Wydawnictwo GUS, Warszawa 2012.
- Transport – Wyniki Działalności w 2012 r.*, Wydawnictwo GUS, Warszawa 2013.
- Tripp Barba C., *Smart City for VANETs Using Warning Messages, Traffic Statistics and Intelligent Traffic Lights*, Unversitat Politècnica de Catalunya 2012.
- Wiering M., *Intelligent Traffic Light Control*, Institute of Information and Computing Sciences Utrecht University, Utrecht 2004.

INTELLIGENT SYSTEMS STEERING TRAFFIC LIGHTS AS A PART OF LOCAL TRANSPORT MANAGING

Summary

The adjustment of traffic lights has been described as an intelligent traffic solution concept. The concept, besides its interesting assumptions still hasn't been implemented neither in domestic solutions nor throughout the world's. Some promising concepts have been described and a public trial has been taken up to answer the question: whether implementing an intelligent system for the manangement of city traffic in urban agglomerations has economic grounds.