

## MIEJSKI ITS NA PRZYKŁADZIE SYGNALIZACJI ŚWIETLNEJ

*W artykule został omówiony element miejskiego ITS na przykładzie sygnalizacji świetlnej z dodatkowym bus-pasem. Rozwiązania takie od lat znajdują zastosowanie w obszarach miejskich i pozwalają na lepsze zarządzanie komunikacją miejską.*

### WSTĘP

Współczesne wyzwania dotyczące transportu miejskiego dotyczą przede wszystkim zrównoważonego, skutecznego, ekologicznego i ekonomicznego. Rozwój systemów transportu miejskiego musi uwzględniać negatywne skutki przemieszczania się samochodami w miastach. Dobrze rozwinięta miejska infrastruktura drogowa wzmacnia spójność społeczną i przestrzenną. Zgodnie z uchwałą Rady Ministrów z dnia 22 stycznia 2013 roku w której przyjęto Strategię Rozwoju Transportu do 2020 roku, głównym celem jest [6]:

- stworzenie nowoczesnej i spójnej sieci transportowej,
- poprawienie sposobu organizacji i zarządzania transportem,
- ograniczenie negatywnych skutków transportu na środowisko,
- poprawienie bezpieczeństwa użytkowników ruchu oraz przewożonych towarów.

W spełnieniu powyższych celów mogą pomóc systemy telematiki transportu. Mimo dużych kosztów aglomeracje inwestują w takie rozwiązania, [7]. Rozwiązania oparte na nowych technologiach teleinformatycznych stanowią bardzo dobre narzędzie do zarządzania i kontroli transportu, w tym transportu miejskiego, [5]. Nowe technologie pozwalają na lepsze zarządzanie ruchem miejskim oraz pozwalają na przetwarzanie i przesyłanie informacji do uczestników ruchu (w tym kierowców i pasażerów). Elementem systemów telematiki transportu są rozwiązania ITS (Inteligentne Technologie Transportowe), które pozwalają na optymalizację systemów transportowych zapewniając niezawodność i ekonomiczność. Miejskie systemy ITS pozwalają również na zmniejszenie zanieczyszczeń środowiska spowodowanych środkami transportu. Warto tu wspomnieć systemach monitoringu ruchu czy systemach preselekcji wagowej. Do korzyści wynikających z zastosowania miejskich systemów ITS można zaliczyć:

- zarządzanie ruchem,
- monitorowanie ruchu w celu pozyskania informacji oraz przekazanie im innym uczestnikom ruchu,
- optymalizacja pracy sygnalizacji świetlnej,
- wsparcie dla transportu miejskiego.

W artykule przedstawiono rozwiązanie miejskiego systemu ITS. Zasadność zastosowanego rozwiązania została potwierdzona poprzez model matematyczny. W tym celu zaproponowano aparat matematyczny w postaci procesów Markowa. Pozwoliło to na oszacowanie charakterystycznych wskaźników dotyczących bezpieczeństwa.

### 1. SYGNALIZACJA Z PRIORYTETEM - MIEJSKI ITS

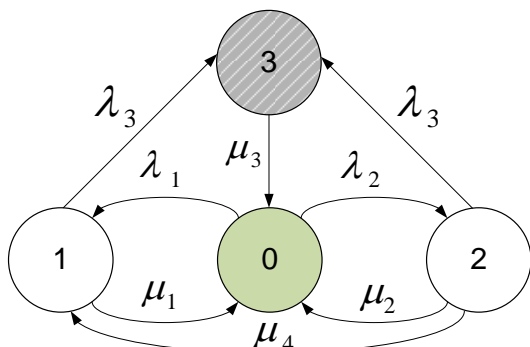
Jednym z elementów poprawiających funkcjonowanie komunikacji miejskiej są rozwiązania, które w znacznym stopniu ułatwiają przemieszczanie się autobusów w aglomeracji miejskiej. Zatłoczone ulice, szczególnie w godzinach szczytu, stanowią ogromny problem komunikacyjny dla pojazdów komunikacji miejskiej. Jednym z rozwiązań tego problemu jest stosowanie specjalnych bus-pasów. Niestety, z punktu widzenia organizacji ruchu na danym obszarze nie zawsze istnieje możliwość realizacji takiego rozwiązania. W celu realizacji zadań związanych z przydzielaniem przejazdów priorytetowych dla pojazdów komunikacji miejskiej stosuje się systemy, które pozwalają na zachowanie ciągłości ruchu i realizację zadań przewozowych w transporcie publicznym. Jednym z nich jest zastosowanie dodatkowej sygnalizacji świetlnej tylko dla tej grupy pojazdów. Na zdjęciu 1 przedstawiono skrzyżowanie, na którym zainstalowano taki typ sygnalizacji. W prezentowanym rozwiązaniu zastosowano sterowniki MSR Traffic. System działa jako układ akomodacyjny. Do wykrywania zajętości obszaru jezdni zainstalowano detektory indukcyjne oraz kamery z wideo detekcją



**Zdj. 1.** Elementy systemu sygnalizacji świetlnej z wjazdem priorytetowym dla komunikacji miejskiej (Radom). (źr. wł.)

## 2. MODEL MARKOWA DLA SYSTEMU SYGNALIZACJI

W celu dokonania analizy zaproponowano model systemu odzwierciedlającego pracę sygnalizacji świetlnej z dodatkowym dedykowanym sygnalizatorem dla pojazdów komunikacji miejskiej, (rys. 1).



Rys. 1. Model systemu ITS – sygnalizacja (oprac. wł.)

W modelu pokazanym na rys. 1 możemy wyróżnić:

- Stan 0 – system działa, stan oczekiwania na pojazdy
- Stan 1 – pojawiły się pojazdy system działa, obsługa pojazdów,
- Stan 2 – pojawił się autobus (pojazd priorytetowy), obsługa autobusu,
- Stan 3 – system sterowania uszkodzony, pojazdy są obsługiwane zgodnie z przepisami ruchu drogowego.

Najbardziej niepożądanym w modelu stanem jest stan 3. Mimo uszkodzenia systemu w stanie 3, ruch pojazdów odbywa się zgodnie z obowiązującymi przepisami. Zależnie od natężenia ruchu może to generować opóźnienia w komunikacji miejskiej. Intensywność uszkodzeń modułu sterującego założono na poziomie typowych uszkodzeń elementów elektronicznych szacowanych na podstawie prognozowania. Dla modelu z rys. 1 możemy zapisać ogólną postać macierzy przejść:

$$M = [p_{ik}] = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & P_{03} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{30} & P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

gdzie,  $0 \leq p_{jk} \leq 1$ , i  $\sum_{k=1}^j p_{jk} = 1$ ,  $j, k = 1, 2, \dots, n$ .

Dla przedstawionego modelu możemy zapisać równania stanu:

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{dt} - 1 = -(\lambda_1 + \lambda_2)P_0 + \mu_1 \cdot P_1 + \mu_2 \cdot P_2 + \mu_3 \cdot P_3 \\ \frac{dP_1}{dt} = \lambda_1 P_0 - \mu_1 \cdot P_1 - \mu_4 \cdot P_1 - \lambda_3 P_1 \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_2 P_0 - \mu_2 P_2 + \mu_4 P_1 - \lambda_3 P_2 \\ \frac{dP_3}{dt} = -\mu_3 P_3 + \lambda_3 (P_0 + P_2) \end{cases} \quad (2)$$

Oszacowane na wzorach symbolicznych graniczne prawdopodobieństwo znalezienia się w stanie 3 wynosi:

$$P_3 = P_3(t)_{t \rightarrow \infty} = \frac{\lambda_3 \cdot (\mu_2 \lambda_1 + \mu_1 \lambda_2 + \mu_4 (\lambda_1 + \lambda_2) + \lambda_1 \lambda_3 + \lambda_2 \lambda_3)}{\mu_3 (\lambda_1 - \lambda_2) (\mu_2 + \lambda_3) (\mu_1 + \mu_4 + \lambda_3)} \quad (3)$$

Tab. 1. Założenia do obliczeń

Parametr	Wartość	Uwagi
$\lambda_1$	60	60 pojazdów na godzinę
$\lambda_2$	10	10 autobusów na godzinę
$\lambda_3$	0,0001	Typowa wartość intensywności uszkodzeń modułów elektronicznych
$\mu_1$	0,008	Czas obsługi 30s.
$\mu_2$	0,0027	Czas obsługi 10s.
$\mu_3$	1	Po godzinie następuje naprawa i przywrócenie sprawności systemu.
$\mu_4$	0,0027	po 30s.

Dla założeń pokazanych w tabeli 1, graniczna wartość prawdopodobieństwa  $P_3$  wynosi:

$$P_3 = P_3(t)_{t \rightarrow \infty} = 0,02896 \quad (4)$$

Ponieważ pozostałe stany w modelu świadczą, iż system jest sprawny w chwili  $t$  zatem na podstawie zależności:

$$A(t) = \sum_{i=0}^n P_i(t) \quad (5)$$

gdzie:  $n$  jest ostatnim stanem sprawności, oszacowana wartość gotowości  $A$  wynosi:

$$A = 1 - P_3(t)_{t \rightarrow \infty} = 0,971 \quad (6)$$

W tabeli 2 przedstawiono wyniki szacowania gotowości systemu sterowania sygnalizacją w funkcji czasu powrotu systemu do pełnej zdadności.

Tab. 2. Wyniki obliczeń gotowości  $A$

L.p.	Czas powrotu do zdadności po wystąpieniu uszkodzenia w minutach	Wartość gotowości $A$
1.	1	0,9995
2.	5	0,9975
3.	10	0,9951
4.	20	0,9903
5.	30	0,9855
6.	40	0,9806
7.	50	0,9758
8.	60	0,971
9.	120	0,942
10.	240	0,8841
11.	360	0,8261
12.	480	0,7682

Jak już wspomniano, stosowanie nowych technologii w tym rozwiązań opartych o ITS, należy rozpatrywać również przez pryzmat ochrony środowiska. W pracy [1] wykazano jak ważny jest problem społeczny i ekonomiczny. Stosowanie rozwiązań i metod

z zakresu inżynierii i organizacji ruchu jest jednym ze sposobów zmniejszenia zużycia paliwa.

Przyjmuje się, iż średni poziom spalania podczas pracy autobusu na biegu jałowym jest na poziomie 3 litrów/h. Zakładając, że:

- uszkodzony system sygnalizacji spowoduje opóźnienia związane z włączaniem się do ruchu przez autobus na poziomie 20s.,
  - opóźnienia takie wykazano dla 40 autobusów na dobę,
  - czas analizy wynosi 200 dni w roku,
- można oszacować ilość zużytego paliwa  $Z_p$ :

$$Z_p = 0,33_{\text{opóźnienie w minutach}} * 40_{\text{autobusów}} * 200_{\text{dni}} * 0,05_{\text{litrów/minutę}} = 132_{\text{litry}} \quad (7)$$

Takie założenia pokazują, iż sumaryczny czas potrzebny na włączenie się do ruchu autobusów wynosi 2640 minut.

## PODSUMOWANIE

Przedstawiony przykład miejskiego ITS w postaci sygnalizacji świetlnej stanowi jeden z elementów kompleksowego rozwiązania zarządzania komunikacją miejską. Z uwagi na zastosowanie priorytetów przejazdu przez skrzyżowanie dla komunikacji miejskiej rozwiązania takie pozwalają na lepsze dostosowanie rozkładów jazdy. Skracają przede wszystkim czas włączania się do ruchu autobusów. Stosowane obecnie w komunikacji miejskiej rozwiązania z dziedziny ITS i telematiki transportu pozwalają na lepszą kontrolę nad ruchem pojazdów, w tym komunikacji miejskiej [4]. Ważnym jest również, żeby łączyć różne rozwiązania stosowane w transporcie (Eko-driving, nowe paliwa, nowoczesne jednostki napędowe oraz rozwiązania ITS), ponieważ może to przynieść wymierne korzyści w dziedzinie ochrony środowiska.

## BIBLIOGRAFIA

1. Andrzejewski M.: "Wpływ stylu jazdy kierowcy na zużycie paliwa i emisję substancji szkodliwych w spalinach". Rozprawa doktorska promotor: prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz, Poznań 2013
2. MZDiK Radom. RADEXESE0\_40100 – plan sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu.
3. MZDiK Radom. Projekt wykonawczy – RADEXESE9\_401 00.
4. Perzyński T.: „Telematyka w zarządzaniu w transporcie miejskim. LOGITYKA nr. 3/2014, CD str. 5030-5035 ISSN 1231-5478
5. Nowicka K.: „Innowacje w logistyce miejskiej – ITS jako usług”, s. 108-120, [w] Witkowski J., Skowrońska A. (red.): „Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki”. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 383
6. Uchwała Rady Ministrów z dnia 22 stycznia 2013 r. – w sprawie Strategii Rozwoju Transportu do 2020 r. (z perspektywą do 2030 r.)
7. Wrzesień R.: „Koszty uruchomienia miejskiego ITS”. Polskie Drogi 7-8/2014 – dodatek „Bezpieczeństwo ruchu drogowego i inteligentne systemy transportowe (ITS)”

### Urban ITS at the Example of Traffic Light

*The element of ITS urban transport is presented in the article. As an example of such solution is presented the traffic light system with additional light signal dedicated for bus urban communication. These solutions are used for many years in urban areas and allow for better management of public transport.*

Autor:

dr inż. **Tomasz Perzyński** – Wydział Transportu i Elektrotechniki, Uniwersytet Technologiczno Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu.