



MACIEJ KRUSZYNA<sup>1)</sup>  
ANTONI SZYDŁO<sup>2)</sup>

## MODELOWANIE RUCHU POJAZDÓW KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ NA WYDZIELONYM PASIE ODCINKA MIEDZYWĘZŁOWEGO

**STRESZCZENIE.** W artykule przedstawiono nowe podejście do modelowania ruchu pojazdów komunikacji zbiorowej. Model dotyczy charakterystycznego fragmentu sieci obejmującego międzywęzłowy wydzielony pas dla pojazdów komunikacji zbiorowej. Podejście to ujmuje specyfikę ruchu pojazdów komunikacji zbiorowej, jako pośredniego pomiędzy całkowicie swobodnym, a sterowanym. Zaproponowano dwa autorskie modele: deterministyczny i stochastyczny. Rozważania poprzedzono przeglądem metod modelowania ruchu. Zaprezentowano przykładowe wyniki nowych modeli i porównano je ze sobą.

### 1. METODY MODELOWANIA RUCHU POJAZDÓW

Ruch pojazdów komunikacji zbiorowej należy analizować jako zawierający pewne cechy ruchu w którym kierujący ma szeroką możliwość wyboru prędkości i toru jazdy (jak pojazdów na wielopasowym odcinku międzywęzłowym) oraz sterowanego (jak np. dla systemów metra lub kolei). Z jednej strony potok pojazdów komunikacji zbiorowej jest dość jednorodny (cechuje go mniejsze zróżnicowanie typów pojazdów i ich charakterystyk niż w ruchu ogólnym), może poruszać się po wydzielonej trasie do której dostęp możliwy jest tylko w miejscach sterowanych sygnalizacją świetlną. Wystąpi więc mniej zakłóceń ruchu oraz brak pewnych manewrów: wyprzedzania, zmiany pasa ruchu. Z drugiej strony, pojazdy kierowane są przez ludzi,

<sup>1)</sup>dr inż. - adiunkt w Instytucie Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej

<sup>2)</sup>dr hab. inż. - profesor nadzwyczajny Politechniki Wrocławskiej, Instytut Inżynierii Lądowej

a jazda odbywa się "na widoczność" (odjazd, przejazd, ruszanie zależą od czynników psychofizycznych). Elementy sterowania ruchem istotnie wpływają na jego charakterystyki, takie jak odstępy między pojazdami, czy straty czasu. Wszystkie te aspekty powinny zostać ujęte w modelu.

Dla odwzorowania ruchu pojazdów w systemach automatycznych lub półautomatycznych często używa się modeli deterministycznych, teorii kolejek albo opierających się na analogii do ruchu cieczy czy gazów [1], [2]. Mają one zastosowanie w kolejnictwie, systemach typu metro lub LRT (ang. *light rail transit* – lekka kolej miejska), czy do odwzorowania zautomatyzowanego prowadzenia pojazdów na specjalnych trasach [3] – [6].

Do analizy ruchu pojazdów w arteriach lub zakłócanego przez obecność skrzyżowań (z sygnalizacją lub bez) używane są modele mikroskopowe (np. model jazdy za liderem) [7] - [12]. Zakłada się w nich, że kierowcy indywidualnie reagują w zmiennych warunkach ruchu (geometria rozwiązań, prędkości pojazdów). Natomiast modele symulacyjne wykorzystujące zmienne losowe o znanych rozkładach mają obecnie szerokie zastosowanie i uznawane są za najwierniej odwzorowujące rzeczywistość [13] - [20].

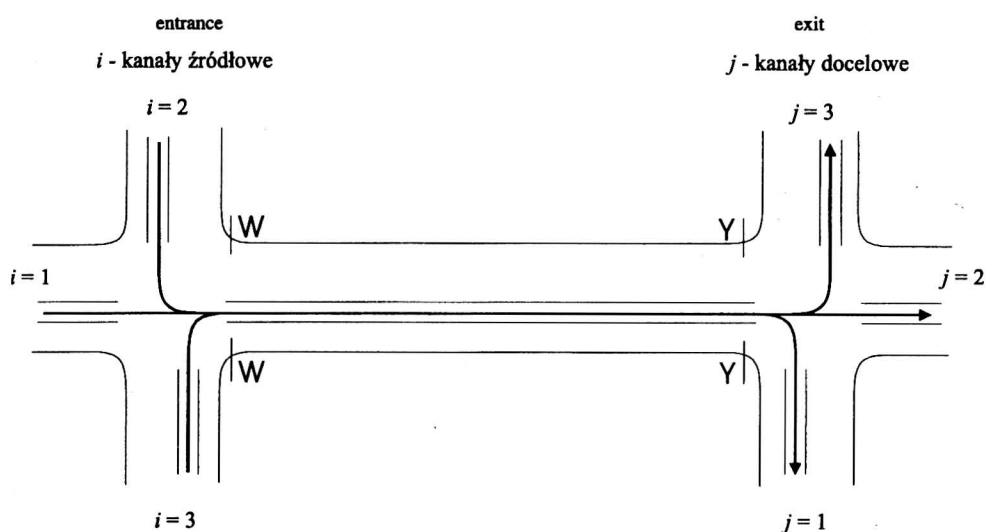
Modelowanie ruchu pojazdów komunikacji zbiorowej skupia się jak dotąd na opisie poszczególnych składników ruchu, takich jak: odstępy między pojazdami, prędkość, czas wymiany pasażerów [21], [22] lub na modelowaniu w skali całej sieci [23]. Szerszy przegląd modeli ruchu zawarto w [24], [25].

## 2. KONCEPCJA MODELOWANIA RUCHU POJAZDÓW KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ

Zaproponowano nową koncepcję modelowania ruchu pojazdów komunikacji zbiorowej w charakterystycznym fragmencie sieci komunikacyjnej. Fragment ten przedstawiono na rysunku 1. Jest to wydzielony pas dla pojazdów komunikacji zbiorowej znajdujący się na odcinku międzywęzłowym (pomiędzy przekrojami: *W-W* i *Y-Y*) ograniczony z obu stron skrzyżowaniami z sygnalizacją świetlną. Do skrzyżowania przed *W* możliwy jest dojazd pojazdów z trzech kanałów (ulic), za skrzyżowaniem *Y* możliwy jest ruch w trzech kierunkach. Pozwala to na przeprowadzenie przez analizowany fragment sieci do 9 relacji komunikacji zbiorowej. Pojazdami komunikacji zbiorowej mogą być zarówno tramwaje, jak i autobusy. Założono brak przejazdów poprzecznych poza skrzyżowaniami oraz brak przystanków na analizowanym odcinku. Zakłada się że dla każdej relacji jest wyodrębniona i bezkolizyjna faza ruchu. Numer kanału wynika z kolejności faz w cyklu.

W tak zdefiniowanym fragmencie sieci komunikacyjnej na ruch pojazdów komunikacji zbiorowej nie będą miały wpływu inne pojazdy ani piesi. Sam fakt wydzielenia toru ruchu nie oznacza jednak braku strat czasu. Wyróżnia się straty czasu dwóch rodzajów: bez uwzględnienia blokowania i z uwzględnieniem. Straty czasu

bez uwzględnienia blokowania to czas oczekiwania na światło zielone na wlocie skrzyżowania w przekroju  $Y$ - $Y$  z założeniem swobodnego dojazdu do tego przekroju (tak jakby rozpatrywany pojazd zawsze pojawiał się jako pierwszy na wlocie). Blokowanie oznacza dodatkowe straty czasu. Wystąpią one wtedy gdy pali się światło zielone dla pojazdu rozpatrywanej relacji, ale stojący wcześniej pojazd innej relacji nie może odjechać.



Rys.1. Model fragmentu sieci komunikacji zbiorowej  
Fig.1. A model of a characteristic fragment of the public transport network

Poszukiwane są wartości parametrów deterministycznych i losowych, dla których uzyska się najmniejsze straty czasu. Wzajemne interakcje pomiędzy pojazdami różnych relacji (w tym również zjawisko blokowania) zależą od natężeń ruchu na poszczególnych relacjach, a także od deterministycznych parametrów sterowania: długości cykli, długości i kolejności poszczególnych faz. Możliwy jest taki dobór ww. parametrów, jak również natężeń ruchu dla poszczególnych relacji, że ograniczając blokowanie minimalizuje się straty czasu. Procedura doboru została opisana w [24]. Tu przyjmuje się wartości parametrów sterowania oraz natężenia na relacjach umożliwiające uzyskanie jak najmniejszych strat czasu. Oznacza to podział cyklu na fazy dla skrzyżowania przed  $W$  w ten sposób, że dojazdy z poszczególnych kanałów źródłowych następują w równych odstępach czasowych. Podobnie na skrzyżowaniu za  $Y$  odjazdy do kanałów docelowych rozdziela równy odstęp czasowy. Pojazdy w kanałach źródłowych kierować się będą do kanałów docelowych w ściśle określony sposób: połowa do kanału o numerze zgodnym z numerem kanału źródłowego, a po 25% pojazdów do pozostałych kanałów.

Opracowano dwa autorskie modele: deterministyczny i stochastyczny. Porównanie wyników uzyskanych z obu modeli ma za cel pokazać jaki wpływ na straty czasu mają parametry losowe (odstępny zgłoszeń, prędkość, czas reakcji) wobec parametrów deterministycznych (długości cykli, długości i kolejności poszczególnych faz). Określony zostanie zakres zastosowań obu modeli. Jako dane do modelu wprowadza się: długość odcinka międzywęzłowego, długość cyklu i poszczególnych faz sygnalizacji, układ faz. Podstawowym wynikiem modelowania ruchu są straty czasu pojazdów [s/P]. Na ich podstawie wyznaczyć można inne charakterystyki, takie jak: czas obsługi pojazdów w systemie, przepustowość elementów sieci komunikacyjnej.

### 3. MODEL DETERMINISTYCZNY

W modelu deterministycznym przyjęto następujące założenia:

- każdy pojazd porusza się w ten sam sposób, tzn. ma stałą średnią prędkość na odcinku międzywęzłowym, jednakowe przyspieszenia i opóźnienia;
- natężenia ruchu we wszystkich kanałach źródłowych są jednakowe;
- długości cyklu na obu skrzyżowaniach są jednakowe;
- długości faz na obu skrzyżowaniach umożliwiają przejazd tylko jednego pojazdu w fazie;
- przejazd pojazdu następuje zawsze na początku stosownej fazy.

Określono średnie straty czasu pojazdów z uwzględnieniem możliwości wzajemnego blokowania

$$S_B = \sum_i \sum_j S_{Bij} \cdot w_{ij} , \quad (1)$$

gdzie:

$S_{Bij}$  – straty czasu pojazdów relacji  $ij$  z uwzględnieniem blokowania [s/P] wg (2),

$w_{ij}$  – udział natężenia relacji  $ij$  na wlocie  $i$  [-] wg (3).

$$S_{Bij} = S_{ij} + n t_C B_j , \quad (2)$$

gdzie:

$S_{ij}$  – straty czasu pojazdów relacji  $ij$  nie uwzględniające blokowania [s/P],

$t_C$  – długość cyklu [s],

$n$  – liczba całkowita zależna od rodzaju blokowania (określająca liczbę cykli w których nie jest możliwy przejazd,  $n = 1$  lub  $2$ ) [-],

$B_j$  – udział zablokowanych pojazdów w relacji  $ij$  [-].

$$w_{ij} = \frac{N_{ij}}{\sum_i \sum_j N_{ij}}, \quad (3)$$

gdzie:

$N_{ij}$  – natężenie ruchu na relacji  $ij$  [P/h].

Wartości:  $S_{ij}$  i  $B_j$  są wyznaczone na podstawie procedur podanych w [24].  $B_j$  jest funkcją parametru określającego poziom natężenia ruchu ( $v_{ij}$ ). Parametr ten nazwano wskaźnikiem obciążenia relacji (4).

$$v_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{\max}^i}, \quad (4)$$

gdzie:

$v_{ij}$  – wskaźnik obciążenia relacji  $ij$  [-],

$N_{\max}^i$  – dobrane największe możliwe natężenie ruchu na wlocie  $i$  które zgodnie z przyjętymi założeniami równe jest liczbie cykli na godzinę [P/h]:

$$N_{\max}^i = \frac{3600}{t_C}. \quad (5)$$

Wartości  $S_B$  można aproksymować funkcją wykładniczą parametru  $v_i$ :

$$S_B = t_C [0,29 + e^{-8,0+9,7v_i}], \quad (6)$$

gdzie:

$v_i$  – wskaźnik obciążenia kanału źródłowego wg (7), zgodnie z wcześniejszymi założeniami jednakowy dla wszystkich kanałów źródłowych [-]

$$v_i = \sum_j v_{ij}. \quad (7)$$

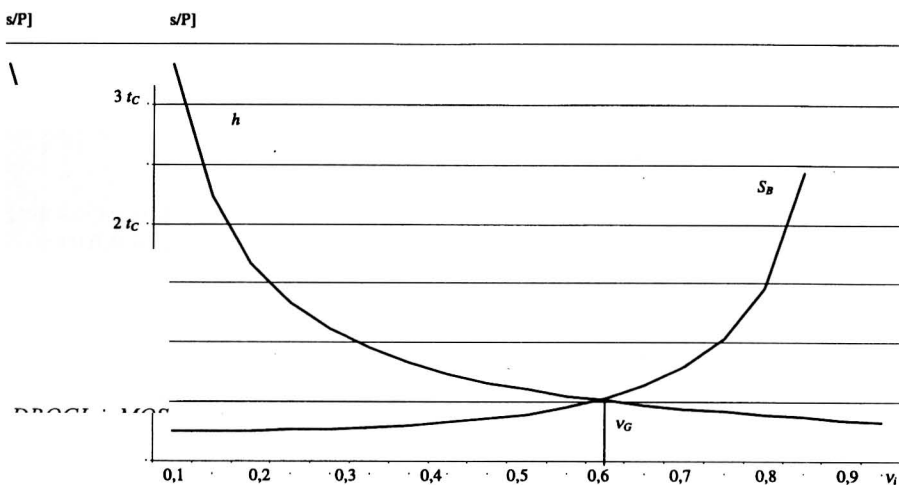
Według ogólnej formuły natężenie ruchu ( $N$ ) jest funkcją średnich odstępów między pojazdami ( $h$ ). Stąd średnie odstępy pojazdów w przekroju  $Y-Y$  można wyrazić w funkcji natężenia:

$$h = \frac{3600}{\sum_i \sum_j N_{ij}} \quad (8)$$

Wykorzystując (4) i (5) uzyskać można zależność odstępów  $h$  od parametru  $v_i$ :

$$h = \frac{t_c}{3} \cdot \frac{1}{v_i} \quad (9)$$

Wartość minimalnego możliwego średniego odstepu określa maksymalne natężenie ruchu, czyli przepustowość. Minimalne odstepy są z kolei uwarunkowane stratami czasu jakie doznaje pojazd w konkretnym przekroju. Odstepy nie mogą być mniejsze od tych strat. Możliwe jest wyznaczenie granicznej wartości parametru  $v_i$  ( $v_G$ ) dla której straty czasu uwzględniające blokowanie równe są odstepom zgłoszeń pojazdów. Graniczny wskaźnik obciążenia wlotu określa więc maksymalne natężenie ruchu możliwe w analizowanym przekroju. Można go wyznaczyć analitycznie bądź graficznie. Na rysunku 2 przedstawiono zależność strat czasu  $S_B$  wg (6) i średnich odstępów między określonymi zokreślonymi zależnością (8) od parametru  $v_i$  oraz graniczną wartość  $v_G$ .



Rys. 2. Wielkość strat czasu uwzględniających blokowanie ( $S_B$ ) oraz średnich odstępów między pojazdami ( $h$ ) jako funkcje obciążenia kanału źródłowego ( $v_i$ )

Fig. 2. The values of delays including blockages ( $S_B$ ) and the medium headway between vehicles ( $h$ ) shown as functions of the rate of entrance-load ( $v_i$ )

Natężenie na wlocie  $Y$  można określić w funkcji parametru  $v_i$ :

$$N = \frac{10800}{t_c} \cdot v_i \quad (10)$$

Podstawiając  $v_G$  za  $v_i$  uzyska się wartość przepustowości w przekroju  $Y-Y$ :

$$Q_{SK}^D = \frac{10800}{t_C} \cdot v_G, \quad (11)$$

gdzie:

$Q_{SK}^D$  – przepustowość wlotu pasa dla komunikacji zbiorowej na skrzyżowanie dla modelu deterministycznego [P/h].

#### 4. MODEL STOCHASTYCZNY

W modelu stochastycznym uwzględniono losową zmienność: kolejności wyboru kanału docelowego, odstępów zgłoszeń pojazdów w kanałach źródłowych i prędkości pojazdów na odcinku międzywęzłowym oraz wpływ deterministycznych parametrów sterowania (długość cyklu i poszczególnych faz) na zróżnicowanie odstępów zgłoszeń w przekroju  $W-W$ . Zbadany został wpływ na wielkość strat czasu następujących parametrów: wariancja odstępów zgłoszeń pojazdów w kanałach źródłowych ( $\sigma_h^2$ ) i odchylenie standardowe prędkości pojazdów na odcinku międzywęzłowym ( $\sigma_v$ ) dla różnych wartości długości cyklu, długości poszczególnych faz oraz wskaźnika obciążenia wlotu. W nawiązaniu do wykonanych pomiarów zmienności parametrów probabilistycznych, [24], badania ograniczono do typowych i reprezentatywnych wartości:  $\sigma_h^2$  z przedziału 0 – 20000 s<sup>2</sup> i  $\sigma_v$  z przedziału 0 – 1,5 m/s. Przyjęto określone wartości parametrów deterministycznych: długość cyklu  $t_C = 60$  i 90 s, wskaźnik obciążenia  $v_i = 0,4; 0,5$  i 0,6, długość światła zielonego  $t_{ZW} = 1,5$  i 9 s na skrzyżowaniu  $W$ , długość światła zielonego  $t_{ZY} = 5; 8; 10$  i 12 s na skrzyżowaniu  $Y-Y$ .

Wyniki uzyskano na podstawie badań symulacyjnych szczegółowo opisanych w [26]. Symulacja wykonywana jest za pomocą autorskiego programu SYMUL napisanego w języku Pascal na komputer klasy PC. Standardowo modelowany jest ruch we fragmencie sieci w przeciągu jednej godziny. Symulacje dla tych samych danych powtarzane są wielokrotnie w celu uśrednienia wyników. Czasy zgłoszeń pojazdów w modelowanym fragmencie sieci obliczane są na podstawie generowanych odstępów pomiędzy pojazdami z rozróżnieniem wlotów na skrzyżowanie  $W-W$ . Odstęp pomiędzy pojazdami przed skrzyżowaniem z sygnalizacją świetlną, generowane są niezależnie dla każdego wlotu na podstawie zadanych odstępów średnich oraz wariancji ich rozrzutu według rozkładu gamma. Są to zmienne losowe niezależne. Odstęp pomiędzy pojazdami za skrzyżowaniem  $W$  zależą od kolejności faz sygnalizacji, ich długości oraz długości cyklu (wielkości te są danymi do modelu). Relacja docelowa dla każdego pojazdu generowana jest na podstawie udziału pojazdów danej relacji we wszystkich pojazdach za pomocą rozkładu równomiernego. Liczby pojazdów na godzinę dla każdej z relacji są danymi wprowadzanymi do modelu. Czas przejazdu przez odcinek międzywęzłowy zależy od jego długości oraz prędkości danego

pojazdu generowanej w oparciu o prędkość średnią dla relacji i typu pojazdów oraz rozrzut prędkości. Zakłada się, że prędkości pojazdów opisywane są rozkładem normalnym. Prędkość średnia i rozrzut prędkości są danymi do modelu. Jedyne straty czasu występujące w takiej sytuacji związane są z ewentualnym brakiem możliwości opuszczenia przekroju  $Y-Y$ . Występuje to wtedy, gdy dla pojazdu o określonej relacji pali się światło czerwone lub gdy odjazd blokuje pojazd innej relacji (tak samo jak w modelu deterministycznym).

Straty czasu pojazdów w przekroju  $Y-Y$  wyrazić można zależnością:

$$S = S_0 + S_H + S_V, \quad (12)$$

gdzie:

$S$  – straty czasu pojazdów w przekroju  $Y-Y$  dla modelu stochastycznego [s/P],

$S_0$  – straty czasu pojazdów w przekroju  $Y-Y$  gdy  $\sigma_h = 0$  s/P i  $\sigma_V = 0$  s/P,

$S_H$  – dodatkowe straty czasu pojazdów w przekroju  $Y-Y$  wynikające z rozrzutu zgłoszeń pojazdów w kanałach źródłowych [s/P], wg (13),

$S_V$  – dodatkowe straty czasu pojazdów w przekroju  $Y-Y$  wynikające z rozrzutu prędkości pojazdów na odcinku międzywęzłowym [s/P], wg (14),

$$S_H = \beta_1 \sigma_h^4 - \beta_2 \sigma_h, \quad (13)$$

gdzie:

$\beta_1, \beta_2$  – parametry zależne od:  $t_C, v_i, t_{ZW}, t_{ZY}$  wyznaczone na drodze aproksymacji [-],

$$S_V = b \sigma_V^2, \quad (14)$$

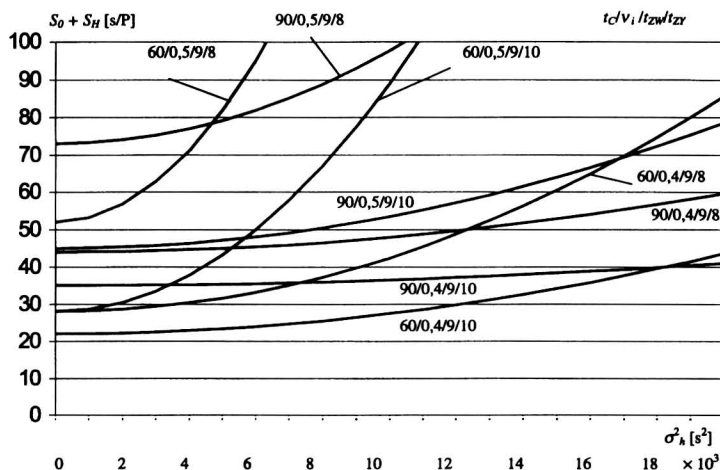
gdzie:

$b$  – parametr zależny od długości odcinka międzywęzłowego wyznaczany na drodze aproksymacji [-].

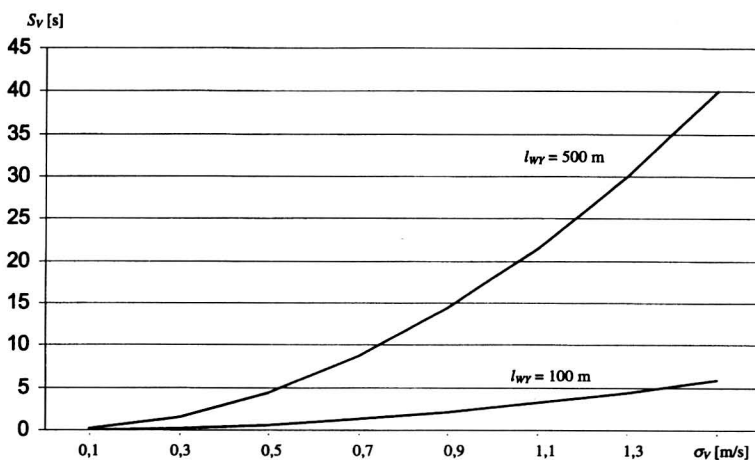
Straty czasu  $S_0$  oraz wartości parametrów  $\beta_1$  i  $\beta_2$  zależą od:  $t_C, t_{ZW}, t_{ZY}$  i  $v_i$ ; rosną wraz ze wzrostem  $t_{ZW}$  i  $v_i$ , a maleją wraz ze wzrostem  $t_C$  i  $t_{ZY}$ . Straty czasu  $S_H$  także zależą od:  $t_C, t_{ZW}, t_{ZY}$  i  $v_i$  oraz od  $\sigma_h$ . Parametr  $b$  zależy wyłącznie od odległości pomiędzy przekrojami  $W-W$  i  $Y-Y$  ( $l_{WY}$ ); rośnie wraz ze wzrostem odległości. Na rys. 3 pokazano wpływ zmienności wariancji zgłoszeń pojazdów w kanałach źródłowych ( $\sigma_h^2$ ) na straty czasu  $S_0 + S_H$  dla wybranych wartości parametrów: długość cyklu / wskaźnik obciążenia / długość światła zielonego na skrzyżowaniu  $W$  / długość światła zielonego na skrzyżowaniu  $Y$  ( $t_C/v_i/t_{ZW}/t_{ZY}$ ). Na rysunku 4 pokazano wpływ zmienności odchylenia



nia standardowej prędkości pojazdów na odcinku międzywęzłowym ( $\sigma_V$ ) na straty czasu  $S_V$  dla różnych długości  $l_{WY}$ .



Rys. 3. Zależność strat czasu od rozrzutu zgłoszeń pojazdów w kanałach źródłowych  
 Fig. 3. The dependence of delays on dispersion of the headway between vehicles in the entrance



Rys. 4. Zależność strat czasu od rozrzutu prędkości pojazdów na odcinku międzywęzłowym  
 Fig. 4. The dependence of delays on dispersion of the vehicle speeds on the section between junctions

Przykładowe wartości  $S_0$ ,  $S_H$  i  $S_V$  w odniesieniu do strat czasu wyznaczonych z modelu deterministycznego ( $S_B$ ) pokazano w tabelicy 1. Wartości te obliczono dla:  $t_{ZW} = 9$  s,  $t_{ZY} = 10$  s,  $\sigma_h = 50$  s i  $\sigma_V = 1,35$  m/s (dla  $l_{WY} = 100$  m).

Tablica 1. Przykładowe wartości strat czasu w modelach: deterministycznym i stochastycznym [s/P]

Table 1. Selected example values of delays in deterministic and stochastic model [s/P]

$v_i$	$t_c=60[s]$					$t_c=90[s]$				
	$S_B$	$S_O$	$S_H$	$S_V$	$S$	$S_B$	$S_O$	$S_H$	$S_V$	$S$
0,4	18,6	22,0	0,3	3,6	25,9	27,9	35,0	0,3	3,6	38,9
0,5	19,8	28,0	3,8	3,6	35,4	29,7	45,0	0,4	3,6	49,0
0,6	24,0	50,0	21,7	3,6	75,3	36,0	62,0	2,9	3,6	68,5

Jeżeli założyć się, że pojazdy będą pojawiać się w przekroju  $Y-Y$  w odstępach równych stratom czasu (czyli minimalnych możliwych) skonstruować można zależność (15) na przepustowość wlotu pasa dla komunikacji zbiorowej na skrzyżowanie dla modelu stochastycznego ( $Q_{SK}^S$ ) [P/h]

$$Q_{SK}^S = \frac{3600}{S_O + S_H + S_V} \quad (15)$$

## 5. PODSUMOWANIE

Straty czasu  $S$  wyznaczone w modelu stochastycznym mogą kilkakrotnie przewyższać straty czasu  $S_B$  wyznaczone w modelu deterministycznym. Różnica ta jest znaczna dla dużych natężeń ruchu wyrażonych wskaźnikiem obciążenia wlotu. Na wielkość strat nie wpływają jednak parametry losowe, a deterministyczne związane z natężeniami ruchu na poszczególnych relacjach, kolejnością zgłoszeń poszczególnych relacji, długością cyklu, długością i kolejnością poszczególnych faz, a także koordynacją sygnalizacji. Widoczne jest to szczególnie dla dłuższych cykli ( $t_c = 80 - 90$  s), krótszych odległości między skrzyżowaniami (100 – 200 m) i krótszych długości sygnałów zielonych (rzędu minimalnych 8 s). Straty czasu  $S_H$  i  $S_V$  mają wtedy niewielkie wartości, a straty czasu  $S_O$  zbliżają się do wartości  $S_B$ . Wskazuje to na sposób redukcji strat czasu w komunikacji zbiorowej: sterowanie długością cyklu, układem i długością faz, a nawet prowadzenie poszczególnych linii przez sieć komunikacyjną z uwzględnieniem korzystnego rozkładu natężeń ruchu na relacje.

Straty czasu wyznaczone z modelu deterministycznego należy traktować jako absolutne minimum możliwe do osiągnięcia przy odpowiednim zestawie parametrów deterministycznych oraz przy niewielkich odległościach międzywęzłowych. Wyniki tego modelu można traktować za miarodajne przy odległościach międzywęzłowych nie przekraczających 100 m i przy niedużych natężeniach ruchu (dla wskaźnika obciążenia wlotu mniejszego od 0,3) [24]. Wyniki z modelu stochastycznego są bliższe

rzeczywistości. Nie zarejestrowano istotnych różnic konfrontując je z uzyskanymi podczas pomiarów terenowych [24]. Obecnie powszechna jest w Europie tendencja do wydzielania pasów ruchu dla pojazdów komunikacji zbiorowej oraz obserwuje się wzrost liczby skrzyżowań o ruchu sterowanym za pomocą sygnalizacji świetlnej. Ponieważ opisany model sieci komunikacyjnej uwzględnia te zjawiska, można go uznać za nadający się do zastosowań praktycznych.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] *Herrmann M., Kerner B. S.*: Local Cluster Effect in Different Traffic Flow Models. *Physica A: Statistical and Theoretical Physics*, **255**, 1, 2, 1998
- [2] *Woch J.*: Two queueing theory models for traffic flow. *Archives of Transport*, 1/1999
- [3] *Addison P. S., Low D. J.*: Order and Chaos in the Dynamics of Vehicle Platoons. *Traffic Engineering + Control*, **7**, 8/1996
- [4] *Carbaugh J., Godbole D. N., Sengupta R.*: Safety and Capacity Analysis of Automated and Manual Highway Systems. *Transportation Research, Part C*, **6C**, 1, 2/1998
- [5] *Chang T. H.*: Analysis of Characteristics of Mixed Traffic Flow of Autopilot Vehicles and Manual Vehicles. *Transportation Research, Part C*, **5C**, 6/1997
- [6] *Wu J., McDonald M.*: TRGMSMA: Simulation Model for Light Rail Transit (LRT) at-grade Crossing Design. *Traffic Engineering + Control*, 3/1996
- [7] *Aycin M. F., Benekohal R.F.*: Stability and Performance of Car-Following Models in Congested Traffic. *Journal of Transportation Engineering*, 1/2001
- [8] *Hatipkarasulu Y., Wolshon B.*: Results of car following analyses using global positioning system. *Journal of Transportation Engineering*, 4/2000
- [9] *Hidas P.*: A Car-Following Model for Urban Traffic Simulation. *Traffic Engineering + Control*, 5/1998
- [10] *Pordzik M., Socha L.*: Porównanie modeli ruchu pojazdów typu car-following międzynarodowa konferencja naukowa - Transport XXI wieku. Warszawa, 19 – 21.09.2001
- [11] *Wagner Ch.*: Asymptotic Solutions for a Multi-Anticipative Car-Following Model. *Physica A: Statistical and Theoretical Physics*, **260**, 1, 2, 1998
- [12] *Zhang X., Jarrett D. F.*: Stability Analysis of the Classical Car-Following Model. *Transportation Research, Part B*, **31B**, 6/1997
- [13] *Azzawi M.*: An Evaluation of Current Traffic Models Used to Design Priority Junctions. *Traffic Engineering + Control*, 5/1997
- [14] *Druitt S.*: An Introduction to Microsimulation. *Traffic Engineering + Control*, 9/1998

- [15] *Hummer J. E., Park B., Roupail N. M.*: Probabilistic approach to implementing traffic signal warrants. *Journal of Transportation Engineering*, 4/2000
- [16] *Korn J., Ringel R.*: Simulation des Verkehrsablaufes an Lichtsignalanlagen mit SIMVAS++. *Strassenverkehrstechnik*, 12/2000
- [17] *Lam W. H. K., Poon A. C. K., Mung G. K. S.*: Integrated Model for Lane-Use and Signal-Phase Designs. *Journal of Transportation Engineering*, 2/1998
- [18] *Liu G., Lyrintzis A. S., Michalopoulos P. G.*: Numerical Simulation of Freeway Traffic Flow. *Journal of Transportation Engineering*, 6/1997
- [19] *Shafahi Y., Haghani A., Gupta V., Carter E. C.*: Simulation Model for Analyzing SPUDI with Actuated Signals. *Journal of Transportation Engineering*, 5/1998
- [20] *Simmonite B. F., Moore P.*: Modelling Flares at Traffic Signal-Controlled Junctions. *Traffic Engineering + Control*, 4/1997
- [21] *Kurowski M.*: Modelowanie ruchu tramwajowego w rejonie wlotu skrzyżowania z sygnalizacją świetlną. *Zeszyty Naukowo- Techniczne Oddziału SITK w Krakowie*, z. 21 "Transport i budownictwo komunikacyjne w problematyce naukowej i technicznej krakowskiego środowiska SITK", Kraków 1992
- [22] *Szałkowski M.*: Model generatora ruchu tramwajów w sieci. *Zeszyty Naukowo- Techniczne Oddziału SITK w Krakowie*, z. 43 "Problemy transportu i inżynierii lądowej w działalności naukowej i technicznej krakowskiego środowiska SITK", seria Monografie, Kraków, nr 2/1996
- [23] *Żak J.*: Modelowanie i optymalizacja wielokryterialna funkcjonowania systemów transportowych komunikacji miejskiej. *Praca doktorska (niepublikowana)*, Politechnika Poznańska, 1995
- [24] *Kruszyna M.*: Przepustowość elementów sieci komunikacji zbiorowej. *Praca doktorska, Raport Instytutu Inżynierii Lądowej z serii PRE nr 41/99*, Wrocław 1999
- [25] *Rudnicki A.*: Jakość komunikacji miejskiej. *Zeszyty Naukowo- Techniczne Oddziału SITK w Krakowie*, z. 71 seria Monografie nr 5, Kraków 1999
- [26] *Kruszyna M., Szydło A.*: A simulation research on vehicles flow in public transport network. *Archives of Transport*, 4/2000

## MODELLING OF URBAN TRANSPORT TRAFFIC FLOW ON THE SEPARATED LANE BETWEEN THE JUNCTIONS

### Abstract

This paper presents a new approach to modelling of urban transport traffic flow. The model concerns a characteristic fragment of transport network. This approach grasps the specificity of urban transport traffic flow that is understood as being located between totally free and automatic traffic flows. Two original models – a deterministic and stochastic – are proposed in the paper. A survey of methods applied in modelling of traffic flow is also given. Moreover the paper presents and compares selected examples of results of calculations according to the models.