

mgr inż. Tomasz Dybicz

MODELOWANIE RUCHU AUTOBUSÓW NA WSPÓLNYM PASIE AUTOBUSOWO-TRAMWAJOWYM

W Instytucie Dróg i Mostów Politechniki Warszawskiej prowadzone są prace badawcze nad zastosowaniem mikroskopowych modeli ruchu w ocenach efektywności projektów modernizacji układów transportu zbiorowego i indywidualnego.

W zakresie badań efektywności komunikacji zbiorowej wykorzystywane są mikroskopowe modele ruchu tworzone w programie VISSIM. Program ten umożliwia analizę ruchu indywidualnego i zbiorowego z uwzględnieniem czynników takich, jak: konfiguracja pasów ruchu, struktura rodzajowa pojazdów, sygnalizacje świetlne, przystanki komunikacji zbiorowej itd. Funkcje i narzędzia programu czynią go bardzo użytecznym narzędziem dla oceny różnych wariantów rozwiązań.

VISSIM jest powszechnie używanym i uznanym programem, który w miastach zachodnio europejskich jest z powodzeniem stosowany do:

- opracowywania, oceniania i końcowego dostrajania algorytmów sterowania z uwzględnieniem priorytetów komunikacji zbiorowej w sygnalizacji świetlnej,
- modelowania i symulacji działania systemów centralnego i lokalnego sterowania ruchem jak np. SCOOT i SCATS,
- przeprowadzania ocen optymalizacji przepływu ruchu w połączonych sieciach skoordynowanych i akomodacyjnych programów sygnalizacji świetlnej,
- opracowywania studiów wykonalności projektów transportowych,
- analiz ruchu wprowadzenia szybkiego tramwaju do sieci ulicznej,
- analiz zakłóceń ruchu powodowanych przez pojazdy poruszające się z małymi prędkościami,
- symulacji przeplatania ruchu na węzłach,
- porównań wariantów projektów skrzyżowań z sygnalizacją świetlną, skrzyżowań podporządkowanych, rond i węzłów wielopoziomowych,
- analiz przepustowości złożonych układów przystanków tramwaju i autobusu,
- ocen rozwiązań preferujących ruch pojazdów komunikacji zbiorowej w tym np. omijanie kolejek, wydzielone pasy ruchu dla autobusów, śluzy dla autobusów i tramwajów.

1. MIKROSKOPOWY MODEL RUCHU

Jedną z prac badawczych, w których IDiM PW wykorzystuje program VISSIM, jest analiza warunków funkcjonowania komunikacji autobusowej oraz wpływ jej występowania na warunki ruchu pozostałych pojazdów (samochodów i tramwajów). W celu przeprowadzenia analizy zbudowano teoretyczny, mikroskopowy model ruchu na ciągu ulicznym składającym się z następujących elementów (Rys. 1):

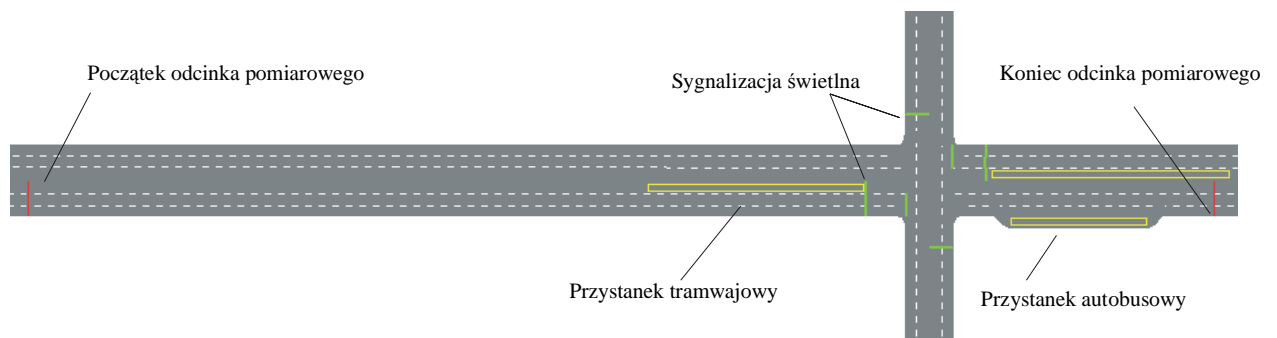
- dwóch jezdni po dwa pasy ruchu w każdym kierunku,

- wydzielonego torowiska tramwajowego między jezdniami,
- skrzyżowań z sygnalizacją świetlną,
- przystanków tramwajowych i autobusowych.

W celu umożliwienia wykonania analizy warunków ruchu dla następujących przypadków:

- autobusy poruszają się po jezdni samochodowej, bez priorytetów w ruchu ulicznym,
- autobusy poruszają się po torowisku tramwajowym (wspólnie z tramwajami),

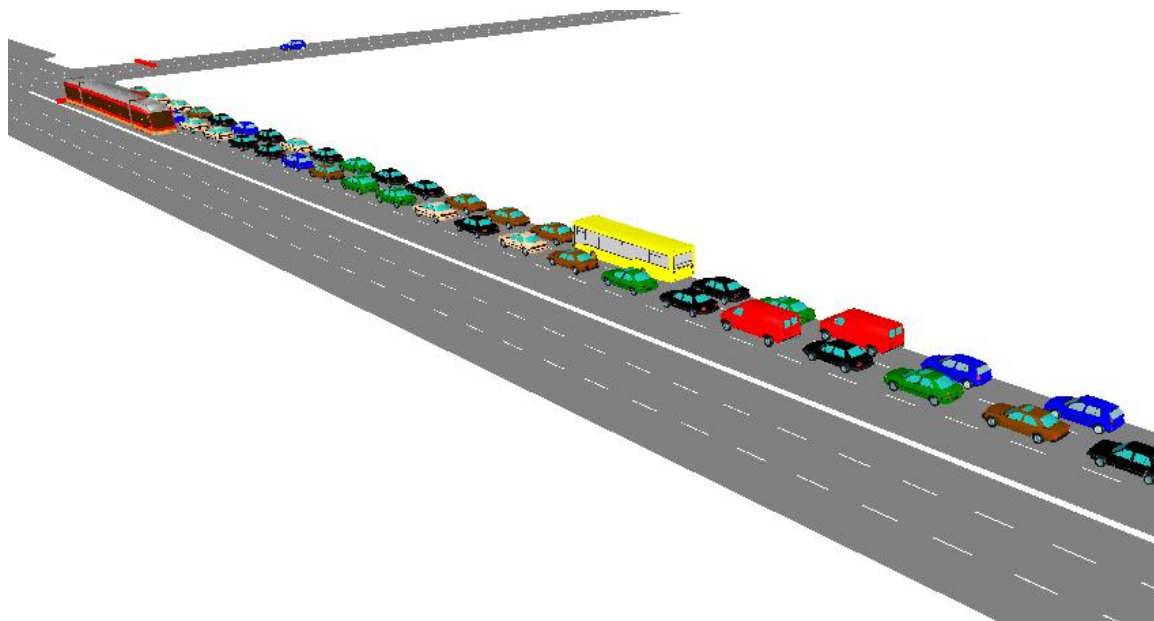
do modelu wprowadzono wirtualny odcinek pomiarowy o długości 350m. Początek odcinka pomiarowego zlokalizowano 250m przed skrzyżowaniem, a jego koniec za końcem zatoki przystankowej. Tak dobrane lokalizacje początku i końca odcinka pomiarowego miały na celu umożliwienie zbadania czasów przejazdu autobusów przez odcinek pomiarowy łącznie z czasem postoju na przystanku (zarówno dla wariantu gdy autobusy poruszają się po jezdni oraz dla wariantu gdy autobusy porusza się po torowisku tramwajowym i zatrzymują się na przystanku tramwajowym przed skrzyżowaniem).



Rys. 1 Mikroskopowy model ciągu ulicznego ze skrzyżowaniem.

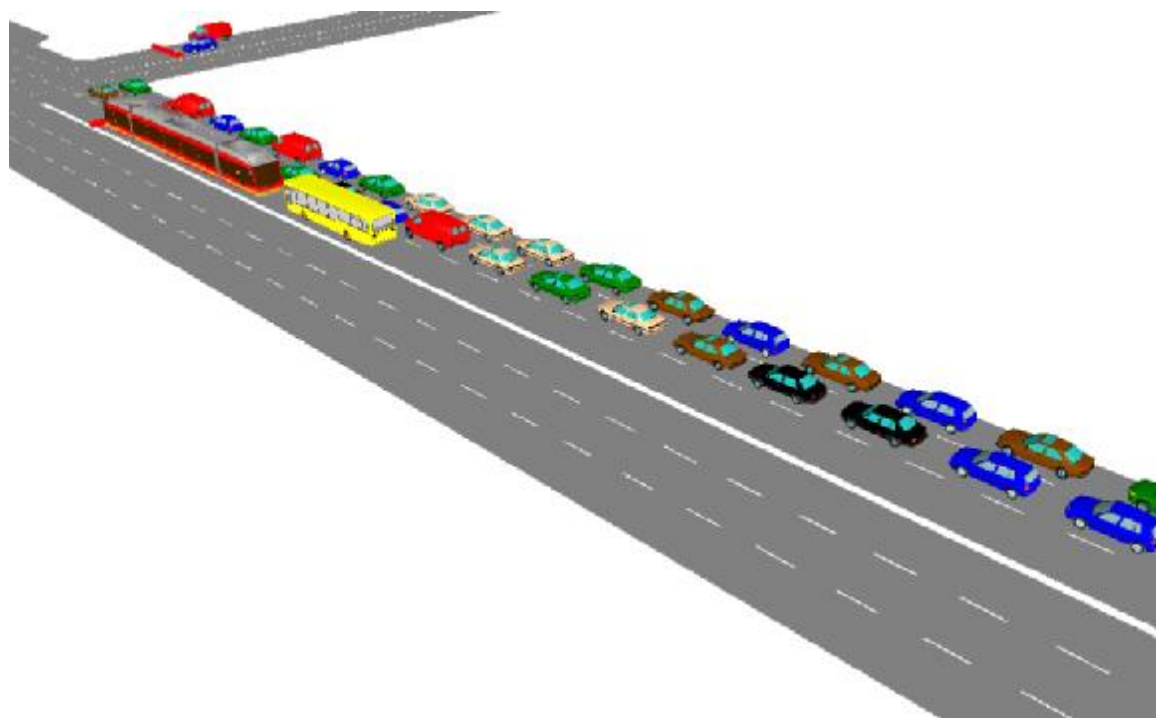
W prezentowanym przykładzie założono, że obserwacje będą prowadzone w warunkach zatłoczenia, a na jezdni oprócz autobusów komunikacji zbiorowej będą poruszać się wyłącznie samochody osobowe (brak ruchu samochodów ciężarowych).

Wlot skrzyżowania z odcinkiem pomiarowym został obciążony ruchem o natężeniu przekraczającym jego przepustowość tak aby uzyskać kolejkę pojazdów na wlocie skrzyżowania o długości przekraczającej początek odcinka pomiarowego (Rys. 2).



Rys. 2 Symulacja warunków zatłoczenia na analizowanym wlocie skrzyżowania – autobusy poruszają się po jezdni

W celu zbadania wpływu jaki wywierają autobusy na warunki ruchu samochodów, warunki zatłoczenia na wlocie skrzyżowania zostały zasymulowane również w wariantcie w którym autobusy poruszały się po torowisku tramwajowym. Stworzyło to możliwość dokonania porównań i zbadania wpływu wspólnego wykorzystywania torowisk przez tramwaje i autobusy na warunki ruchu tych środków transportu (Rys. 3).



Rys. 3 Wariant symulacji ruchu, w którym autobusy poruszają się po torowisku tramwajowym

We wszystkich przeprowadzonych symulacjach założono ponadto, że:

- na wspólnym przystanku tramwajowo-autobusowym wymiana pasażerów może odbywać się jednocześnie maksymalnie w dwóch pojazdach, tzn. jeden autobus i jeden tramwaj lub

dwa tramwaje (dopuszczono możliwość jednoczesnego wymieniania pasażerów tylko przez trzy autobusy),

- czas wymiany pasażerów w tramwajach i autobusach plus czas na otwarcie i zamknięcie drzwi dobierany jest losowo przez komputer z przedziału 17-27s.

Dla tak zdefiniowanego modelu symulacyjnego przeprowadzono łącznie 16-cie symulacji zróżnicowanych natężeniami ruchu środków komunikacji zbiorowej oraz typami skrzyżowań. Przeprowadzono symulacje dla 5 poziomów natężenia ruchu komunikacji zbiorowej od 20 do 50 poj./h dla dwóch typów skrzyżowań:

skrzyżowanie „TYP 1” - skrzyżowanie ulicy głównej z ul. zbiorczą (w tym przypadku jako wzór zastosowano program sygnalizacji ze skrzyżowania Al. Jerozolimskie/Krucza - długość cyklu 84s, długość sygnału zielonego dla kierunku głównego (analizowanego) 44s, długość sygnału zezwalającego na przejazd dla tramwajów 40s;

skrzyżowanie „TYP 2” - skrzyżowanie ulic głównych (w tym przypadku jako wzór zastosowano program sygnalizacji ze skrzyżowania Al. Jerozolimskie/Marszałkowska - długość cyklu 84s, długość sygnału zielonego dla kierunku głównego (analizowanego) 34s, długość sygnału zezwalającego na przejazd dla tramwajów 16s.

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie wariantów symulacji poddanych analizie.

Tab. 1 Zestawienie przeanalizowanych wariantów symulacji warunków ruchu

| Wariant symulacji | Organizacja ruchu autobusów i tramwajów | Typ skrzyżowania | Natężenie ruchu autobusów [A/h] | Natężenie ruchu tramwajów [T/h] |
|-------------------|---|------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Tradycyjna ¹ | TYP 1 | 20 | 20 |
| 2 | Na wspólnym pasie ruchu ² | | | |
| 3 | Tradycyjna | TYP 2 | 20 | 20 |
| 4 | Na wspólnym pasie ruchu | | | |
| 5 | Tradycyjna | TYP 1 | 30 | 30 |
| 6 | Na wspólnym pasie ruchu | | | |
| 7 | Tradycyjna | TYP 2 | 30 | 30 |
| 8 | Na wspólnym pasie ruchu | | | |
| 9 | Tradycyjna | TYP 1 | 40 | 40 |
| 10 | Na wspólnym pasie ruchu | | | |
| 11 | Tradycyjna | TYP 2 | 40 | 40 |
| 12 | Na wspólnym pasie ruchu | | | |
| 13 | Tradycyjna | TYP 1 | 50 | 50 |
| 14 | Na wspólnym pasie ruchu | | | |
| 15 | Tradycyjna | TYP 2 | 50 | 50 |
| 16 | Na wspólnym pasie ruchu | | | |

¹Tradycyjna – autobus porusza się po jezdni wspólnie z samochodami, autobus ma przystanek za skrzyżowaniem

²Na wspólnym pasie ruchu – autobus porusza się po torowisku tramwajowym, autobus wykorzystuje przystanek tramwajowy zlokalizowany przed skrzyżowaniem

3. WYNIKI SYMULACJI RUCHU

Za pomocą wprowadzonego do modelu wirtualnego odcinka pomiarowego zebrano informacje o czasach przejazdu przez odcinek wszystkich pojazdów z podziałem na strukturę rodzajową we wszystkich wariantach symulacji. Dodatkowo uzyskano informacje o liczbie pojazdów, które przejeżdżały przez odcinek pomiarowy - w przypadku samochodów osobowych liczba przejeżdżających pojazdów została uznana za przepustowość analizowanego wlotu skrzyżowania.

Natężenie ruchu pojazdów komunikacji zbiorowej – 20A/h, 20T/h

Wyniki symulacji przeprowadzonej dla skrzyżowania „TYP 1” wskazują, że:

- w warunkach zatłoczenia samochody osobowe, przy natężeniu autobusów 20A/h, potrzebują ok. 100s na przejechanie odcinka pomiarowego niezależnie od ruchu autobusów,
- gdy liczba autobusów nie przekracza 20A/h (autobus średnio co 3min), ich wpływ na warunki ruchu samochodów nie jest znaczący,
- czas przejazdu autobusu (wraz z zatrzymaniem się na przystanku) kształtuje się na poziomie 131s w wariantach tradycyjnej organizacji ruchu i 69s gdy wykorzystywane jest torowisko tramwajowe,
- wykorzystywanie torowiska tramwajowego przez autobusy daje im o prawie 50% (62s) krótszy czas przejazdu w stosunku do tradycyjnej organizacji ruchu.
- dla tak zdefiniowanych parametrów symulacji nie stwierdzono dodatkowych strat czasu tramwajów na skutek wprowadzenia autobusów na torowisko tramwajowe (w obu wariantach symulacji czas przejazdu tramwajów - 70s.).

Wyniki symulacji przeprowadzonej dla skrzyżowania „TYP 2”, przy takim samym natężeniu ruchu pojazdów komunikacji zbiorowej pozwalają na wysunięcie podobnych wniosków jak dla przypadku powyższego. Oszczędności czasu w przypadku autobusów wykorzystujących torowiska tramwajowego sięgają 72s.

Natężenie ruchu pojazdów komunikacji zbiorowej – 30A/h, 30T/h

Wyniki symulacji przeprowadzonej dla skrzyżowania „TYP 1”, przy natężeniu autobusów 30A/h wskazują, że:

- wzrost natężenia ruchu autobusów (w stosunku do 20A/h) nie powoduje wydłużenia czasów jazdy samochodów, przy czym obserwowany jest spadek przepustowości wlotu skrzyżowania (o ok. 20 sam./h),
- wprowadzenie większej liczby autobusów na torowiska tramwajowe powoduje pewne wydłużenie czasów przejazdu tramwajów (z 69s bez autobusów do 75s z autobusami),
- czas przejazdu autobusu (wraz z zatrzymaniem się na przystanku) kształtuje się na poziomie 136s w wariantach tradycyjnej organizacji ruchu i 81s gdy wykorzystywane jest torowisko tramwajowe,
- oszczędności czasu autobusów wprowadzonych na torowiska tramwajowe sięgają 55s czyli ok. 40% czasu jazdy.

Wyniki symulacji przeprowadzonej dla skrzyżowania „TYP 2”, wskazują, że:

- wzrost natężenia ruchu autobusów (30A/h) powoduje ograniczenie przepustowości wlotu skrzyżowania o ok. 60 sam./h,
- wprowadzenie większej liczby autobusów na torowiska tramwajowe powoduje pewne wydłużenie czasów przejazdu tramwajów (ze 106s bez autobusów do 114s z autobusami),
- czas przejazdu autobusu (wraz z zatrzymaniem się na przystanku) kształtuje się na poziomie 195s w wariantcie tradycyjnej organizacji ruchu i 116s gdy wykorzystywane jest torowisko tramwajowe,
- oszczędności czasów autobusów wprowadzonych na torowiska tramwajowe sięgają 78s (40%).

Natężenie ruchu pojazdów komunikacji zbiorowej – 40A/h, 40T/h

Wyniki symulacji przeprowadzonej dla skrzyżowania „TYP 1”, przy natężeniu autobusów 40A/h wskazują, że:

- wzrost natężenia ruchu autobusów nie powoduje wydłużenia czasów jazdy samochodów, ale obserwowany jest spadek przepustowości wlotu skrzyżowania (o ok. 100 sam./h),
- wprowadzenie większej liczby autobusów na torowiska tramwajowe powoduje wydłużenie czasów przejazdu tramwajów (z 71s bez autobusów do 82s z autobusami),
- czas przejazdu autobusu (wraz z zatrzymaniem na przystanku) kształtuje się na poziomie 136s w wariantcie tradycyjnej organizacji ruchu i 84s gdy wykorzystywane jest torowisko tramwajowe,
- oszczędności czasu autobusów wprowadzonych na torowiska tramwajowe sięgają 51s czyli ok. 38% czasu jazdy.

Wyniki symulacji przeprowadzonej dla skrzyżowania „TYP 2”, wskazują, że:

- wzrost natężenia ruchu autobusów (40A/h) powoduje ograniczenie przepustowości wlotu skrzyżowania o ok. 100 sam./h i wydłużenie czasu przejazdu samochodów o ok. 14s,
- wprowadzenie większej liczby autobusów na torowiska tramwajowe powoduje wydłużenie czasów przejazdu tramwajów (ze 111s bez autobusów do 123s z autobusami),
- czas przejazdu autobusu (wraz z zatrzymaniem na przystanku) kształtuje się na poziomie 196s w wariantcie tradycyjnej organizacji ruchu i 123s gdy wykorzystywane jest torowisko tramwajowe,
- oszczędności czasów autobusów wprowadzonych na torowiska tramwajowe sięgają 73s (37%).

Natężenie ruchu pojazdów komunikacji zbiorowej – 50A/h, 50T/h

Wyniki symulacji przeprowadzonej dla skrzyżowania „TYP 1” wskazują, że przy natężeniu autobusów 50A/h ich wprowadzenie na torowisko doprowadziłoby do bardzo dużych strat czasu zarówno dla tramwaju jak i autobusu. W tym przypadku liczba pojazdów komunikacji zbiorowej przekracza przepustowość pasa tramwajowo-autobusowego i przed skrzyżowaniem w czasie symulacji narasta kolejka wozów. Po zakończeniu czasu symulacji (1h) długość kolejki przekracza 300m, a czasy przejazdu odcinka pomiarowego osiągają 360s zarówno dla

autobusów jak i tramwajów (w wariancie tradycyjnej organizacji ruchu tramwaj - 72s na przejazd, autobus -143s).

Wyniki symulacji przeprowadzonej dla skrzyżowania „TYP 2” również wskazują, że przy natężeniu autobusów 50A/h ich wprowadzenie na torowisko nie jest możliwe. W tym przypadku po zakończeniu symulacji długość kolejki przekracza 400m, a czasy przejazdu przez odcinek pomiarowy przekraczają 400s (w wariancie tradycyjnej organizacji ruchu tramwaj - 109s na przejazd, autobus -194s).

Wyniki przeprowadzonych symulacji przedstawiono w tabelach 2-6

Tabela 2 Zestawienie czasów przejazdu **autobusów** przez odcinek pomiarowy – skrzyżowanie „TYP 1”

| Natężenie ruchu autobusów [A/h] / tramwajów [T/h] | Czasy przejazdu autobusów w zależności od organizacji ruchu autobusów i tramwajów [s] | | Zmiana czasu przejazdu autobusu w wyniku korzystania przez autobusy z torowiska tramwajowego [s]/[%] |
|---|---|-----------------------------------|--|
| | Autobusy na jezdni | Autobusy na torowisku tramwajowym | |
| 20 / 20 | 131 | 69 | 62 / 47% |
| 30 / 30 | 136 | 81 | 55 / 40% |
| 40 / 40 | 136 | 84 | 51 / 38% |
| 50 / 50 | 143 | 360 | -217 / -152% |

Tabela 3 Zestawienie czasów przejazdu **tramwajów** przez odcinek pomiarowy – skrzyżowanie „TYP 1”

| Natężenie ruchu autobusów [A/h] / tramwajów [T/h] | Czasy przejazdu tramwajów w zależności od organizacji ruchu autobusów i tramwajów [s] | | Zmiana czasu przejazdu tramwajów w wyniku korzystania przez autobusy z torowiska tramwajowego [s]/[%] |
|---|---|-----------------------------------|---|
| | Autobusy na jezdni | Autobusy na torowisku tramwajowym | |
| 20 / 20 | 69 | 70 | -1 / -2% |
| 30 / 30 | 69 | 75 | -6 / -8% |
| 40 / 40 | 71 | 82 | -11 / -15% |
| 50 / 50 | 72 | 359 | -286 / -396% |

Tabela 4 Zestawienie czasów przejazdu **autobusów** przez odcinek pomiarowy – skrzyżowanie „TYP 2”

| Natężenie ruchu autobusów | Czasy przejazdu autobusów w zależności od organizacji ruchu autobusów i tramwajów [s] | Zmiana czasu przejazdu autobusu |
|---------------------------|---|---------------------------------|
|---------------------------|---|---------------------------------|

| [A/h] / tramwajów [T/h] | Autobusy na jezdni | Autobusy na torowisku tramwajowym | w wyniku korzystania przez autobusy z torowiska tramwajowego [s]/[%] |
|-------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--|
| 20 / 20 | 179 | 107 | 72 / 40% |
| 30 / 30 | 195 | 116 | 78 / 40% |
| 40 / 40 | 196 | 123 | 73 / 37% |
| 50 / 50 | 196 | 412 | -218 / -112% |

Tab. 5 Zestawienie czasów przejazdu **tramwajów** przez odcinek pomiarowy – skrzyżowanie „TYP 2”

| Natężenie ruchu autobusów [A/h] / tramwajów [T/h] | Czas przejazdu tramwajów w zależności od organizacji ruchu autobusów i tramwajów [s] | | Zmiana czasu przejazdu tramwajów w wyniku korzystania przez autobusy z torowiska tramwajowego [s]/[%] |
|---|---|--------------------------------------|--|
| | Autobusy na jezdni | Autobusy na torowisku tramwajowym | |
| 20 / 20 | 104 | 105 | -1 / -1% |
| 30 / 30 | 106 | 114 | -8 / -7% |
| 40 / 40 | 111 | 123 | -12 / -11% |
| 50 / 50 | 109 | 438 | -329 / -301% |

Tabela 6 Wpływ wzrostu natężenia ruchu autobusów poruszających się po jezdni na liczbę samochodów przejeżdżających przez odcinek pomiarowy

| Natężenie ruchu autobusów [A/h] | Liczba przejeżdżających samochodów przez odcinek pomiarowy – wariant skrzyżowania TYP 1 [sam./h] | Liczba przejeżdżających samochodów przez odcinek pomiarowy – wariant skrzyżowania TYP 2 [sam./h] |
|------------------------------------|---|---|
| 20 | 2002 | 1437 |
| 30 | 1979 | 1378 |
| 40 | 1886 | 1278 |
| 50 | 1816 | 1215 |

Wyniki symulacji potwierdzają, że wspólne wykorzystywanie torowisk tramwajowych przez tramwaje i autobusy może przynieść wymierne korzyści, przy czym nie może być przekroczona przepustowość wspólnego pasa ruchu. Korzyści dotyczą oszczędności w czasie jazdy autobusów, przy stosunkowo małym wydłużeniu czasu jazdy tramwajów.

Symulacje wskazują także, że w warunkach zatłoczenia ruchem, przesunięcie autobusów na torowiska tramwajowe nie przyczynia się do skrócenia czasów przejazdu samochodów, ale może zwiększyć przepustowość ciągów drogowych. Dodatkowym efektem, szczególnie przy natężeniach ruchu mniejszych od przepustowości wlotów skrzyżowań może być ograniczenie długości kolejek samochodów przed skrzyżowaniami.

3. PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki symulacji nie powinny być uogólniane na wszystkie możliwe przypadki funkcjonowania wspólnych pasów autobusowo-tramwajowych. Wskazują jednak, że tak przygotowane narzędzie – model symulacyjny – może być z powodzeniem stosowane do przeprowadzania analiz wykonalności i efektywności poszczególnych rozwiązań. Dla każdego przypadku niezbędne jest jednak przygotowanie odpowiedniego modelu mikroskopowego budowanego na bazie modelu stanu istniejącego. Uzyskanie wiarygodnych wyników jest uwarunkowane przeprowadzeniem gruntowanej kalibracji modelu, przed przystąpieniem do analiz projektowanych wariantów. Stąd mikroskopowy model sieci transportu zbiorowego powinien być budowany z wykorzystaniem rzeczywistej organizacji ruchu oraz szczegółowych badań ruchu. Badania powinny obejmować następujące elementy:

- pomiary natężenia ruchu na wlotach skrzyżowań wraz ze strukturą rodzajową pojazdów w 15min interwałach,
- pomiary długość kolejek pojazdów i strat czasów (pomiary zarówno dla samochodów indywidualnych jak i pojazdów komunikacji zbiorowej),
- pomiary czasu wymiany pasażerów przez pojazdy komunikacji zbiorowej w rejonie analizowanych skrzyżowań,
- badania regularności kursowania komunikacji zbiorowej oraz możliwości występowania spiętrzeń,
- analizę potencjalnych awarii, które mogą zakłócić poruszanie się składów tramwajowych.

Bibliografia

- 1)Melanie Parker: „Zooming in on Traffic Microsimulation”. *Traffic Technology International*. Dec 2001/Jan 2002.
- 2)Vissim – Podręcznik użytkownika.
- 3)Ronald T. Milam: „, Corsim Paramics and Vissim: What the Manuals never Told You”. ITE Annual Meeting. Philadelphia 2002.