

Michał Maciejewski

Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Politechnika Poznańska

Marek Maciejewski

Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Politechnika Poznańska

MIKROSYMULACJA RUCHU DROGOWEGO DLA OBSZARU MIEJSKIEGO Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMU VISSIM

Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę zastosowania systemu VISSIM firmy PTV do przeprowadzania mikroskopowego modelowania i symulacji przepływu ruchu drogowego dla rzeczywistego fragmentu sieci. W pierwszej kolejności nakreślono zagadnienie modelowania i symulacji ruchu oraz przedstawiono system VISSIM. W dalszej części opisano przebieg prac nad modelem, a następnie wyniki symulacji wraz z omówieniem procesu kalibracji modelu. Następnie autorzy dokonali krótkiej analizy wyników i odnieśli je do stanu rzeczywistego oraz rezultatów otrzymanych we wcześniejszych pracach przy zastosowaniu systemów SUMO i TRANSIMS. Artykuł kończy podsumowanie zrealizowanych prac.

Słowa kluczowe: przepływ ruchu drogowego, miejski, model, symulacja, mikroskopowy, VISSIM, SUMO, TRANSIMS

1. MODELOWANIE I SYMULACJA

Wiarygodne opisanie ruchu drogowego nie jest zadaniem trywialnym. Dotychczas opracowano wiele modeli opisujących ruch potoku pojazdów, niestety żadnego z nich nie można określić mianem idealnego bądź uniwersalnego. W ogólności można wyróżnić cztery podstawowe klasy modeli ruchu drogowego [1]: makroskopowe [2], mezoskopowe, mikroskopowe [3] i submikroskopowe. Modele makroskopowe znajdują zastosowanie tam, gdzie nie jest wymagana szczegółowa informacja o zachowaniu poszczególnych pojazdów, lecz wyłącznie ogólna ocena jakościowa ruchu na większej i bardziej złożonej konfiguracji sieci drogowej, a więc w planowaniu regionalnym. Z kolei modele mikroskopowe umożliwiają otrzymanie szacunkowych wprawdzie, ale przy tym całkiem wiarygodnych informacji o zachowaniu pojedynczych pojazdów. Z tego powodu można je stosować głównie w odniesieniu do mniejszych zakresowo układów komunikacyjnych, ale o większym poziomie szczegółowości.

2. SYSTEM VISSIM

VISSIM jest płatnym systemem symulacji mikroskopowej przepływu ruchu drogowego niemieckiej firmy PTV [4]. W zakresie modelowania jazdy za liderem zastosowano w nim psychofizjologiczny model zachowania kierowcy autorstwa Wiedemanna [5]. W modelu tym zawarto opis wpływu percepcji wykazywanej przez kierowców na proces podejmowania decyzji w zakresie wyboru prędkości jazdy. Również z prac Wiedemanna [6] wywodzi się oparty na regułach model zmiany pasa ruchu.

W systemie VISSIM nie stosuje się klasycznego podejścia do modelowania sieci drogowej za pomocą grafu skierowanego składającego się z wierzchołków (węzłów) i krawędzi (odcinków). Sieć drogową buduje się za pomocą jednokierunkowych odcinków połączonych za pomocą łączników (*connectors*). Podejście to umożliwia modelowanie niemal dowolnych układów drogowych, w tym skrzyżowania o ruchu okrężnym, co jest praktycznie niemożliwe przy wykorzystaniu reprezentacji grafowej.

System VISSIM cechuje się nie tylko dużą dokładnością modelowania geometrii i parametrów sieci drogowej, ale także umożliwia precyzyjne odwzorowanie ruchu pojazdów. W systemie możliwa jest symulacja pojazdów jednośladowych, szynowych oraz pieszych, co nie jest powszechnie spotykane w narzędziach służących mikrosymulacji przepływu ruchu. Ponadto możliwe jest zastosowanie dynamicznego rozkładu ruchu (*dynamic traffic assignment*), w ramach którego proces „uczenia się” kierowców przebiega w sposób iteracyjny [7].

Także w zakresie modelowania i symulacji sygnalizacji świetlnej system VISSIM posiada bogatą funkcjonalność. Poza tworzeniem sygnalizacji stałoczasowej czy zmiennoczasowej, możliwa jest współpraca z zewnętrznymi sterownikami sygnalizacji.

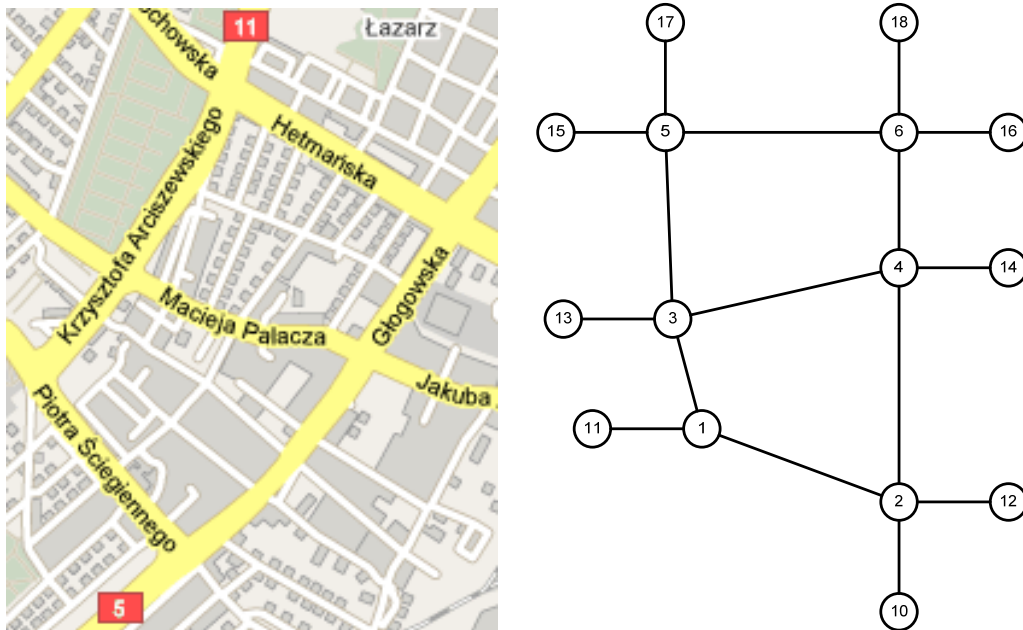
System VISSIM posiada olbrzymie możliwości wizualizacyjne w zakresie grafiki dwu- oraz trójwymiarowej, możliwe jest także tworzenie animacji 2D/3D przedstawiających przebieg symulacji z różnych ujęć kamery.

3. SIEĆ DROGOWA

Na potrzeby badań wybrano fragment miejskiej sieci drogowej w dzielnicy Grunwald, w południowozachodniej części Poznania, składający się z następujących ulic (rys.1):

- Krzysztofa Arciszewskiego,
- Głogowska,
- Hetmańska,
- Macieja Palacza,
- Piotra Ściegiennego.

Wymienione ulice charakteryzują się wysokim natężeniem ruchu drogowego i krzyżując się wyznaczają 6 skrzyżowań, na których ruch drogowy sterowany jest sygnalizacją świetlną.



Rys.1. Fragment sieci drogowej Poznania [8] oraz schemat modelu

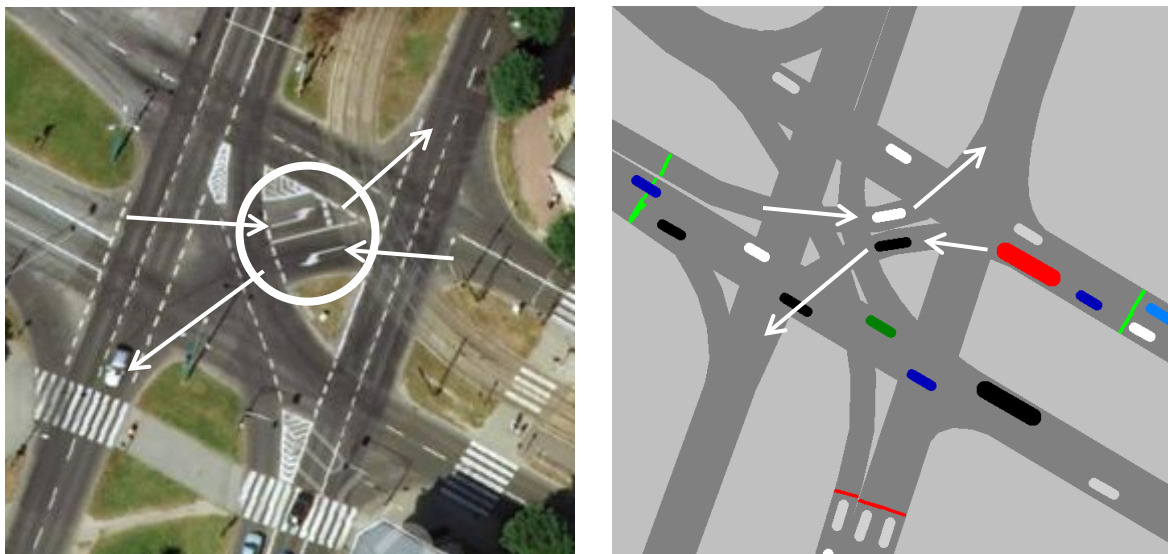
4. MODEL W SYSTEMIE VISSIM

4.1. Sieć drogowa

Ze względu na niewielkie znaczenie, w rozumieniu wielkości potoku pojazdów, w budowanym modelu pominięto mniejsze ulice wchodzące w skład rozpatrywanego fragmentu sieci. W ich okolicy brakuje obiektów generujących duży ruch, takich jak centra handlowe, urzędy, obiekty sportowe, kina itp., natomiast dominuje zabudowa mieszkalna. Istotnym jest również fakt, że nie uwzględniono linii tramwajowych biegnących wzdłuż ulic Hetmańska i Głogowska. Spowodowane było to koniecznością zapewnienia (na potrzeby analiz porównawczych) zgodności modelu z modelami stworzonymi w systemach SUMO [9] oraz TRANSIMS [10], w których nie ma możliwości uwzględnienia pojazdów szynowych.

Na rys.1 przedstawiono schemat modelowanego układu drogowego wraz z oznaczeniami skrzyżowań. Odcinki prowadzące od węzła 10 do 18 odpowiadają przebiegowi ul. Głogowskiej. Węzły 1,...,6 to skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, natomiast 10,...,18 – to węzły graniczne, które są miejscami początku i końca marszrut pojazdów. Węzły 1-6 są połączone odcinkami o długości równej rzeczywistej długości odcinków ulic, natomiast odcinki prowadzące do i od węzłów granicznych mają długość 300 m. Należy zaznaczyć, o czym już wspomniano w punkcie 2, że model w systemie VISSIM nie jest zbudowany wprost z odcinków i węzłów, ale z odcinków połączonych łącznikami. Natomiast węzły definiuje się, choć nie jest to konieczne, jako agregację odcinków i łączników w określonym obszarze. To podejście umożliwia bardzo wierne modelowanie skomplikowanych sieci drogowych.

Dla zobrazowania zalet reprezentacji sieci drogowej dostępnej w systemie VISSIM na rys.2 przedstawiono zdjęcie lotnicze skrzyżowania nr 5 oraz jego model. Można zauważyć, że w przypadku obu zaznaczonych manewrów skrętu w lewo istnieje możliwość wykonania ich dwuetapowo, niekoniecznie w ramach pojedynczego cyklu sygnalizacji świetlnej. System VISSIM umożliwia wiernie zamodelowanie tego typu skrzyżowań. Niestety w systemach takich jak SUMO czy TRANSIMS nie jest to możliwe z uwagi na klasyczną reprezentację sieci drogowej w postaci odcinków i węzłów.



Rys.2. Rzeczywiste skrzyżowanie nr 5 [11] i jego model

4.2. Sygnalizacja świetlna

Szczegółowe informacje o sygnalizacji świetlnej zaczerpnięto z pracy [12], w ramach której przeprowadzono dokładną identyfikację programów sygnalizacji dla rozważanego fragmentu sieci. W przypadku niektórych skrzyżowań program sygnalizacji charakteryzował się priorytetem dla tramwajów. Z uwagi na pominięcie w modelu komunikacji tramwajowej, pomiary przeprowadzono w okresach, w których tramwaje nie czekały na przejazd przez skrzyżowanie.

W przypadku wszystkich skrzyżowań po zakończeniu wyświetlania sygnału zielonego następował 3-sekundowy okres z sygnałem żółtym. Z uwagi na ograniczenia systemów SUMO oraz TRANSIMS, w których nie jest możliwe zamodelowanie jednosekundowego sygnału czerwono-żółtego w przypadku przejścia z sygnału czerwonego na zielony, wydłużano czas trwania sygnału czerwonego lub ewentualnie zielonego.

4.3. Pomiary ruchu drogowego

W celu oszacowania wielkości i rozkładu ruchu drogowego dokonano pomiarów natężenia ruchu na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną (węzły 1-6). Pomiary wykonano (w ramach realizacji pracy [12]) ręcznie na drogach wlotowych do skrzyżowań z rozróżnieniem na typy pojazdów (O – osobowe, D – dostawcze, C – ciężarowe, Cp –

ciężarowe z przyczepą, A – autobusy, M – motocykle i R – rowery) oraz typy manewrów (L – skręt w lewo, W – jazda na wprost i P – skręt w prawo).

Badania natężenia wykonano w dzień roboczy (21 kwietnia 2009) w godzinach szczytu komunikacyjnego (między godziną 14:00 a 18:00). Warunki do jazdy były bardzo dobre – sucha nawierzchnia, temperatura ok. 20°C, lekko zachmurzone niebo i bardzo dobra widoczność. Na każde skrzyżowanie poświęcono 30 minut. W tym czasie zliczono liczbę pojazdów dla około dziesięciu pełnych cykli sygnalizacji, a następnie znormalizowano wyniki tak, aby otrzymać liczbę pojazdów na godzinę.

Z uwagi na przeprowadzenie badań w godzinach szczytu na skrzyżowaniach o dużym natężeniu ruchu, otrzymane wyniki są zbliżone do przepustowości badanych skrzyżowań.

4.4. Generacja ruchu drogowego

W oparciu o zebrane wyniki przystąpiono do generacji populacji pojazdów wraz z trasami przejazdu. Marszruty były tak zaplanowane, aby zachować maksymalną zgodność z rzeczywistymi trasami przejazdu pojazdów. Na potrzeby wyboru trasy na każdym wlocie przed każdym ze skrzyżowań zastosowano punkty decyzyjne, w których kierowcy podejmowali decyzję o wyborze odcinka wylotowego. Wybór wylotu odbywa się w sposób stochastyczny zgodnie z rozkładem prawdopodobieństwa wyznaczonym na podstawie pomiarów ruchu.

Z uwagi na fakt, że w systemach SUMO oraz TRANSIMS nie jest możliwe definiowanie oddzielnych rozkładów prawdopodobieństwa dla poszczególnych typów pojazdów (w systemie VISSIM jest to możliwe), wyznaczono rozkłady w przeliczeniu na pojazdy umowne. Zestawienia wykonywane w pojazdach umownych pozwalają uwzględnić różny stopień oddziaływania poszczególnych pojazdów na strumień ruchu w zależności od typu pojazdu. W badaniach wykorzystano typowe współczynniki przeliczeniowe stosowane w Polsce dla skrzyżowań z sygnalizacją [13].

Zarówno źródłami, jak i ujściami potoków pojazdów są węzły graniczne sieci (10-18). Przyjęto, że natężenie potoku pojazdów na poszczególnych odcinkach wlotowych sieci jest identyczne z natężeniem na odpowiadających tym odcinkom wlotach skrzyżowań. Wielkości natężenia ruchu wprowadzono do systemu VISSIM korzystając z tzw. generatorów pojazdu z uwzględnieniem podziału na typy pojazdów. Z uwagi na brak wsparcia systemów SUMO oraz TRANSIMS dla pojazdów jednośladowych, pominięto motocykle oraz rowery. Liczba pojazdów jednośladowych była mała i stanowiła 0,8% łącznej liczby pojazdów, więc ich pominięcie nie wpłynęło istotnie na wyniki.

Należy zauważyć, że zebrane wyniki opisujące natężenie ruchu na skrzyżowaniach nie są spójne. Dla danego odcinka prowadzącego od skrzyżowania do skrzyżowania znane jest natężenie na wlocie z pierwszego oraz na wlocie do drugiego skrzyżowania. Zazwyczaj obie wartości natężeń nie są sobie równe. Wynika to z faktu niemożności przeprowadzenia ręcznych pomiarów równocześnie na wszystkich skrzyżowaniach, oraz z nieuwzględnienia w badaniach dróg osiedlowych czy możliwości postoju lub zatrzymania pojazdu pomiędzy skrzyżowaniami. Drobne niezgodności w pomiarach natężeń nie stanowią jednak istotnego problemu. Stosowana metoda generacji ruchu nie korzysta bezpośrednio z wielkości natężeń, lecz z prawdopodobieństwa wykonania poszczególnych manewrów. Wielkości natężeń są wykorzystywane bezpośrednio tylko przy definiowaniu natężenia ruchu na wlotach sieci.

5. SYMULACJA W SYSTEMIE VISSIM

5.1. Wyniki symulacji

W celu otrzymania wiarygodnych wyników badań symulacyjnych niezwykle istotnym jest przeprowadzenie kalibracji modelu poprzez identyfikację wartości jego parametrów. Zdecydowanie najwięcej czasu poświęcono modyfikacji geometrii oraz parametrów sieci drogowej (np. maksymalna prędkość na poszczególnych łukach). Drobne różnice w przebiegu odcinków lub lokalizacji różnych elementów modelu (np. sygnalizatory, znaki, punkty wyboru trasy itp.) często są przyczyną dużych niezgodności modelu z rzeczywistością. Dlatego edycję sieci drogowej wykonano korzystając z map cyfrowych umieszczonych jako tło aplikacji.

Z uwagi na bardzo precyzyjne modele pojazdów dostępnych w systemie VISSIM nie było konieczne dostrajanie ich parametrów. Jediną modyfikacją było zdefiniowanie klasy pojazdów dostawczych, ponieważ tej kategorii nie uwzględnia standardowy model VISSIM.

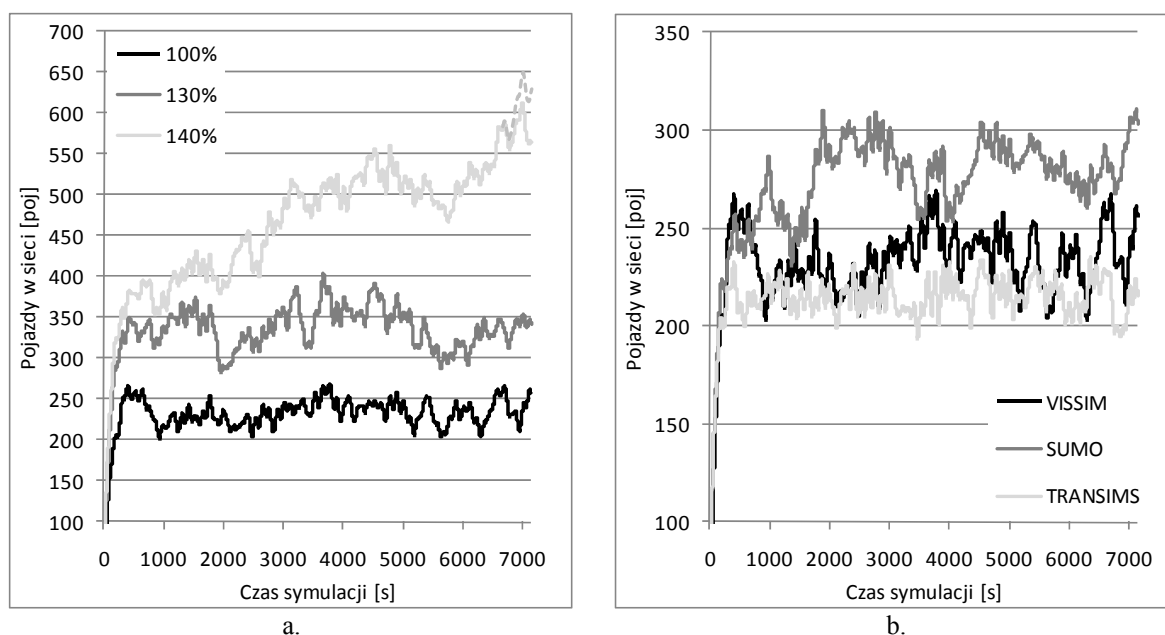
Jako że danymi wejściowymi są natężenia potoków pojazdów przejeżdżających przez skrzyżowania, podstawowym kryterium kalibracji było otrzymanie symulacji o stabilnym przebiegu, a więc takiej, dla której nie wydłużały się kolejki pojazdów przed skrzyżowaniami. W tym celu obok oceny wizualnej sytuacji na drodze posługiwano się także wykresami liczby pojazdów w sieci.

Po dokonaniu prac kalibracyjnych przeprowadzono szereg symulacji dla zmierzonego natężenia ruchu oraz przy stopniowo zwiększonym natężeniu ruchu. Otrzymane rezultaty dla wybranych wielkości natężeń przedstawiono na rys.3 (wykres po lewej stronie). Zarówno w przypadku natężenia wyjściowego (100%), jaki i zwiększonego nawet o 30% (130%) nie tworzyły się znaczące kolejki pojazdów przed skrzyżowaniami i pojazdy dość płynnie przemierzały wyznaczone marszruty. Dopiero zwiększenie natężenia potoku pojazdów na wlotach do 140% spowodowało powstanie rosnących w czasie kolejek przed skrzyżowaniami. W przypadku wlotu na skrzyżowanie 5 od strony węzła 6 utworzyła się kolejka na całej długości odcinka 6→5, co przełożyło się na zablokowanie wjazdu na skrzyżowanie 6 od strony węzłów granicznych 16 i 18. W efekcie, na krótko przed końcem symulacji, wzdłuż odcinków 16→6 i 18→6 stały zablokowane pojazdy, a nowe pojazdy nie mogły wjechać do sieci w obu węzłach granicznych. Z tego względu na wykresie skorygowano liczbę pojazdów w sieci o liczbę pojazdów oczekujących na wjazd (linia przerywana; wariant 140%). W tym przypadku można mówić o powstaniu „efektu domina” (*gridlock*), mającego źródło w niedostatecznie przepustowym skrzyżowaniu nr 5.

5.2. Porównanie wyników

Jak wspomniano wcześniej, analogiczne modele symulacyjne stworzono także w systemie SUMO [14] oraz TRANSIMS [15]. Porównując wyniki otrzymane z wykorzystaniem powyższych systemów można zauważyć pewne podobieństwa, ale też i różnice. Najistotniejsze zależności dotyczą przepustowości sieci (rys.3). Model w systemie SUMO cechował się przepustowością odpowiadającą co najwyżej zmierzonemu natężeniu ruchu, choć i to wymagało precyzyjnej kalibracji parametrów pojazdów, w przeciwnym

wypadku przepustowość wahała się w granicach 85-95%. Z kolei modele stworzone w systemach VISSIM i TRANSIMS cechowały się zbliżoną, znacznie wyższą przepustowością (odpowiednio 130% i 140% wyjściowego natężenia). Ponadto w obu modelach zbliżone były także ilości pojazdów w sieci dla różnych wariantów natężenia ruchu, choć w systemie TRANSIMS liczba pojazdów w sieci zawsze była trochę niższa (dla tych samych wariantów natężenia na wlotach sieci).



Rys.3. Liczba pojazdów w sieci w trakcie symulacji (a – 3 warianty natężenia, b – porównanie VISSIM, SUMO i TRANSIMS dla natężenia 100%)

Również interesująco przedstawia się porównanie przepustowości poszczególnych skrzyżowań. We wszystkich trzech modelach wraz ze wzrostem natężenia ruchu w pierwszej kolejności pojawiały się problemy z przepustowością skrzyżowania nr 5, a konkretnie lewoskrętu z wlotu 6→5 do kierunku węzła nr 3. W rezultacie dla wszystkich trzech modeli udało się uzyskać tzw. *gridlock* dla skrzyżowania nr 6 po przekroczeniu granicznego natężenia ruchu.

Przeprowadzone wyniki świadczą o pewnych rozbieżnościach pomiędzy trzema modelami. Różnice dotyczą przede wszystkim miar ilościowych opisujących przebieg symulacji. Natomiast można zauważyć pewne podobieństwa odnośnie charakterystyki zachodzących zjawisk, np. w rozkładach gęstości pojazdów w sieci lub w występowaniu wąskich gardeł.

6. PODSUMOWANIE

Przedstawione badania pozytywnie weryfikują możliwości systemu VISSIM w zakresie jego zastosowania do symulowania rzeczywistego ruchu drogowego dla rozległej sieci. Odnosząc rezultaty badań do wyników otrzymanych w innych systemach, należy

zauważyć, że model w VISSIM dawał zbliżone wyniki jak TRANSIMS, natomiast model w SUMO cechował się znacznie niższą przepustowością sieci. Zdaniem autorów dzięki dużej precyzji modelowania układu drogowego oraz właściwości pojazdów i zachowania kierowców, model stworzony w systemie VISSIM daje wyniki najbardziej zbliżone do rzeczywistości, a także pozostawia szerokie możliwości w zakresie jego dalszej kalibracji. Jednak w celu dokładnej oceny porównawczej rozpatrywanych systemów należałoby przeprowadzić dalsze badania, również uwzględniające skrzyżowania bez sygnalizacji świetlnej.

Bibliografia

1. Maerivoet S., De Moor B.: Transportation Planning and Traffic Flow Models. Internal Report 05-155, ESAT-SCD (SISTA), K.U.Leuven (Leuven, Belgium), 2005
2. Maciejewski M., Walerjańczyk W.: Przegląd i porównanie makroskopowych modeli przepływu ruchu. Prace Naukowe – Transport z.62 (2007): Bezpieczeństwo, Sterowanie Ruchem, Telematyka w Transporcie, OWPW, s.191-200.
3. Maciejewski M., Maciejewski M.: Przegląd i porównanie mikroskopowych modeli przepływu ruchu. W: XI Międzynarodowa Konferencja Komputerowe Systemy Wspomagania Nauki, Przemysłu i Transportu "TransComp - 2007". Zakopane, Poland, 2007, s. 15-20.
4. <http://www.ptvag.com/>
5. Wiedemann R.: Simulation des Straßenverkehrsflusses. Schriftenreihe des IfV, 8, 1974. Institut für Verkehrswesen. Universität Karlsruhe
6. Wiedemann R.: Modelling of RTI-Elements on multi-lane roads. In: Advanced Telematics in Road Transport, Commission of the European Community, DG XIII, Brussels, 1991.
7. VISSIM 5.20 User Manual (podręcznik użytkownika), 2009.
8. <http://maps.google.pl/>
9. <http://sumo.sourceforge.net/>
10. <http://www.transims-opensource.net/>
11. <http://zumi.pl/>
12. Durczak T., Jezierki J., Kusiak Ł.: Modelowanie i symulacja przepływu ruchu drogowego – porównanie wybranych systemów symulacji mikroskopowej. Praca inżynierska, Politechnika Poznańska, 2010.
13. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria Ruchu. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1999.
14. Maciejewski M., Maciejewski M.: Mikroskopowa symulacja ruchu drogowego dla obszaru miejskiego z wykorzystaniem systemu SUMO. VII Krajowe Sympozjum Modelowanie i Symulacja Komputerowa w Technice, 22-23 kwietnia, 2010, Łódź
15. Maciejewski M., Maciejewski M.: Zastosowanie automatów komórkowych do symulacji ruchu drogowego w mieście. Logistyka 3/2010 (w druku).

MICROSIMULATION OF TRAFFIC FLOW FOR AN URBAN AREA WITH AN APPLICATION OF VISSIM SYSTEM

Abstract: The paper concerns an application of VISSIM system by PTV to microscopic modeling and simulation of urban traffic flow on a fragment of a real road network. First, the problem of traffic flow modeling and simulation, and VISSIM system were introduced. Afterwards, a process of model construction and simulation results were presented. The authors discussed the issue of model calibration, and then conducted a results analysis, with a reference to the real state, and with a comparison to the outcome previously obtained with an application of SUMO and TRANSIMS systems. The paper ends with a summary of the conducted research.

Keywords: traffic flow, urban, model, simulation, microscopic, VISSIM, SUMO, TRANSIMS