

Ryszard BARCIK*, Leszek BYLINKO*

KOMPUTEROWA SYMULACJA UKŁADÓW DROGOWYCH W LOGISTYCE MIAST

Streszczenie

Artykuł charakteryzuje wybrane problemy modelowania i symulacji w logistyce miejskiej. Referat prezentuje wybrane narzędzia symulacji układów transportowych oraz zakres i możliwości ich stosowania. Autorzy artykułu przedstawiają wyniki eksperymentu przeprowadzonego przy pomocy modelu symulacyjnego w celu analizy i oceny zmian w organizacji fragmentu miejskiego układu transportowego Bielska-Białej.

Słowa kluczowe: modelowanie i symulacje systemów transportowych, logistyka miejska

1. WPROWADZENIE

Warunkiem zachowania konkurencyjności obszarów miejskich od dawien dawna jest odpowiednia jakość związana z realizacją potrzeb przewozowych. Kongestia transportowa nie jest zjawiskiem specyficznym jedynie dla współczesnych miast. Zatory komunikacyjne były cechą charakterystyczną centrum Londynu na długo przed wynalezieniem samochodu, a w Rzymie na długo przed powstaniem Londynu^[5].

Modelowanie struktur miejskich w kontekście problemów, z jakimi stara się zmagać dziś logistyka miejska jest istotną częścią polityki zarządzania miejskimi systemami transportowymi. Wyzwania, jakie miasta stawiają przed logistyką w zakresie zarządzania kongestią skutkują rozwojem modeli symulacyjnych i efektywnie wspierają obszary zurbanizowane w podnoszeniu efektywności ich systemów transportowych i poprawie jakości życia [1]. Obserwowany w ostatnim czasie szybki rozwój w obszarze narzędzi do modelowania i symulacji układów transportowych jest naturalną konsekwencją postępu technicznego i technologicznego w tej sferze. Modele symulacyjne są bardziej dostępne i coraz łatwiejsze w użyciu.

2. LOGISTYKA W KONCEPCJI PROJEKOWANIA MIEJSKIEGO SYSTEMU TRANSPORTOWEGO

Analiza zarządzania infrastrukturą transportową pokazuje, że kluczowe znaczenie dla powodzenia wdrożenia i funkcjonowania modelu transportu miejskiego, który uwzględnił będzie bieżące i potencjalne przyszłe potrzeby wszystkich użytkowników miasta ma integracja wokół koncepcji „logistycznego zarządzania systemem transportowym” wszystkich zainteresowanych stron od początku procesu budowania takiego modelu. W hierarchii struktury funkcjonalnej systemów logistyki miejskiej zarządzanie infrastrukturą transportową zajmuje miejsce warunkujące funkcjonowanie warstwy środków transportu, ruchu i usług. Jednak w warunkach ograniczoności zasobów finansowych, niedoskonałego prawa i braku konkurencji dostosowanie potencjału przewozowego do poziomu bieżącego popytu jest bardzo trudne. Modele symulacyjne mogą być ważnym instrumentem wspierającym analizę,

* Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Zarządzania i Informatyki

planowanie, zarządzanie, integrację i koordynację strumieni fizycznych, informacyjnych i decyzyjnych w ramach logistyki miejskiej.

Podejście logistyczne w koncepcji projektowania miejskich procesów transportowych wymaga znajomości systemów logistycznych, właściwych kompetencji w zakresie rozwiązywania problemów technicznych, technologicznych, organizacyjnych, ekonomicznych, prawnych, społecznych itp. obszarów istotnych z punktu doboru rozwiązań dla systemu transportowego. Rozstrzygnięcia przyjęte w projektowaniu koncepcyjnym miejskich procesów transportowych stanowią podstawę do projektowania uszczegółowionego w ramach logistyki miejskiej, z uwzględnieniem kryteriów społecznych, ekonomicznych i organizacyjnych.

3. EFEKTYWNOŚĆ MODELI LOGISTYKI MIEJSKIEJ

Efektywne zarządzanie miejską infrastrukturą transportową wymaga stosowania kompleksowych rozwiązań organizacyjnych. W projektowaniu organizacyjnym i ekonomicznym miejskich systemów transportowych największe szanse osiągnięcia pożądanego rezultatu w tym zakresie stwarzają logistyczne koncepcje zarządzania wspierane wykorzystaniem nowoczesnych technik informatycznych.

Rozwój technologii informatycznych w zakresie modeli symulacyjnych znacząco wpływa na kompleksowość podejmowanych dzięki nim eksperymentów. Ważne jest aby modelowanie układów logistyki miejskiej miało oprócz adekwatnego wymiaru przestrzennego również odpowiedni wymiar czasowy. Brak właściwej perspektywy czasowej w zarządzaniu rozwojem środków i techniki transportowej może tworzyć w przyszłości przeszkody dla właściwego rozwoju samej infrastruktury.

Ponadto, istotne jest stosowanie metod najbardziej adekwatnych do zastanej sytuacji, wybranych spośród uniwersalnego instrumentarium dostępnego w ramach modeli symulacyjnych. Zadaniem zarządców miejskiej infrastruktury transportowej jest ustalenie, jakie działania w danej sytuacji, w danych warunkach i danym momencie, przyczynią się do osiągnięcia spodziewanych rezultatów. Modelowanie i symulacje efektów procesów transportowych miasta z użyciem nowoczesnych pakietów symulacyjnych mogą być istotnym wsparciem właściwego doboru rozwiązań w ramach działań z zakresu systematyzowania logistycznego obszarów miejskich.

4. PRZESŁANKI STOSOWANIA PAKIETÓW SYMULACYJNYCH

Infrastruktura transportowa miasta jako część większej całości sama w sobie jest złożona pod względem organizacyjnym i funkcjonalnym, i to niezależnie od jej rozmiarów. Wszystko to rodzi potrzebę systemowego widzenia problemów funkcjonowania infrastruktury transportowej oraz związanych z tym zagrożeń i trudności. Istota takiego podejścia polega na tym, że ponad znaczenie poszczególnych elementów systemu logistycznego przedkłada się wzajemne zależności między tymi elementami. Dzięki zachowaniu integralności w systemach logistycznych możliwe jest osiągnięcie podstawowych celów w zakresie funkcjonowania miasta.

Gdy występuje sytuacja zabiegania o dostęp do limitowanego dobra (a z taką sytuacją mamy do czynienia w przypadku zasobów infrastruktury transportu miejskiego), rozważana jest zazwyczaj możliwość zwiększenia tego dobra. W przypadku infrastruktury transportowej miasta nie jest to łatwe do osiągnięcia. Kluczem do rozwiązania tego typu problemów może być właściwe dysponowanie zasobami już istniejącymi. Można stwierdzić w tym kontekście,

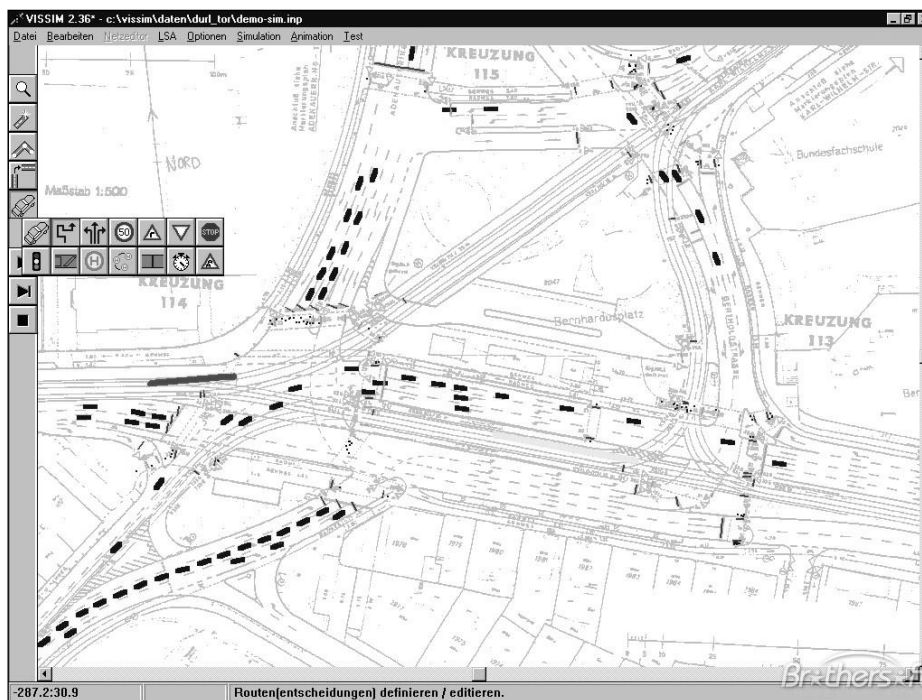
że należy obserwować rozwiązania innych, sprawdzone już praktyce, lecz ich wykorzystanie trzeba poprzedzać wnikliwą analizą porównawczą sytuacji.

Jednym z podstawowych środków wspierających organizację układów logistyki miejskiej, ułatwiającym „systemowe widzenie” problemów transportowych, służącym do realizacji przyjętych priorytetów komunikacyjnych są narzędzia do modelowania i symulacji miejskich układów transportowych, za pomocą których można kształtować elementy infrastruktury transportowej, efektywnie oddziaływać na potoki ruchu a przede wszystkim diagnozować stan układu transportowego miasta i przewidywać skutki zmian projektowanych w takim układzie.

5. WYBRANE PRZYKŁADY OPROGRAMOWANIA SYMULACYJNEGO STOSOWANEGO DO MODELOWANIA TRANSPORTU MIEJSKIEGO

Jednym z narzędzi, które mogą być stosowane do oceny efektywności rozwiązań z zakresu logistyki miejskiej są programy do komputerowej symulacji ruchu w skali mikrosieci. Wśród wielu modeli możliwych do wykorzystania jednym z ciekawszych jest Vissim, niemieckiej firmy PTV (przykładowe okno programu Vissim przedstawia rysunek 1). Model ten znajduje zastosowania w analizach ruchu miejskiego zarówno indywidualnego jak i transportu publicznego i pozwala na uwzględnienie uwarunkowań wynikających m.in. z:

- organizacji ruchu (układ pasów ruchu, ulice jedno- dwukierunkowe, ograniczenia wybranych relacji ruchu, itp.),
- natężeń i struktury rodzajowej pojazdów,
- funkcjonowania sygnalizacji świetlnej,
- przebiegu linii transportu publicznego i układu przystanków,
- występowania ruchu pieszego.



Rys. 1. Przykładowe okno programu Vissim

Źródło: <http://www.brothersoft.com/vissim-98327.html>

Vissim pozwala na symulowanie – w sposób dynamiczny – strumieni pojazdów w sieci ulicznej i jednocześnie umożliwia wpływanie na parametry techniczne pojazdów, zachowania

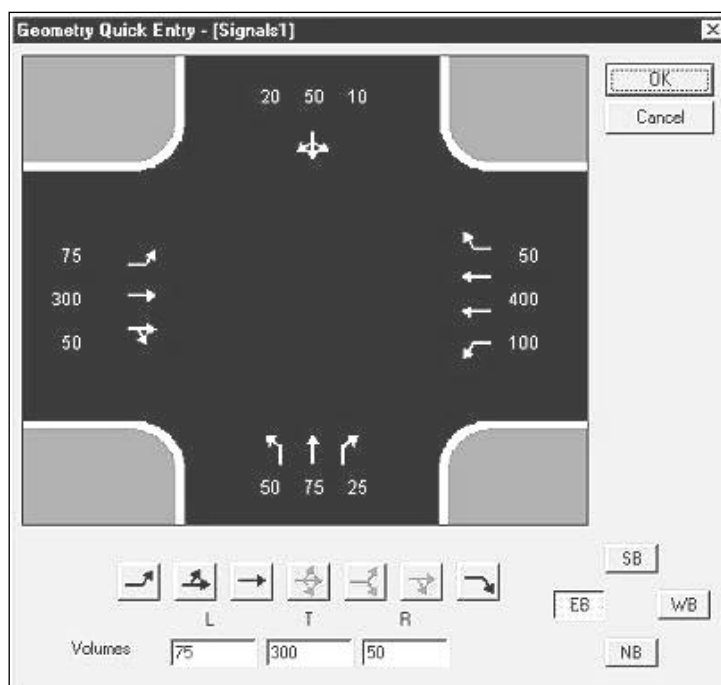
kierujących pojazdami i wzajemne zależności pomiędzy kierującym i pojazdem. Charakterystyki indywidualnych zachowań kierujących pojazdami są odwzorowywane na podstawie wyników powtarzanych okresowo badań, prowadzonych przez Uniwersytet Techniczny w Karlsruhe. Dzięki temu parametry modelu są systematycznie uaktualniane, co gwarantuje jego dobre dostosowanie do zmieniających się w czasie zachowań kierujących pojazdami i zmieniających się konstrukcji pojazdów [2, 3].

W ostatnich latach powstała liczna baza oprogramowania szczególnie istotnego dla projektowania newralgicznych w systemach transportowych miejsc, jakimi są skrzyżowania, np. skrzyżowania typu rondo. Bazę tę stanowią dwie zasadnicze grupy programów: programy służące do obliczeń i analiz przepustowości oraz programy symulacyjne, obrazujące zachowanie się potoków na skrzyżowaniu. Programy te, poza szacowaniem przepustowości czy symulacją ruchu na rondach i w ich otoczeniu, obliczają wiele dodatkowych miar, wskaźników i parametrów, charakteryzujących jakość funkcjonowania tego typu skrzyżowań.

Do najbardziej popularnych programów, służących do obliczania przepustowości na drogach i do symulacji ruchu na skrzyżowaniach można zaliczyć: opisany wcześniej Vissim, Capcal, HCS-2000, Girabase, Kreisel, Corsim, Transyt i Simtraffic.

Program Capcal to szwedzki program, służący do modelowania ruchu na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną, bez sygnalizacji świetlnej oraz na rondach. Dane wejściowe obejmują dane geometryczne oraz wartości natężeń ruchu w okresie godziny szczytu. Ocena sprawności funkcjonowania rond składa się z takich parametrów, jak, przepustowość, straty czasu, długości kolejek na wlotach, koszty operacyjne oraz ocena emisji spalin.

Program HCS-2000 to amerykański program, rekomendowany przez HCM (Highway Capacity Software). Służy do obliczania przepustowości rond jednopasowych, bazując na natężeniach ruchu na wlotach oraz natężeniach ruchu na jezdni ronda. Przykładowy ekran programu HCM-2000 przedstawia rysunek 2.

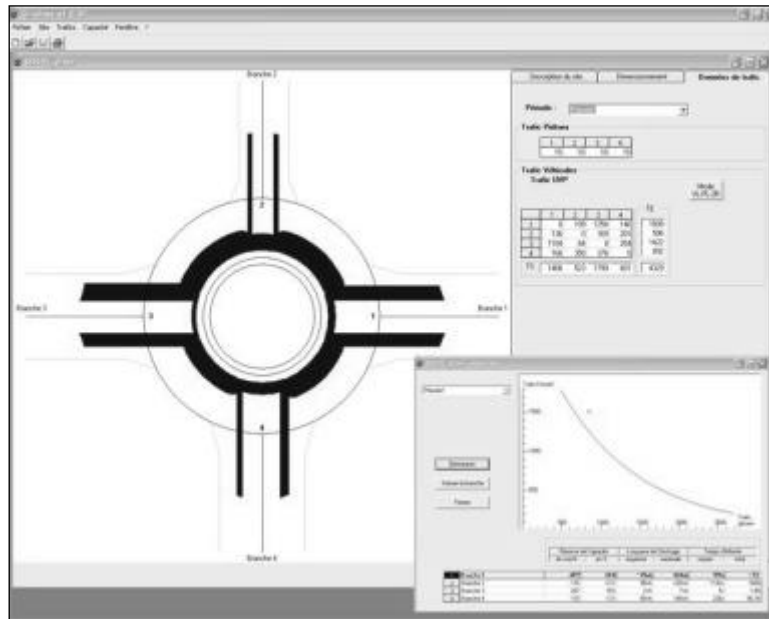


Rys. 2. Przykładowy ekran programu HCM-2000

Źródło: <http://mctrans.ce.ufl.edu/hcs/hcs2000/new.htm>

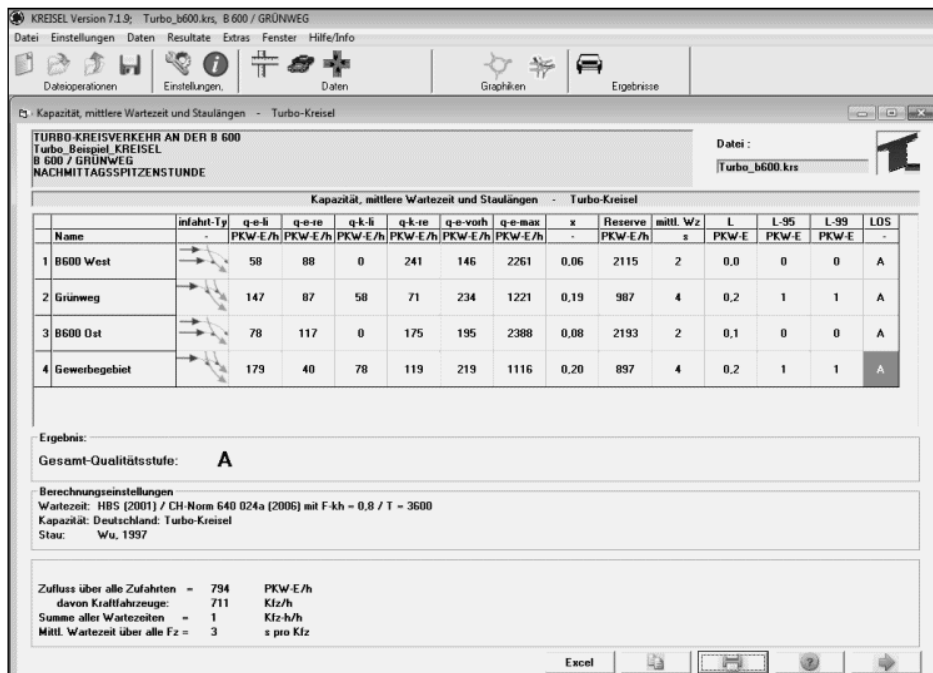
Program Girabase to francuski program, służący do obliczania przepustowości rond jednopasowych i wielopasowych, zlokalizowanych na terenach miejskich oraz pozamiejskich.

Program pozwala na szacowanie przepustowości wlotów ronda. Jeden z ekranów modelu Girabase przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Przykładowy ekran programu Girabase
 Źródło: http://www.certu.fr/fr/_Voirie_et_espace_public-n27

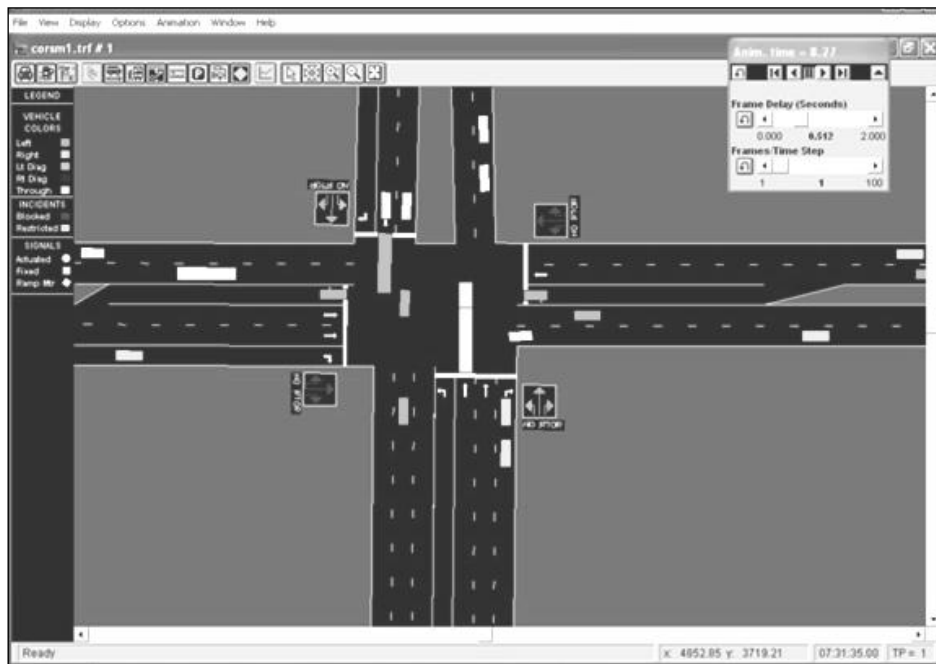
Program Kreisel to niemiecki program, służący do obliczania przepustowości i strat czasu na rondach. Jego cechą charakterystyczną jest to, że zawiera zaimplementowany zbiór metod obliczania przepustowości rond, pochodzących z różnych krajów. Niżej przedstawiono przykładowy ekran programu Kreisel (rysunek 4).



Rys. 4. Przykładowe okno programu Kreisel
 Źródło: http://www.r-about.de/KREISEL/Details/KREISEL_Info_2011_06_09.pdf

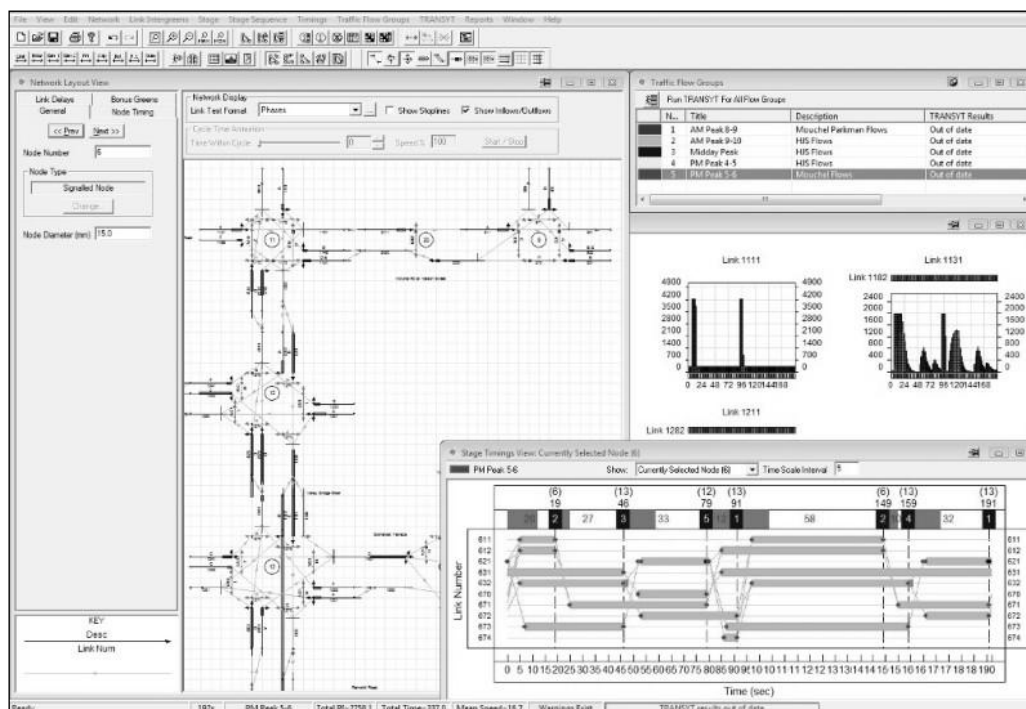
Program Corsim jest przeznaczony do modelowania potoków ruchu w sieciach drogowych. Ma możliwość modelowania każdego skrzyżowania oddzielnie, stąd możliwe jest

modelowanie rond jednopasowych, chociaż nie jest to główne zadanie programu. Przykładowe okno programu Corsim przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Przykładowe okno programu Corsim
Źródło: <http://ce.uttler.edu/transportation.html>

Program Transyt (rysunek 6) jest najczęściej stosowany do optymalizacji koordynacji sygnalizacji świetlnej w arteriach i w sieciach skrzyżowań. Zaimplementowany model odtwarza zachowanie potoków ruchu w sieci skrzyżowań, z których większość jest sterowana sygnalizacją świetlną, ale uwzględnia także działanie skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej oraz rond [4].



Rys. 6. Przykładowe okno programu Transyt
Źródło: <http://www.jctconsultancy.co.uk/Software/TranEd/traned.php>

6. EKSPERYMENT SYMULACYJNY UKŁADU DROGOWEGO

W niniejszym rozdziale przedstawiono efekty eksperymentu symulacyjnego przeprowadzonego przy pomocy kolejnego z wymienionych w poprzednim rozdziale programów – Simtraffic. Model ten pozwala na analizy różnych wariantów organizacji ruchu i badanie ich wrażliwości na zmieniające się warunki ruchu. Przykładowe okno programu Simtraffic przedstawia poniższy rysunek (7).

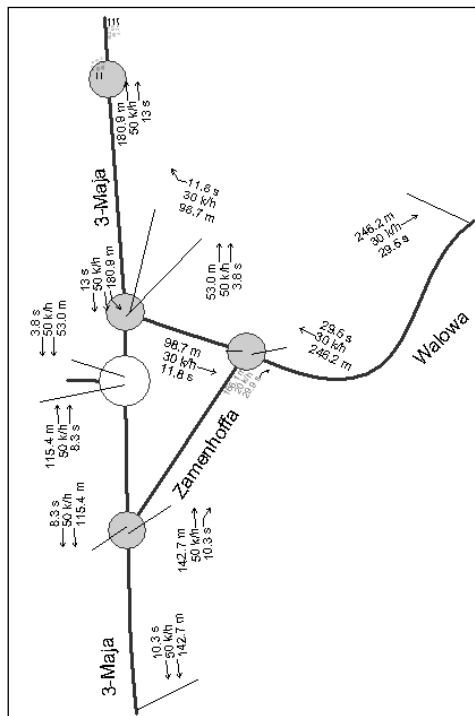


Rys. 7. Przykładowe okno programu Simtraffic

Źródło: <http://acgrouppllc.com/engineering.html>

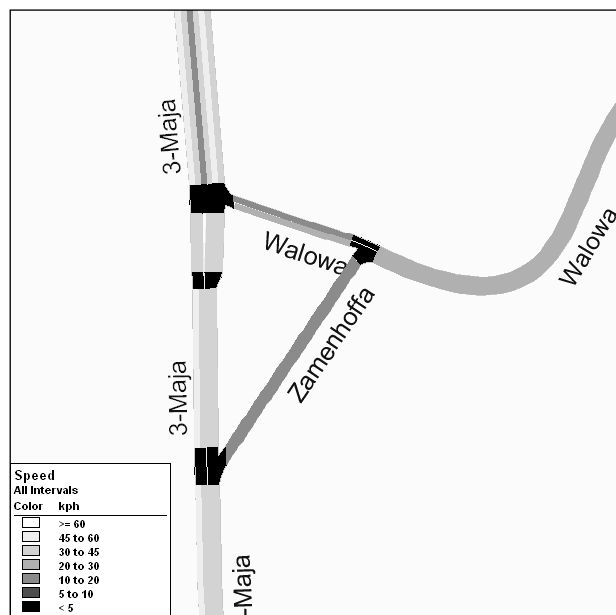
W pierwszej kolejności wprowadzono do programu dane rzeczywiste o badanym układzie dróg, m.in. długości tras, węzły ruchu, kierunki ruchu, spadki terenu, liczbę jezdni do ruchu w różnych kierunkach, sygnalizację świetlną wraz z algorytmem działania, przejścia dla pieszych, reguły pierwszeństwa przejazdu, ograniczenia prędkości oraz zbiór danych o parametrach, ilości i strukturze pojazdów. Symulacja uwzględniała również ruch pieszych i niektóre charakterystyki zachowań kierowców (m.in. czas reakcji). Rysunek 8 przedstawia odwzorowanie rzeczywistego stanu układu drogowego w widoku uwzględniającym rzeczywiste odległości i natężenie pojazdów.

W dalszej kolejności przeprowadzono komputerową symulację stanu aktualnego badanego wycinka sieci drogowej. W jej rezultacie można było wskazać te ciągi jezdni, na których już dzisiaj notowane jest wyższe od dopuszczalnego natężenie ruchu. Badanie potwierdziło fakt przeciążenia transportowego analizowanego obszaru. Można było stwierdzić, iż organizacja ruchu na analizowanym układzie wymaga zmian, które wciąż rosnące natężenie ruchu samochodowego w tej części miasta pozwoliłoby rozładować.



Rys. 8. Ekran symulatora odwzorowujący stan rzeczywisty układu w widoku uwzględniającym rzeczywiste odległości i natężenie pojazdów
 Źródło: Opracowanie własne

Wprowadzając dane prognozowane oszacowano stopień kongestii. Symulacja potwierdziła tezę o niedostosowaniu układu do zaspokojenia wynikających ze wzrostu atrakcyjności regionu potrzeb transportowych. Już przy zaledwie 30% wzroście natężenia ruchu na niektórych kierunkach badanej sieci, następował 4-krotny spadek średniej prędkości przejazdowej pojazdów. Są to wartości, których analiza prowadzi do wniosku, iż przy takiej zmianie liczby samochodów konieczne są działania infrastrukturalne zarówno w zakresie infrastruktury technicznej jak i regulacyjnej.



Rys. 9. Wyniki symulacji pod kątem średnich prędkości w układzie
 Źródło: Opracowanie własne

Symulator wykorzystano również do zbadania efektów ewentualnych zmian w analizowanym układzie drogowym. W powyższym przypadku modyfikacja mogłaby polegać na dodaniu jednego pasu ruchu, który rozładowałby gwałtowny przyrost liczby pojazdów na ulicach dojazdowych, a także dodaniu jednego pasa ruchu dla pojazdów skręcających z ul. Wałowej w ul. 3-go Maja. Symulację efektów takich zmian w funkcji uzyskiwanych przez pojazdy prędkości przedstawia rysunek 9.

Na podstawie zaprezentowanego eksperymentu można było stwierdzić, że zachowanie znośnych warunków jazdy w ramach badanego układu wymagało będzie przedsięwzięcia kilku zmian w infrastrukturze transportowej. Zaproponowane w wyniku przeprowadzonej symulacji rozwiązania mogą stanowić kierunki podejmowanych w perspektywie spodziewanych problemów modernizacji.

7. PODSUMOWANIE

Przedstawiony model oceny sytuacji drogowej pozwolił na analizę potencjalnych zmian organizacji ruchu. Symulator pozwala zdiagnozować zmiany w generacji ruchu i zaprojektować środki, które ten wzrost będą w stanie zniwelować lub odpowiednio ukierunkować. Zastosowanie programu symulacyjnego dało możliwość zobrazowania stanu, który jest dowodem na to, że badany wycinek układu bez zastosowania metod i środków zapewniających wzrost przepustowości i bezpieczeństwa uczestników ruchu nie będzie w stanie spełniać swojej podstawowej roli. Ewidentne korzyści wynikające ze stosowania modeli symulacyjnych w ramach logistyki miejskiej są związane z możliwością szybkiego sprawdzenia efektów wprowadzanych rozwiązań. W przypadku takich elementów infrastruktury miejskiej jak skrzyżowania jest możliwość sprawdzenia strat, lub też zysków czasu poszczególnych użytkowników systemu, jakie mogą być generowane poprzez wprowadzenia zmian w organizacji ruchu.

LITERATURA

- [1] Benjelloun A., Crainic T. G.: *Trends, Challenges and Perspectives in City Logistics*. Buletin AGIR nr 4/2009.
- [2] Brzeziński A, Rezwow M, Szymański Ł.: *Ocena efektywności funkcjonowania pasów autobusowych w Warszawie z wykorzystaniem metod symulacji ruchu*. LII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB w Krynicy. Warszawa 2006.
- [3] Dybicz T.: *Pakiet oprogramowania Visum jako narzędzie do modelowania ruchu transportu publicznego w Warszawie* (w) *Transport publiczny w Warszawie kluczem harmonijnego rozwoju stolicy Polski*, Wydawnictwo UM st. Warszawy, Warszawa 2005.
- [4] Macioszek E.: *Przegląd oprogramowania dla rond stosowanego na świecie i w Polsce*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Transport, Z. 68/2010.
- [5] Szoltysek J.: *Podstawy logistyki miejskiej*. Wydawnictwo AE w Katowicach, Katowice 2009.

MODELING CITY LOGISTICS

Abstract

This paper presents selected problems of the transportation systems modeling and simulation. It shows selected tools of simulation in transportation systems and the possibilities of their use. Authors present the results of an experiment which took place in Bielsko-Biala for the analysis and evaluation of changes in the organization of transportation system.

Keywords: transportation systems modeling and simulation, city logistics