

ANNA GÓRKA

mgr inż., Politechnika Warszaw-
ska, Wydział Transportu, ul.
Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
tel.: +48 22 234 7585, e-mail:
anna.gorka@wt.pw.edu.pl

Charakterystyka wybranych programów do mikrosymulacji ruchu drogowego¹

Streszczenie: W artykule przedstawiono charakterystykę wybranych programów służących do modelowania ruchu na skrzyżowaniach sterowanych sygnalizacją świetlną. Opisano sposoby wprowadzania danych, niezbędne założenia oraz specyfikę pracy z programami Vissim i Synchro na przykładzie jednego z warszawskich skrzyżowań. Dokonano również oceny i porównania możliwych do uzyskania wyników symulacji oraz oceniono ich przydatność praktyczną w ocenie projektowanych rozwiązań.

Słowa kluczowe: ruch drogowy, symulacja mikroskopowa, Vissim, Synchro

Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach coraz większą uwagę przykładają się do modelowania ruchu drogowego. Standardem jest wymaganie od projektantów udokumentowania efektywności proponowanego rozwiązania. Coraz częściej projektanci sięgają po oprogramowanie komputerowe pozwalające w sposób szybki i kompleksowy przedstawić zamawiającemu efekty pracy. Często też projektanci z własnej inicjatywy stosują wyspecjalizowane oprogramowanie, by zweryfikować przyjęte rozwiązanie.

W niniejszym artykule podjęto próbę scharakteryzowania wybranego oprogramowania służącego do mikroskopowej symulacji ruchu drogowego. Szczegółowej analizie poddano dwa programy komputerowe stosowane powszechnie przez osoby wykonujące projekty w zakresie inżynierii ruchu drogowego na terenie miasta stołecznego Warszawy. Pierwszym z nich jest program Vissim niemieckiej grupy PTV, będący częścią dużo większego pakietu Vision Traffic Suite zapewniającego pełen zestaw narzędzi inżynierskich od planowania strategicznego (Visum) i inżynierii ruchu, aż do symulacji ruchu pieszych (VisWalk). Drugi z programów to program Synchro amerykańskiej firmy Trafficware, będący częścią pakietu Synchro Green, prosty program pozwalający szybko ocenić efektywność różnych wariantów organizacji ruchu.

Jako studium przypadku do opisu zagadnienia wybrano istniejące skrzyżowanie sterowane alei Niepodległości i ulicy Ksawerów zlokalizowane na warszawskim Mokotowie. Jest to skrzyżowanie czterowlotowe, wloty skrzyżowania mają odpowiednio 2 lub 3 pasy na kierunku głównym oraz po jednym pasie na kierunku podporządkowanym, na każdym z nich znajduje się przejście dla pieszych. Z ulicy Ksawerów możliwe jest poruszanie się w każdym kierunku, na ciągach głównych, zakazane jest skręcanie w lewo. Skrzyżowanie sterowane jest programem stałoczasowym, na każdym z wlotów zastosowano sygnalizatory S-2, dopuszczające skręcanie

w prawo (tzw. zielona strzałka), przy wyświetlonym sygnale czerwonym. W celu przeprowadzenia analizy postanowiono dobrać najlepszy program komputerowy do wizualizacji wykonanego rozwiązania modernizacji sygnalizacji świetlnej.

Chcąc porównać możliwości dwóch wybranych programów, wykonano w każdym z nich model tego samego skrzyżowania. W obu przypadkach do wykonania modelu potrzebne będą podstawowe dane o geometrii skrzyżowania, natężeniu ruchu oraz programie sygnalizacji, jednak sposób wprowadzania tych danych, a co za tym idzie wymagana forma, znacząco różnią się od siebie.

Zakres wprowadzanych danych

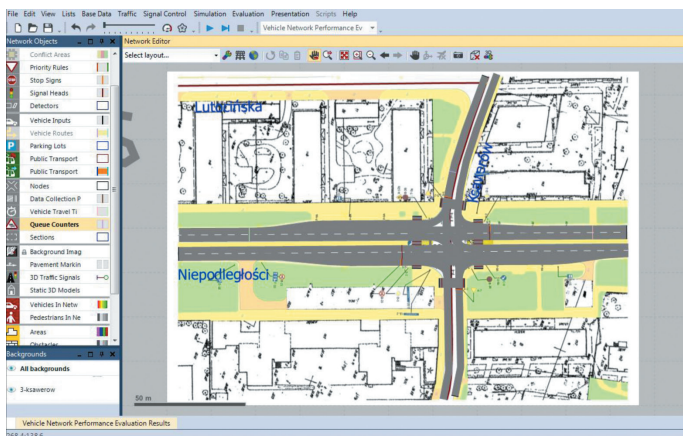
Program Vissim

Dane o geometrii skrzyżowania do programu Vissim najłatwiej jest wprowadzać na podstawie wczytanego wcześniej planu sytuacyjnego. Rysunek ten może być dowolnym plikiem graficznym, także w wektorowym formacie *dwg lub *dxf. Skalowania podkładu dokonuje się na podstawie dowolnego, znanego wcześniej wymiaru na obrazie (np. linijka skali nałożona na mapę lub szerokość przejścia dla pieszych). Następnie całe skrzyżowanie wyrysowuje się, dopasowując kształty pasów ruchu do podkładu. Dzięki temu nie są potrzebne szczegółowe dane geometryczne (choć ich znajomość znacząco przyspiesza pracę, gdyż eliminuje konieczność zgadywania i dopasowywania wymiarów). Odcinki dróg w programie budowane są za pomocą linii prostych i krzywych, dzięki czemu użytkownik posiada pełną dowolność w kształtowaniu geometrii skrzyżowania.

Możliwe jest również wykonanie modelu bez wczytywania podkładu mapowego, jednak wymaga ono posiadania dokładnej wiedzy o geometrii skrzyżowania. Wyrysowując kolejne odcinki i łączniki, należy znać: liczbę i szerokość pasów ruchu, odległość linii zatrzymania od krawędzi drogi poprzecznej, długości wydzielonych pasów do skrętu, szerokość pasów dzielących oraz promienie łuków poziomych. Ze względu na złożoność procesu odwziewiedlania dokładnej geometrii skrzyżowania zaleca się wykonywanie modelu w oparciu o podkład mapowy.

Poza geometrią do programu należy również wprowadzić dane o natężeniu ruchu pojazdów. W programie Vissim podaje się wielkości zagregowane do sumarycznych natężeń pojazdów na wlotach wraz ze strukturą rodzajową, wyrażoną procentowym udziałem poszczególnych typów pojazdów. Aby zdefiniować strukturę kierunkową pojazdów na wlocie należy zaplanować „trasy”, polega to na zdefiniowaniu

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2016.



Rys. 1. Okno programu Vissim z odwzorowaną geometrią skrzyżowania

punktów decyzyjnych i możliwych do wyboru w tych punktach tras oraz nadaniu poszczególnym kierunkom procentowego udział w strumieniu. Jest to operacja dość pracochłonna i wymagająca przeliczania proporcji udziału poszczególnych relacji w ogóle ruchu z danego wlotu. Przy budowaniu modelu należy również pamiętać o nadaniu zasad pierwszeństwa lub zdefiniowaniu pól kolizji, w przeciwnym razie pojazdy będą się „przenikać”, co wpłynie na zafałszowanie wyników analizy.

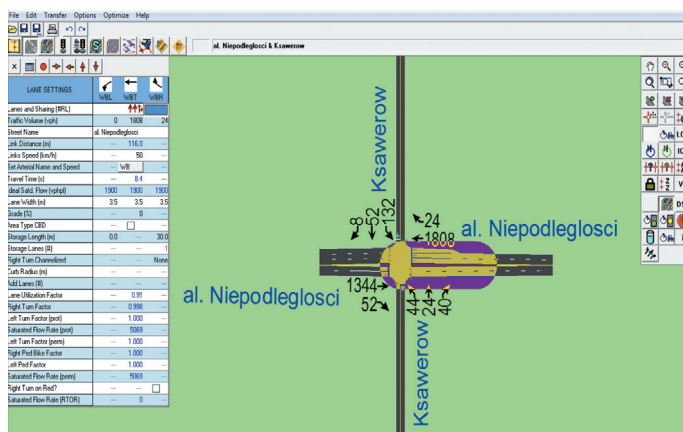
Wprowadzanie programu sygnalizacji odbywa się na zasadzie programowania wbudowanego w oprogramowanie sterownika, zatem nie powinno stwarzać użytkownikowi większych problemów. Do wykonania modelu będą nam potrzebne podstawowe dane, takie jak przypisanie grup sygnalizacyjnych do strumieni oraz program sygnalizacji świetlnej.

Tak wykonany model gotowy jest do przeprowadzenia symulacji i dokonania oceny projektowanego rozwiązania. Należy jednak wspomnieć, że nie jest to jedyna możliwość odtworzenia symulacji. W programie Vissim możliwy jest również import sterownika zewnętrznego lub całego gotowego skrzyżowania wykonanego w innym oprogramowaniu do projektowania rozwiązań skrzyżowań sterowanych np.: z pakietu Sittraffic Office firmy Siemens, z programu Synchro, albo z innych programów pakietu firmy PTV.

Tworzenie modelu w programie Synchro

Technika tworzenia modelu skrzyżowania w programie Synchro zdecydowanie odbiega od pracy z programem Vissim. Do programu wprowadza się bowiem bardzo uproszczoną geometrię, co pozwala znacząco skrócić czas potrzebny na wykonanie modelu.

W programie Synchro również jest możliwe tworzenie skrzyżowania na podstawie planu sytuacyjnego, jednak możliwości w tym zakresie są ograniczone. Schemat skrzyżowania musi być wczytany w formacie *.jpg, *.bmp, lub *.dxf, dodatkowo należy znać skalę załączanego obrazu, gdyż jedynym sposobem na wyskalowanie podkładu jest podanie z klawiatury skali (osobno w płaszczyźnie x i y) odnoszącej się do liczby pikseli na 1 punkt obrazu. Takie rozwiązanie jest mało wygodne, a dodatkowo geometria



Rys. 2. Okno programu Synchro. Wprowadzanie danych o natężeniach ruchu

modelu jest na tyle uproszczona, że jedyne wartości, jakie możemy wyrysować na podstawie podkładu to odległości pomiędzy skrzyżowaniami oraz długości pasów na wlocie i ich kierunek. Stworzenie modelu skrzyżowania bez podkładu nie powoduje znaczącego zwiększenia nakładu pracy. Niezbędne dane można odczytać z rysunków w postaci elektronicznej bądź papierowej.

Do wprowadzenia geometrii skrzyżowania niezbędna jest znajomość położenia poszczególnych wlotów skrzyżowania oraz ewentualne odległości pomiędzy skrzyżowaniami, jeśli modelowany jest ciąg lub sieć dróg. Pozostałe dane wprowadzane są w formie liczbowej do tabel. Na ich podstawie rysowany jest model skrzyżowania. Dla każdego wlotu ustala się kolejno liczbę pasów, poprzez definiowanie struktury kierunkowej na wlocie, szerokość pasów, długość wydzielonych pasów do skrętu. Taki sposób wprowadzania danych znacznie skraca czas wykonywania modelu, jednak z powodu uproszczeń ciężko jest tu odwzorować bardziej złożoną geometrię jak powierzchnia akumulacji na środku skrzyżowania, skrzyżowanie z wyspą centralną lub niektóre ronda.

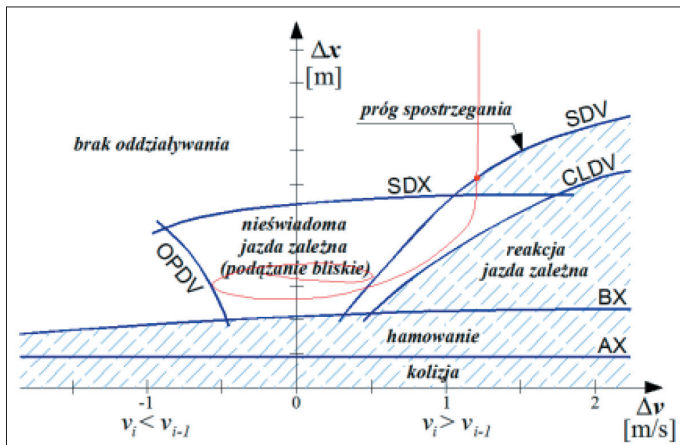
Do przygotowanego podkładu należy wprowadzić natężenia ruchu pojazdów, osobno dla każdej relacji kierunkowej. Dodatkowo dla każdej z nich można określić procentowy udział pojazdów ciężkich, a także szereg dodatkowych danych, jak pochylenie niwelety drogi czy dopuszczenie skrętu w prawo na sygnale zabraniającym.

Wprowadzanie programu sygnalizacji może stanowić problem dla początkującego użytkownika programu. Program sygnalizacji jest tutaj definiowany w sposób stosowany w USA, czyli nie poprzez fazy i czasy międzyzielone, ale za pomocą splitów, czyli podziału czasu trwania cyklu na poszczególne wloty. Split jest to czas sygnału zezwalającego wraz z czasem międzyzielonym następującym po konkretnej fazie, wyrażonym w postaci sygnału żółtego oraz odpowiednio brakującego czasu sygnału czerwonego tak, by spełniony był czas międzyzielony. Wadą tego rozwiązania jest to, że czas międzyzielony jest tutaj „na sztywno” przypisany do konkretnej grupy niezależnie od grupy rozpoczynającej w fazie następnej. Może to powodować błędy i wymaga szczegółowego sprawdzenia ostatecznego rozwiązania.

Metody obliczeniowe

W programie Vissim

Symulacja ruchu pojazdów w programie Vissim opiera się na modelu jazdy za liderem stworzonym przez profesora Wiedemanna [7,9] w 1974 roku. Opisuje on zachowanie kierowcy w terenie miejskim w odniesieniu do poprzedzającego go pojazdu. W zależności od sytuacji na drodze pojazd może znajdować się w jednym z czterech stanów: hamowaniu, podążaniu, zbliżaniu się lub jeździe swobodnej. Przynależność pojazdu do poszczególnych stanów determinowana jest przez odległość od poprzedzającego pojazdu oraz pożądaną prędkość zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 3. Uzupełnieniem programu są dodatkowe modele: stworzony przez profesora Wiedemanna w 1999 roku model jazdy na odcinkach zamiejskich oraz model zmiany pasa ruchu i model „zachowania bocznego w obrębie pasa” [5] opisujący zachowanie kierowcy podczas omijania niewielkich przeszkód bocznych lub rowerzystów.



Rys. 3. Model jazdy za liderem

Źródło: [1]

Podstawowymi parametrami modelu opracowanego w 1974 roku są zmienne AX i BX. AX oznacza odległość między stojącymi pojazdami, natomiast BX jest podstawowym parametrem wyznaczającym minimalną (ABX) i maksymalną odległość podążania (SDX). W programie Vissim parametry te są obliczane ze wzorów [1]:

$$AX = AXadd + L_p + Z_{N(0,0.3)} \quad (1)$$

$$BX = (BXadd + BXmult \cdot Z_{N(0.5,0.15)}) \sqrt{v_{i-i}} \quad (2)$$

gdzie:

AXadd, BXadd, BXmult – parametry kalibrujące modelu (zadawane w programie)

$Z_{N(m,n)}$ – liczba losowa rozkładu normalnego o średniej m i odchyleniu standardowym n

v_{i-i} – mniejsza z prędkości – lidera albo pojazdu poruszającego się w kolumnie

L_p – długość pojazdu lidera.

Metody obliczeniowe wykorzystywane w programie są modelami empirycznymi, co oznacza, że wymagają każdorazowego kalibrowania na podstawie rzeczywistych charakterystyk obserwowanych dla ruchu lokalnego w danym terenie [6]. Częste pomijanie tego elementu skutkuje uzyskiwaniem niepoprawnych, zawyżonych wyników przepustowości niewspółmiernych do rzeczywistości [1] i [3]. Dobranie właściwych parametrów modelu jest najbardziej czasochłonnym elementem pracy, jednak to element niezbędny, jeśli chcemy porównywać wyniki z innym oprogramowaniem lub zależeć nam na precyzyjnych danych.

W programie Vissim wszystkie obliczenia wykonywane są bezpośrednio na wygenerowanym modelu na podstawie „bieżących reakcji” zaistniałych pomiędzy pojazdami. Wyniki uzyskujemy poprzez „zliczanie” kolejnych pojazdów w danym punkcie pomiarowym. Determinuje to konieczność kilkukrotnego wykonania symulacji tak, aby zapewnić odpowiednio liczną próbę i wiarygodne wyniki symulacji.

W programie Synchro

W przeciwieństwie do wcześniej opisywanego programu Vissim w programie Synchro symulacja jest tylko wizualizacją wcześniej obliczonych parametrów. Wszystkie wskaźniki wyznaczane są na podstawie podanych wcześniej danych wejściowych, a wyniki pojawiają się od razu i zmieniają każdorazowo przy zmianie parametrów.

Parametry obliczane w programie Synchro są to podstawowe parametry opisujące efektywność sterowania ruchem, takie jak stopień obciążenia, przepustowość czy straty czasu. Mogą być one obliczane przy użyciu różnych modeli. Domyślną i podstawową jest autorska metoda Intersection Capacity Utilization 2003 (ICU), opracowana specjalnie na potrzeby oprogramowania, opierająca się na porównywaniu aktualnego natężenia ruchu pojazdów do przepustowości skrzyżowania. Inną z kilku możliwości jest przełączenie oprogramowania na popularną metodę Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000). Metody te nieco różnią się od siebie sposobem obliczania wskaźników, dlatego też poniżej przedstawiono dwa wybrane wskaźniki stosowane w metodzie ICU znacząco różniące się od metody HCM [4].

Poziom swobody ruchu według metody ICU określa się poprzez stopień wykorzystania przepustowości skrzyżowania i wylicza jako sumę czasów potrzebnych do obsługi wszystkich pojazdów w stanie nasycenia podzieloną przez długość cyklu i wyraża się wzorem:

$$ICU = \frac{\max\{t_{min}, \frac{v}{s}\} \cdot CL + tL}{CL} \quad (3)$$

gdzie:

CL – długość cyklu [s]

tL – czas tracony [s]

v/s – stosunek natężenia do intensywności nasycenia [-]

t_{min} – minimalny sygnał zielony

Losowe straty czasu zależą od wahań ruchu, okresowych przeciążeń i faktu, że kolejka pojazdów nie zawsze zostaje rozładowana na końcu sygnału zielonego. W Synchro, dla wlotów działających na granicy przeciążenia, oblicza się je według empirycznego wzoru [8]:

$$D_2 = 900 \cdot T \cdot \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 \cdot r_s \cdot w_s \cdot X}{c \cdot T}} \right] \quad (4)$$

gdzie:

- D_2 – losowe straty czasu [s]
- T – okres analizy [h]
- X – stopień obciążenia
- r_s – współczynnik uwzględniający rodzaj sterowania
- w_s – współczynnik uwzględniający pojazdy z sąsiednich skrzyżowań z sygnalizacją
- c – przepustowość obliczeniowej grupy pasów ruchu [poj/h].

Dodatkowym wskaźnikiem, nie występującym w metodzie HCM, jest wskaźnik Performance Index (PI), uwzględniający straty czasu, liczbę zatrzymań pojazdów i długości kolejek na wlocie. Jest on podsumowaniem funkcjonowania całego ciągu i bardzo dobrze sprawdza się jako ostateczna ocena jakości obsługi uczestników ruchu drogowego. Jest to wielkość niemianowana, obliczana według empirycznego wzoru [8]:

$$PI = (D \cdot 1 + St \cdot 10) / 3600 \quad (5)$$

gdzie:

- PI – wskaźnik jakości sterowania
- D – całkowite straty czasu [s]
- St – liczba zatrzymań [poj/h].

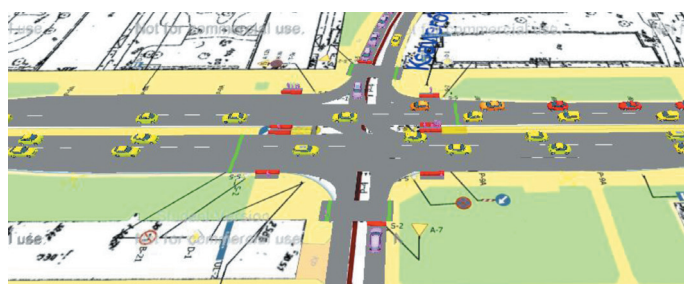
Wartość wskaźnika znacząco różni się w zależności od wielu czynników wprowadzanych jako dane do modelu (np. okres analizy, natężenia ruchu), dlatego też wskaźnik jakości sterowania można wykorzystać tylko do porównywania wariantów sterowania w obrębie tego samego skrzyżowania lub ciągu [2], a nie nadaje się do oceny i porównywania różnych obiektów [4].

Sposób prezentacji wyników

W programie Vissim

Podstawowym sposobem prezentacji wyników w programie Vissim jest symulacja. Na podstawie obserwacji symulacji projektant jest w stanie dokonać oceny sytuacji ruchowej na zasymulowanym skrzyżowaniu. Program został skonstruowany w taki sposób, aby nawet niedoświadczony obserwator mógł szybko i trafnie ocenić przydatność prezentowanego rozwiązania organizacji ruchu, bez potrzeby zagłębiania się w złożone wskaźniki.

Bardziej zaawansowanym użytkownikom program Vissim umożliwi wykonanie szeregu analiz z wygenerowanych danych zbieranych przez dowolne punkty pomiarowe.



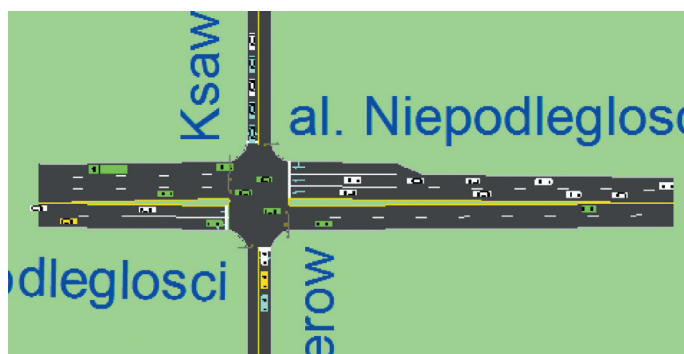
Rys. 5. Wizualizacja skrzyżowania w programie Vissim

Punkty te należy wcześniej umieścić w modelu i zdefiniować, jakie parametry mają być mierzone lub wyznaczone. Po wykonaniu symulacji zostaną one zapisane w pliku wynikowym sformatowanym jako baza danych. Możliwe jest również wyświetlenie wyników bezpośrednio w oknie programu w postaci tabeli lub wykresu. Należy tu zauważyć, że ze względu na złożoną procedurę definiowania poszczególnych parametrów z dużej liczby możliwości i proponowanych wskaźników generowanie danych wynikowych (zwłaszcza dla niewprawnego użytkownika) nie jest łatwe ani szybkie. Dodatkowo konieczna jest dobra znajomość pojęć związanych z oceną jakości ruchu na skrzyżowaniach tak, aby dobrze umieścić punkty pomiarowe i właściwie zdefiniować wskaźniki do analiz.

W programie Synchro

Wyniki obliczeń przeprowadzanych przez program Synchro są przedstawiane w postaci obszernych raportów. Po dokonaniu wyboru odpowiedniego zestawu wskaźników określających warunki ruchu możliwe jest wygenerowanie pliku pdf zawierającego wskaźniki w podziale na poszczególne strumienie ruchu, jak i zagregowane dla całego wlotu, skrzyżowania lub sieci.

Dodatkowo, dzięki aplikacji SimTraffic dołączonej do programu, możliwe jest graficzne wyświetlenie modelu skrzyżowania, prezentującego wcześniej uzyskane wyniki w postaci symulacji ruchu na skrzyżowaniu.



Rys. 6. Wizualizacja skrzyżowania w programie Synchro

Podsumowanie i ocena praktycznej przydatności programów

Zarówno w programie Vissim, jak i w Synchro uzyskano symulację obrazującą ruch na skrzyżowaniu po wprowadzeniu projektowanych rozwiązań. Uzyskano także wskaźniki liczbowe oceniające efektywność sterowania na skrzyżowaniu.

Oba modele spełniły swoje zadania, jednak wykonano je zupełnie innym nakładem pracy. Przygotowanie modelu w programie Vissim zajęło czterokrotnie więcej czasu niż w przypadku pracy z programem Synchro, zaowocowało to jednak symulacją o wiele bardziej zbliżoną do sytuacji rzeczywistej i dużo lepiej przemawiającą do niedoświadczonego obserwatora.

Podsumowując: gdy mamy możliwość poświęcenia czasu na kalibrację modelu, chcemy przedstawić wyniki naszej pracy szerszej publiczności lub rozwiązanie projektowe będą ocenian przez osoby nieposiadające specjalistycznej wiedzy, zaleca się wybrać do przedstawienia wyników program Vissim. Oprogramowanie firmy PTV sprawdzi się również w przypadku, gdy chcemy odwzorować obiekt o złożonej geometrii lub nietypowych rozwiązaniach inżynierii ruchu. Jeśli natomiast mamy niewiele czasu na wykonanie analizy i zależy nam na szybkim wyznaczeniu wskaźników oceny warunków ruchu, a skrzyżowanie nie jest skomplikowane, zaleca się użycie programu Synchro, który bardzo dobrze sprawdza się przy ilościowej ocenie efektywności sterowania i przy wykonywaniu porównań różnych wariantów tego samego skrzyżowania.

Dokończenie tekstu ze strony 8

Podjmuje się w nich próbę opisu zachowań komunikacyjnych oraz relacji pomiędzy popytem a podażą na wysokim poziomie dokładności.

Dzięki rozwojowi metod pracy na tzw. *Big Data*, w ostatnich latach pojawiła się możliwość opracowywania więzby na bazie danych komórkowych. Przy wykorzystaniu specjalistycznych algorytmów i znajomości m.in. punktów zatrzymań i prędkości przemieszczeń określa się motywacje i wybrane środki przewozowe w systemie transportowym. Taka metoda pozwala pominąć kosztowne badania i ankiety, jednak wiąże się z nią niepewność przy określeniu kolejnych elementów macierzy. Dlatego tak ważna jest gruntowna weryfikacja powstałej więzby.

Kalibracja więzby ruchu jest dopuszczalna głównie w celu poprawy zgodności modelu na obszarach, które w niewystarczający sposób były objęte badaniami. Ten iteracyjny proces skupia się na dopasowaniu wielkości popytu do pomiarów zgodnie z wybranymi ścieżkami, przy czym jest ograniczany m.in. przepustowością odcinka. Zmiany w więzbie ruchu nie mogą być znaczne i są weryfikowane wielowskaźnikowo.

Variable Demand Model pozwala na tworzenie modelu popytu dla prognoz z uwzględnieniem wielu czynników i etapów planowania podróży. Przy opracowywaniu tego iteracyjnego modelu, który jest skorelowany bezpośrednio z rozkładem ruchu, wymagany jest szeroki zakres danych dotyczących ruchliwości mieszkańców i tego, jak podróżują. Pozwala badać, jak w przypadku zmiany kosztów podróży zmienia się nie tylko podział zadań przewozowych, ale także częstotliwość podróży czy lokalizacja docelowa.

Literatura

1. Bąk R., Ostrowski K., *Analiza konieczności kalibracji programu Vissim w modelowaniu skrzyżowań z sygnalizacją świetlną*, „Logistyka”, 2014, nr 6.
2. Buda M., Górka A., Krukowicz T., *Wpływ przepisów dotyczących obsługi skrętu w lewo na przepustowość skrzyżowań z sygnalizacją świetlną*, „Technika Transportu Szybnego”, 2015, nr 12.
3. Dybicz T., *Kalibracja modelu ruchu w programie Vissim dla przypadku dużego zatłoczenia ruchem drogowym*, „Logistyka”, 2014, nr 6.
4. Górka A., *Ocena efektywności funkcjonowania wariantowych rozwiązań organizacji ruchu dla wybranego fragmentu miejskiego układu komunikacyjnego*, praca magisterska na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej, 2015.
5. *Infographic: Simulating driving behaviour*, <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-uk/products/ptv-vissim/> (dostęp 15.04.2016 r.)
6. Krawiec S., Celiński I., *Symulacja mikroskopowa ruchu w modelu obszarowym sieci drogowej*, „Zeszyty naukowe Politechniki Warszawskiej”, 2012, nr 86.
7. PTV-Ag, PTV VISSIM 8 User Manual, Karlsruhe 2015.
8. Trafficware, Synchro Studio 7 User Guide, Sugar Land 2006.
9. Wiedemann, R., *Simulation des Verkehrsflusses*, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Heft 8, Universität (TU) Karlsruhe, Germany, 1974.

Należy mieć na uwadze, że budowanie modeli w oparciu o dużą ilość danych i z bardzo wysokim poziomem szczegółowości, przekłada się na długi okres opracowania projektu, ten zaś wiąże się z wysokimi kosztami. Dlatego istotnym jest, by zastosowane metody korelowały z wymaganiami i zakresem projektu.

Literatura

1. Cox A., Himlin R., *Regional Transport Models: Highways England*, SATURN User Group Meetings 2015.
2. D. Van Vliet, *Saturn Manual Version 11.3*, Wielka Brytania 2015.
3. Daly A., *The Relationship of Cost Sensitivity and Trip Length*, European Transport 2008.
4. Conference, Transport Modelling Seminar, Holandia.
5. Jacobs, *Trip Information System Provisional Matrices*, 11 09 2015 [Online], Dostępny: <https://prezi.com/abw3ovqphfzk/jacobs-urban-mobility-/>
6. Der-Horng L., Boyce D.E., *Urban and Regional Transportation Modelling*, 2004.
7. WebTAG (Transport Analysis Guidance) M2: Variable Demand Modelling, Department for Transport, Wielka Brytania, 2014.
8. WebTAG (Transport Analysis Guidance) M3.1: Highway Assignment Modelling, Department for Transport, Wielka Brytania, 2014.