

MODELOWANIE RUCHU DROGOWEGO DLA POTRZEB KRÓTKOOKRESOWYCH PROGNOZ RUCHU¹

Tomasz Dybicz

dr inż., Instytut Dróg i Mostów, Politechnika Warszawska, 00-637 Warszawa, Al. Armii Ludowej 16, tel. +48 22 234 629, e-mail: T.Dybicz@il.pw.edu.pl

Wojciech Suchorzewski

prof. dr inż., Instytut Dróg i Mostów, Politechnika Warszawska, 00-637 Warszawa, Al. Armii Ludowej 16, tel. +48 22 234 6297, e-mail: W.Suchorzewski@il.pw.edu.pl

***Streszczenie.** Niniejszy artykuł dotyczy modelowania ruchu drogowego dla potrzeb zarządzania ruchem w czasie rzeczywistym. Realizacja tego zadania jest jednym z największych wyzwań dla specjalistów zajmujących się modelowaniem ruchu. W artykule przedstawiono funkcje modeli ruchu, które są stosowane w krótkookresowych prognozach ruchu oraz ich podział na kategorie. Wykonano przegląd wyników badań nad wpływem treści komunikatów VMS na zachowania kierowców. Przedstawiono przykład zastosowania modułu VMS w programie Paramics w zarządzaniu ruchem na obwodnicy miasta Maastricht w Holandii. Przedstawiono dwie koncepcje prognozowania i modelowania ruchu umożliwiające uwzględnienie wpływu komunikatów VMS na rozkład ruchu na modelach sieci drogowych.*

***Słowa kluczowe:** modelowanie ruchu, prognozowanie ruchu, zarządzanie ruchem*

1. WSTĘP

Niniejszy artykuł dotyczy jednej z wielu kwestii poruszonych w artykule współautora niniejszego artykułu, T. Dybicza². Jest nią modelowanie ruchu drogowego dla potrzeb zarządzania ruchem w czasie rzeczywistym. Decyzje dotyczące strategii podejmowane są automatycznie lub przez operatora. W obu przypadkach konieczne jest przewidywanie wpływu tych decyzji na rozkład i w efekcie na natężenia i warunki ruchu. Realizacja tego zadania jest jednym z największych wyzwań dla specjalistów zajmujących się modelowaniem ruchu. Jest oczywiste, że wymagania dotyczące modeli ruchu wspierających zarządzanie ruchem zależą od kategorii systemu zarządzania ruchem. Dwie najczęściej spotykane kategorie to: (i) zarządzanie ruchem w obszarach miejskich (obszarowe) oraz (ii) zarządzanie ruchem na drogach krajowych (linio-sieciowe). W artykule skupiono się na drugim przypadku.

¹ Wkład autorów w publikację: Dybicz T. 50%, Suchorzewski W. 50%

² T.Dybicz. Propozycja wymagań dla prognozowania ruchu w krajowym systemie zarządzania ruchem.

2. FUNKCJE MODELI RUCHU STOSOWANYCH W KRÓTKOOKRESOWYCH PROGNOZACH RUCHU

Do najważniejszych funkcji zaawansowanych systemów zarządzania ruchem należy: (i) informowanie użytkowników o warunkach ruchu, aktualnych i spodziewanych w najbliższym okresie; (ii) reagowanie na zdarzenia, takie jak awarie i wypadki. Obie te funkcje wymagają krótkoterminowych prognoz ruchu. Termin ten używany jest dla prognoz dotyczących krótkich okresów czasu mierzonych od chwili bieżącej. Długość tego okresu przyjmowana przez autorów różnych rozwiązań waha się od kilkunastu minut do nawet 12 godzin (Amsterdam). W pracach nad wymaganiami dla systemu zarządzania na drogach krajowych (KSZR) jako horyzont czasowy dla krótkoterminowych prognoz ruchu przyjęto 60 minut.

W sytuacji, kiedy nie występują zdarzenia nieprzewidziane, prognoza ruchu może być oparta na wynikach monitoringu (pomiarach natężeń ruchu i czasu pokonywania odcinków) oraz danych historycznych dla danego okresu. Znacznie bardziej złożonym, trudniejszym zadaniem jest prognozowanie ruchu w przypadku zdarzeń nieprzewidzianych. Podstawowym celem jest wówczas wybór optymalnej strategii zarządzania ruchem. Po dokonaniu wyboru strategii i rozpoczęciu jej wdrażania, konieczne jest dostarczenie danych do systemu informowania użytkowników, np. o spodziewanych warunkach ruchu w obszarze wpływu zdarzenia. Formy przekazywania informacji do użytkowników to: znaki o zmiennej treści, internet, radio, CB radio, i in.

3. KATEGORIE MODELI RUCHU

Zróżnicowanie funkcji modeli ruchu skłania do stosowania modeli dwóch kategorii. Pierwszy, to model stosowany do obliczania aktualnych czasów przejazdu (stan „0”), wykorzystujący bieżące dane o ruchu (natężenia, prędkości i czasy przejazdu wybranych odcinków). Wyniki obliczeń są podstawą informacji dla użytkowników. Czas aktualizacji obliczanych i podawanych czasów przejazdów nie powinien przekraczać kilku minut. W wytycznych dla KSZR model ten nazwano Modelem Bazowym (MB). Jako okres aktualizacji przyjęto 6 minut.

W przypadkach zdarzeń mających wpływ na warunki ruchu, konieczne jest zastosowanie bardziej złożonego modelu, którego celem jest analiza wariantowych strategii zarządzania ruchem. Wybór strategii dokonywany jest przez operatora. Model tej kategorii, w wytycznych KSZR nazwany Modelem Strategicznym (MS), może być zbudowany z wykorzystaniem standardowej metodyki modelowania ruchu.

Po wyborze i rozpoczęciu wdrażania strategii informacje o warunkach ruchu (czasy przejazdu) zastępują informacje podawane na podstawie modelu bazowego. Dodatkowo emitowane są informacje o zalecanych/rekomendowanych trasach przejazdu w obszarze wpływu zdarzenia.

4. DYLEMATY

Do najtrudniejszych zadań stojących przed opracowującymi krótkoterminowe prognozy ruchu jest uwzględnienie sposobu uwzględnienia przez użytkowników/kierowców informacji o warunkach ruchu, w tym zwłaszcza zaleceń wyboru trasy. Na temacie tym skoncentrowano się w kolejnym punkcie.

Inny problem wynika z faktu, że zarządzanie ruchem obejmuje często tylko część sieci drogowej, natomiast ruch rozkłada się na sieć znacznie bogatszą. Oznacza to, że przy prognozowaniu ruchu analizą objąć należy sieć znacznie bogatszą, niż sieć objęta zarządzaniem ruchem. Wynikają z tego trzy trudności. Po pierwsze, strategiczne modele ruchu budowane muszą być dla sieci znacznie bogatszej, niż objęta przedmiotowym systemem zarządzania ruchem. Drugi problem wynika z faktu, że ograniczone są możliwości uzyskiwania informacji o ruchu (natężenia, struktura, czasy przejazdu odcinków i in.) na sieci objętej modelem. Dotyczy to zwłaszcza dróg samorządowych. A w przypadku, gdy informacje takie są zbierane (np. w niektórych miastach), konieczne jest zastosowanie interfejsów, umożliwiających wykorzystanie danych, na ogół o różnorodnym formacie. Trzeci problem wynika z faktu, że skuteczność strategii zarządzania ruchem, np. na kluczowej drodze krajowej, w sytuacjach kryzysowych może być znacznie zwiększona, o ile obejmie ona również doraźne dostosowanie zarządzania ruchem (np. sterowanie na skrzyżowaniach) w obszarze wpływu tej drogi. Wymaga to jednak decyzji politycznej (gotowość współpracy zarządców dróg) oraz rozbudowy modelu strategicznego o dodatkowe komponenty.

5. REAKCJA UŻYTKOWNIKÓW NA INFORMACJE O WARUNKACH RUCHU

Rzeczywisty rozkład ruchu na sieci drogowej a nawet wybór środka transportu w pewnym stopniu zależy od zachowań użytkowników, w tym od ich reakcji na informacje o warunkach ruchu. W przypadku operatywnego zarządzania ruchem, uwzględniającego aktualną sytuację, chodzi przede wszystkim o trafność przewidywań skutków decyzji operatora, podejmowanych z uwzględnieniem wyników prognoz krótkoterminowych. Trafność ta zależy od jakości zastosowanych modeli, które powinny brać pod uwagę typowe zachowania użytkowników. Dwa podstawowe pytania, to: (i) udział (odsetek) użytkowników, do których dotrą informacje o warunkach ruchu i zaleconych reakcjach (np. trasy objazdu), oraz (ii) udział odbiorców informacji, którzy podjęli decyzję o zmianie trasy, celu czy nawet rezygnacji z kontynuowania podróży. Odpowiedź na te pytania jest przedmiotem badań, jednak wyniki tych badań są wciąż ograniczone.

Dowodem złożoności tematu są wyniki badań wykonanych w Purdue University³, dotyczących wpływu jakości i treści znaków o zmiennej treści (VMS) na zacho-

³ School of Civil Engineering, Purdue University,

wania kierowców⁴. Badania dotyczyły wycinka obciążonej dużym ruchem wycinka sieci autostrad i dróg głównych w stanie Illinois. Badano preferencje kierowców przez ich ankietowanie. Badanie wykazało, że na wybór/zmianę trasy największy wpływ ma szczegółowość i konkretność informacji. Czynniki dodatkowe, to: kategoria użytkownika (płeć, wiek, kierowca samochodu osobowego lub ciężarowego), znajomość sieci i opinia o trafności rekomendacji (zaufanie).

Wynikowy ranking wariantowych treści podanych informacji był następujący (w kolejności stopnia wpływu na zachowanie, poczynając od najmniej skutecznych):

- 1) Informacja o wypadku – wyłącznie.
- 2) Informacja o miejscu wypadku – wyłącznie.
- 3) Przewidywane straty czasu – wyłącznie.
- 4) Zalecana trasa objazdu – wyłącznie.
- 5) Lokalizacja miejsca wypadku i zalecana trasa objazdu.
- 6) Lokalizacja miejsca wypadku i przewidywane straty czasu.
- 7) Przewidywane straty czasu i zalecana trasa objazdu.
- 8) Lokalizacja miejsca wypadku, przewidywane straty czasu i zalecana trasa objazdu.

Wyniki badań były podstawą budowy logitowego binarnego modelu umożliwiającego przewidywanie udziału kierowców wybierających zalecaną trasę w zależności od treści informacji na znaku zmiennej treści. Wnioski końcowe podsumować można następująco: (i) treść informacji ma decydujące znaczenie; najbardziej efektywne są informacje zintegrowane (opcje 7 i 8); (ii) kierowcy samochodów ciężarowych są bardziej sceptyczni i w mniejszym stopniu wybierają sugerowane trasy.

Badania wpływu informowania użytkowników o warunkach ruchu i zalecanych trasach alternatywnych na ich zachowania przeprowadzono w wielu innych krajach i miastach, w tym w Amsterdamie⁵, Atenach⁶, Pekinie, Danii, Indiach. Jednym z kryteriów oceny skuteczności systemów informowania użytkowników jest badanie zgodności między prognozowanymi i zaobserwowanymi warunkami ruchu.

6. MIKROSYMULACJA RUCHU JAKO NARZĘDZIE WSPIERAJĄCE PROGNOZY KRÓTKOOKRESOWE

Jednym z rozwiązań stosowanych w krótkoterminowym prognozowaniu ruchu jest uwzględnienie wpływu znaków o zmiennej treści (VMS) w mikrosymulacyjnych modelach ruchu. Jednym z przykładów jest procedura przetestowana na

4 Srinivas Peeta, Jorge L. Ramos, and Raghughushan Pasupathy. Content of Variable Message Signs and On-Line Driver Behavior (2000). Transportation Research Record 1725. Paper No. 00-0970. P.102-108

5 Jan Maarten van den Berg. Short term traffic forecast, lessons from Amsterdam. City of Amsterdam, Department for Traffic and Transport

6 Dimitris Sermpis, Charilaos Babis, Pavlos Chorianopoulos. The Impact of VMS on Drivers' Route Choice in Athens. 2007

obwodnicy holenderskiego miasta Maastricht⁷. Zbudowany został moduł umożliwiający uwzględnienie wpływu znaków VMS w programie symulacyjnym Paramics. Operator systemu otrzymał narzędzie do wyboru informacji dostarczanych kierowcom, biorąc pod uwagę wykorzystanie tych informacji.

Moduł VMS wykorzystuje: (i) system detekcji zatłoczenia (kolejek) na autostradach holenderskich; (ii) dane o reakcji kierowców na informacje wyświetlane na znakach VMS w Rotterdamie; (iii) dynamiczną procedurę wyboru trasy w programie Paramics; (iv) oprogramowanie stosujące Standard Network Management Protocol; (v) wyniki testowania procedury na przykładzie obwodnicy miasta Maastricht.

Oryginalnym, szczególnie interesującym elementem procedury wyboru informacji dla kierowców jest testowanie jej skuteczności przez porównanie wynikającego z obliczeń optymalnego podziału ruchu między alternatywne trasy (z którego wynika informacja dla kierowców) z rzeczywistym, zaobserwowanym podziałem ruchu. W przypadku braku zgodności dokonywana jest korekta treści komunikatów.

Treść komunikatów może obejmować: długość kolejek, czas przejazdu odcinka, ostrzeżenie o zdarzeniach. Strategie zarządzania ruchem obejmują m.in.: dynamiczne zarządzanie ruchem na pasach (w tym na pasie awaryjnym) i ograniczeniami prędkości.

Niestety z uwagi na duże ograniczenie możliwości powiązania mikrosymulacji ruchu z procedurami wyboru optymalnych ścieżek przejazdu różnych typów pojazdów i motywacji podróży pomiędzy rejonami komunikacyjnymi⁸ (w praktyce jest to ograniczone do stosunkowo niewielkich obszarów⁹) zastosowanie metody podobnej do zastosowanej w przypadku obwodnicy miasta Maastricht w KSZR nie będzie możliwe.

7. PROGNOZOWANIE RUCHU Z UWZGLĘDNIENIEM WPLYWU KOMUNIKATÓW VMS NA ZACHOWANIA KIEROWCÓW

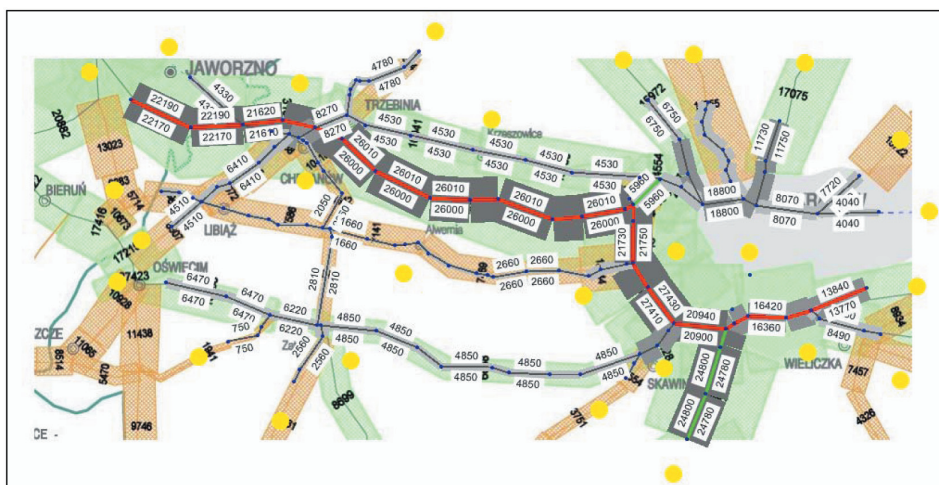
Opisane wcześniej zależności występujące pomiędzy treściami komunikatów VMS, a prawdopodobieństwem dokonania zmiany trasy przejazdu kierowców, mogą być wykorzystane również w krótkoterminowym prognozowaniu ruchu na potrzeby zarządzania ruchem.

W celu zobrazowania potencjalnej metody modelowania ruchem, która umożliwi uwzględnienie wpływu VMS, wykorzystano wycinek Krajowego Modelu Ruchu z ruchem prognozowanym dla roku 2015 (rys. 1).

7 N.D. Cohn, P. Krootjes, J.C. Zee, Simulating Variable Message Signs. Influencing dynamic route choice in microsimulation. Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2004

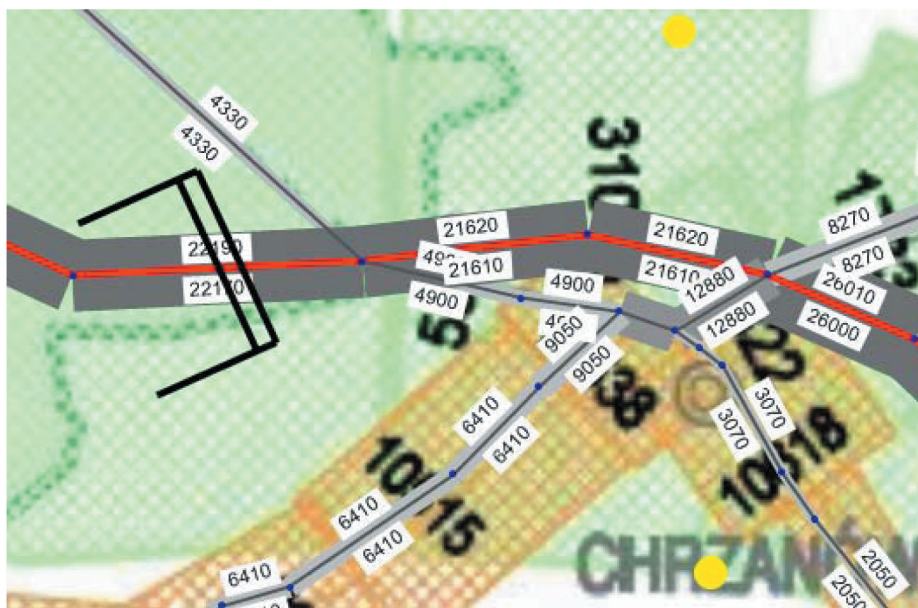
8 T. Dybicz. Metodyka uwzględniania lokalnych ograniczeń przepustowości w modelowaniu ruchu. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Warszawa 2009 r.

9 Friedrich M. i inni. A Dynamic Traffic Assignment Method for Planning and Telematic Applications, Proceedings of Seminar K, European Transport Conference, Cambridge, 2000



Rys. 1. Prognoza ruchu (SDR), rok 2015 - Krajowy Modelu Ruchu

W analizowanym fragmencie Krajowego Modelu Ruchu przebiega autostrada A4. Na podstawie zapowiedzi przedstawicieli GDDKiA można domniemywać, że będzie ona włączona do KSZR. Jeżeli przed węzłem Chrzanów będzie ustawiona tablica VMS (rys. 2), operator systemu będzie mógł informować kierowców o zdarzeniach mających negatywny wpływ na warunki ruchu występujące na odcinku od Chrzanowa do Krakowa.



Rys. 2. Potencjalna lokalizacja tablicy VMS na autostradzie A4 w przypadku, gdy będzie ona włączona do KSZR

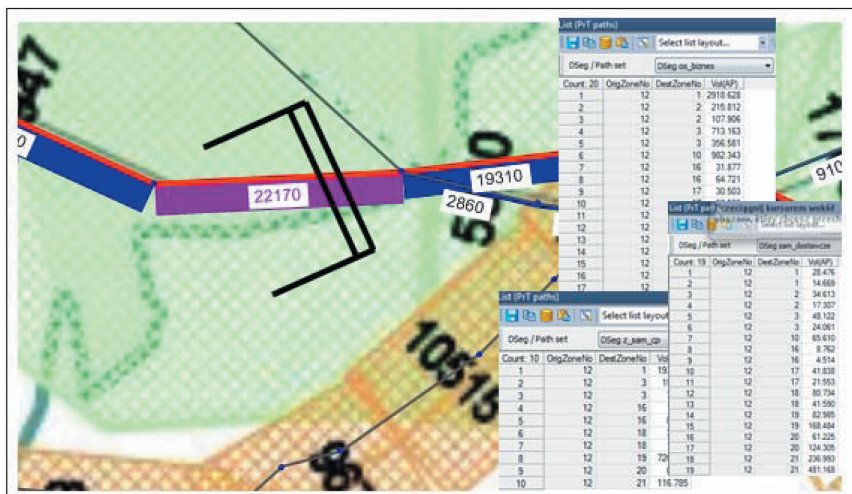
Znając zależności pomiędzy treścią komunikatów a zachowaniami kierowców, operator będzie mógł oszacować jaki procent kierowców (w zależności od typu pojazdu i motywacji podróży) zjedzie na najbliższych węzłach na trasy alternatywne.

Dysponując narzędziem, które umożliwi operatorowi wykonanie analizy zmiany warunków ruchu na drogach alternatywnych, którą spowodują pojazdy zjeżdżające z autostrady jeszcze przed wyświetleniem komunikatu, operator będzie mógł dobrać w procesie iteracyjnym badania wpływu komunikatu optymalną treść komunikatu, mając na uwadze warunki ruchu na autostradzie oraz na drogach alternatywnych.

Podstawowa trudność modelowania wpływu komunikatu VMS polega na tym, że nie można po prostu zmieniać parametrów odcinków (np. ograniczając ich przepustowość, czy prędkość ruchu) leżących za tablicą VMS. Takie podejście jest z powodzeniem stosowane w planowaniu, jednak przy dynamicznym zarządzaniu ruchem jest niepraktyczne. Przy takim podejściu, w czasie rozkładania ruchu na modelu sieci drogowej, część podróży zostanie przeniesiona na inne ciągi, przez co zmniejszy się natężenie ruchu również na odcinku, na którym zlokalizowana jest tablica VMS. Niestety, prawidłowe modelowanie ruchu wpływu VMS wymaga, by wpływ komunikatu na zachowania kierowców wywierany był na odcinkach za tablicą VMS. Stąd natężenie ruchu na odcinku, na którym jest tablica VMS musi być stałe, niezależne od rodzaju wyświetlanego komunikatu.

Niestety aktualnie nie ma programu czy modułu, które umożliwiłyby operatorowi wykonywanie takich analiz w sposób automatyczny. Do wykonania takich analiz można posłużyć się następującą metodą.

W pierwszym kroku operator może sprawdzić tzw. drzewka podróży przechodzących przez odcinek, na którym jest zainstalowana tablica VMS oraz wykaz podróży z uwzględnieniem rejonów komunikacyjnych początku i końca podróży, liczby podróży w podziale na poszczególne typy pojazdów i motywacje podróży (rys. 3).



Rys. 3. Przykład sprawdzenia drzewek podróży i wykonania listingów dla podróży przejeżdżających przez odcinek z tablicą VMS

W następnym kroku operator powinien wprowadzić dodatkowy rejon komunikacyjny, który będzie podłączony centroidą do pierwszego węzła leżącego za tablicą VMS. Następnie operator powinien zmodyfikować macierze podróży. Rejon docelowy podróży, które przechodziły przez odcinek z tablicą VMS powinien zostać podmieniony na nowo utworzony rejon komunikacyjny. W zależności od treści komunikatu, odpowiedni procent podróży powinien zostać przekierowany na trasy alternatywne. W tym celu operator przypisze w macierzy podróży, jaka liczba podróży będzie „kontynuować” podróż autostradą, gdzie nowy rejon będzie rejonem początkowym, a rejonem końcowym będzie pierwotny docelowy rejon komunikacyjny. W przypadku podróży, które powinny wybrać trasy alternatywne, kontynuacja podróży powinna zostać zapisana w taki sposób, że nowy rejon będzie również rejonem początkowym, a rejonem końcowym będzie rejon leżący na trasie alternatywnej. W celu umożliwienia kolejnej kontynuacji tych podróży w modelu, rejon leżący na trasie alternatywnej posłuży jako rejon początkowy, a rejonem końcowym będzie pierwotny docelowy rejon komunikacyjny.

Dobór rejonu pośredniego leżącego na trasie alternatywnej musi być dobrany w taki sposób, by nie dopuścić do „powrotu” pojazdów na odcinek autostrady leżący za tablicą VMS.

W drugiej proponowanej metodzie operator będzie postępował podobnie jak w przypadku pierwszej metody do momentu wprowadzenia dodatkowego rejonu komunikacyjnego, który będzie podłączony centroidą do pierwszego węzła drogowego za tablicą VMS. Na podstawie wykonanego wykazu podróży operator powinien dodać w modelu użytkowników, którzy będą przeniesieni na trasy alternatywne. Każdy dodany użytkownik powinien mieć przyporządkowane takie same składowe koszty uogólnione jak użytkownik podstawowy. Różnica będzie dotyczyła tylko odcinka leżącego za tablicą VMS, z którego dodani użytkownicy nie będą mogli korzystać.

Wszystkie podróże przechodzące przez odcinek z tablicą VMS będą musiały zostać podzielone na dwie części. Pierwsza będzie się kończyła w nowym rejonie komunikacyjnym. Druga podróż będzie się w tym rejonie zaczynała i będzie się kończyć w docelowym rejonie komunikacyjnym.

Wykorzystując wykaz podróży korzystających z odcinka z tablicą VMS, operator będzie mógł przenieść odpowiedni procent podróży (bazując na wpływie treści komunikatu na zachowania kierowców) z podstawowych macierzy podróży do macierzy dla dodanych grup użytkowników. Wykonanie rozkładu ruchu na model sieci drogowej zaowocuje tym, że na odcinku z tablicą VMS natężenie ruchu będzie stałe, natomiast poprzez zablokowanie możliwości wjazdu dodatkowych użytkowników na odcinek autostrady leżący za tablicą, kierowcy będą automatycznie wybierać odcinki alternatywne bez konieczności „prowadzenia” ruchu, jak w przypadku pierwszej procedury.

7. WNIOSKI

Krótkoterminowe prognozowanie natężeń i warunków ruchu jest szczególnie trudnym zadaniem. Trafność prognoz decyduje o efektywności zaawansowanych systemów zarządzania ruchem, zwłaszcza w sytuacjach wymagających doraźnych interwencji (zdarzenia/wypadki, warunki pogodowe, imprezy i in.). Jednym z najtrudniejszych zadań jest uwzględnienie w modelach ruchu zachowań użytkowników/kierowców (wybór trasy) i ich wpływu na rzeczywisty rozkład i warunki ruchu. Istnieją podstawy do twierdzenia, że: (i) istotny wpływ na udział kierowców zmieniających trasę pod wpływem informacji o warunkach ruchu i zalecanych trasach ma treść i forma informacji; (ii) występują istotne różnice między stopniem reagowania różnych grup użytkowników oraz wynikające z różnic kulturowych. Wśród wymagań stawianych modelom ruchu jednym z trudniejszych do spełnienia są także bardzo krótkie (kilkuminutowe) przedziały czasowe. Dotyczy to zwłaszcza modeli/procedur stosowanych do analizy i wyboru wariantowych strategii zarządzania ruchem w przypadkach nietypowych. Przedstawione wyżej propozycje dwóch procedur, umożliwiających uwzględnienie wpływu treści komunikatów na rozkład ruchu, powinny być przeanalizowane pod kątem celowości ich wykorzystania w krajowym systemie zarządzania ruchem.

