

TOMASZ DYBICZ

dr inż., Politechnika Warszawska,
Wydział Inżynierii Lądowej,
Instytut Dróg i Mostów,
Zakład Inżynierii Komunikacyjnej;
00-637 Warszawa;
al. Armii Ludowej 16,
tel. +48 22 825 37 27,
e-mail: t.dybicz@il.pw.edu.pl

Zastosowanie danych z sondowania pojazdów do wykrywania lokalnych ograniczeń przepustowości¹

Streszczenie. W artykule przedstawiono jeden z przykładów możliwości wykorzystania danych z sondowania pojazdów w KBR (do wprowadzania LOP do modeli ruchu). Na bazie rzeczywistych wyników udostępnionych przez firmę CE-Traffic zademonstrowano sposób, w jaki można wykorzystać dane z sondowania pojazdów do wykrywania LOP. Przedstawiono również sposób, w jaki można wykrywać występowanie fali opóźniającej i rozprowadzającej oraz skali oddziaływania LOP. Zademonstrowany przykład świadczy o dużym potencjale korzyści, jakie mogą wiązać się z wykorzystywaniem tych danych w KBR przy wykonywaniu oceny jakości funkcjonowania systemu drogowego oraz modelowaniu i prognozowaniu ruchu.

Słowa kluczowe: kompleksowe badania ruchu, przepustowość, dane z sondowania pojazdów

Wprowadzenie

Kompleksowe Badania Ruchu (KBR) w podstawowym zakresie powinny obejmować wykonanie niezbędnych badań i pomiarów służących do budowy i weryfikacji modeli ruchu, Krych [3]. Badania obejmują pomiary jakościowe i ilościowe, w tym między innymi [12]:

- badania ankietowe w gospodarstwach domowych,
- badania ankietowe kierowców samochodów osobowych,
- badania ankietowe pasażerów komunikacji zbiorowej,
- pomiary natężenia ruchu samochodów,
- pomiary liczby pasażerów komunikacji zbiorowej.

Jednym z podstawowych powodów, dla których buduje się modele ruchu, jest prognozowanie ruchu miejskiego dla celów planistycznych.

Krokiem milowym, który zapoczątkował rozwój modelowania i prognozowania ruchu było wejście w życie w Stanach Zjednoczonych dwóch ustaw. Pierwsza uchwalona w 1961 r., umożliwiła agencjom federalnym finansowanie zaawansowanych badań studiów ruchu nad rozwiązywaniem problemów zatłoczenia oraz redukcji potrzeb transportowych. Druga ustawa uchwalona w 1962 r. wprowadziła obowiązek wykonywania od 1 lipca 1965 r. studiów ruchu dla projektów dotyczących rozwoju infrastruktury w miastach (i ich aglomeracjach) w przypadku, gdy ich wielkość przekraczała 50 tys. mieszkańców. Obecnie dla wszystkich lub prawie wszystkich projektów związanych z rozwojem infrastruktury transportowej muszą być wykonane prognozy ruchu. Na ich podstawie dokonuje się wyboru wariantów, dobiera rozwiązania techniczne oraz określa się korzyści społeczne, które może przynieść ich realizacja.

W naszym kraju w większości przypadków modelowanie i prognozowanie ruchu oparte jest na teorii czterostopniowego modelu ruchu [11], obejmującego następujące fazy:

- generacja ruchu,
- dystrybucja ruchu,
- podział na środki transportu oraz
- rozkład ruchu na modelu sieci.

Wymagania stawiane wykonawcom KBR w zakresie trzech pierwszych stopni modelu ruchu są stosunkowo dokładnie opracowywane. Uzyskiwane wyniki modelowania ruchu dla tych faz są również stosunkowo łatwe do skali-browania oraz wykonania ich weryfikacji. Niestety w przypadku ostatniej czwartej fazy, którą jest rozkład ruchu na modelu sieci, wymagania sprowadzają się głównie do spełnienia kryteriów zgodności natężeń ruchu w modelu z natężeniami ruchu obserwowanymi w czasie wykonywania pomiarów.

Aktualny stan wiedzy

Aktualnie brakuje wymagań co do uzyskiwania zgodności w modelowanych i obserwowanych prędkościach pojazdów. Należy podkreślić, że standardowo w ramach KBR nie wykonuje się pomiarów prędkości pojazdów oraz badań czasów podróży odbywanych komunikacją indywidualną w różnych porach dnia. Warszawskie Badania Ruchu do tej pory nie należały do wyjątków, np. w ramach WBR 2005 badania prędkości pojazdów w sieci miejskiej nie były wykonywane [13,14]. Usprawiedliwieniem braku stosownych wymagań, co do badania prędkości pojazdów w ramach KBR jest wysoki nakład pracy i kosztów związanych z ich wykonaniem. Z uwagi na ograniczenia budżetowe trudno jest pozyskać środki organizatorom KBR (zarządcom infrastruktury transportowej w miastach) na wszystkie niezbędne badania służące budowie modeli ruchu. Ponieważ badania prędkości pojazdów, w powszechnym mniemaniu, nie należą do kluczowych elementów służących do budowy modeli ruchu i wymagają relatywnie wysokich nakładów pracy i kosztów, to często są pomijane przy formułowaniu wymagań dla KBR. Nie ulega jednak wątpliwości, że jakość i wiarygodność modeli ruchu, do których – na etapie budowy i weryfikacji – nie wykorzystywano danych o prędkościach pojazdów jest trudna do określenia. Prędkości pojazdów w miejskiej sieci drogowej mają decydujące znaczenie w procesie wyboru ścieżki przejazdu w rozkładzie ruchu na modelu sieci, który jest dokonywany w czwartej, ostatniej

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2015.

fazie modelu. W przypadku występowania dużych rozbieżności pomiędzy modelowanymi i rzeczywistymi prędkościami pojazdów w modelach ruchu pojazdy wybierają inne ścieżki przejazdu niż realni kierowcy. Prowadzi to również do braku zgodności modelowanych i rzeczywistych potoków ruchu. Ponieważ uzyskanie tej zgodności jest najczęściej wymagane w KBR, to istnieje poważna obawa, że do jej doprowadzenia wykonawcy modeli stosują między innymi nadmierną modyfikację macierzy podróży. Niestety, wykorzystywanie takich modeli do prognozowania ruchu może negatywnie wpływać na wyniki planowania systemów transportu.

Na jakość i dokładność procesu rozkładu ruchu w sieci drogowej ma również wpływ występowanie lokalnych ograniczeń przepustowości (LOP) [5].

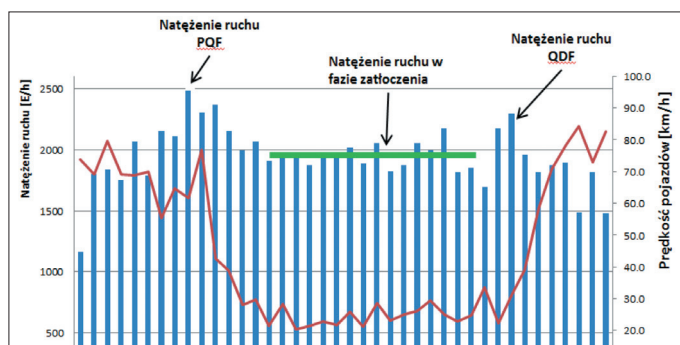
W ostatnich latach znacznie poprawił się stan wiedzy dotyczący analiz ruchu dla sytuacji wysokiego zatłoczenia. Procesy, jakie zachodzą w czasie aktywacji i dezaktywacji, zostały poddane badaniom w szerokim kontekście i były przedstawiane w publikacjach naukowych. Brilon [2] oraz Banks [1] są naukowcami, którzy dokonali najważniejszych odkryć w tym obszarze.

Do jednych z najważniejszych wniosków wynikających z badań LOP należą:

- największe natężenie ruchu, nazywane Pre-Queue Flow (PQF) występuje w początkowej fazie aktywacji LOP tuż przed wystąpieniem załamania warunków ruchu;
- natężenie ruchu pojazdów przejeżdżających przez przekrój z aktywnym LOP w fazie zatłoczenia jest niższe niż przepustowość przekroju;
- przy przechodzeniu z fazy zatłoczenia do dobrych warunków ruchu, czyli w fazie poprawiania się warunków ruchu, chwilowo natężenie ruchu pojazdów przejeżdżających przez przekrój wybija się wyraźnie ponad wartość średniego natężenia ruchu w fazie zatłoczenia, wzrośnie natężenie ruchu towarzyszy również wzrost prędkości pojazdów (jest to wyraźne potwierdzenie, że wystąpiła faza „recovery”). Największe natężenie ruchu, jakie wystąpi w tej fazie nazywane jest Queue Discharge Flow (QDF). Rzeczą charakterystyczną dla QDF jest to, że jest ono mniejsze niż PQF.

Na rysunku 1 przedstawiono wykres rozkładu natężenia ruchu i prędkości pojazdów w czasie aktywacji i dezaktywacji LOP na Trasie Armii Krajowej. Przedstawiony wykres ilustruje warunki ruchu, jakie występują w czasie aktywacji i dezaktywacji LOP.

Wykrywanie LOP nie jest wymagane w KBR. Wynika to między innymi z tego, że dopiero od niedawna posiadamy wiedzę i świadomość występowania LOP. Również dlatego, że wykrywanie i badanie LOP w sieciach drogowych w szerokiej skali przy wykorzystaniu tradycyjnych metod pomiarowych z powodów praktycznych jest bardzo trudne. O tym jednak, że te badania należy wykonywać świadczyć może opinia Daganzo [4]: „Jestem przekonany, że jesteśmy



Rys. 1. Przykład wpływu aktywacji i dezaktywacji LOP na warunki ruchu pojazdów, wyniki pomiarów ruchu na Trasie Armii Krajowej w Warszawie.

Źródło: opracowanie własne

na etapie, w którym, by osiągnąć lepsze wyniki, należy skoncentrować się na dwóch aspektach. LOP są pierwszym z nich. W mojej opinii w ostatnim czasie środowiska naukowe zbyt dużo uwagi poświęcały modelom ruchu dla dróg jednorodnych, gdzie występują jednorodne warunki ruchu. Zbyt mało eksperymentów poświęcono na rozwiązywanie problemów, tam gdzie one się faktycznie znajdują. Drogi z występującymi jednorodnymi warunkami są ważne, jednak powinniśmy zająć się zagadnieniami najważniejszymi, a do nich należą LOP”.

Rozwój technologii sprawia, że do tej pory trudne badania LOP i prędkości pojazdów w sieciach będą możliwe do wykonania w sposób łatwiejszy i tańszy niż przy zastosowaniu tradycyjnych metod. Do ich przeprowadzenia w ramach KBR dla całych miast czy obszarów metropolitalnych można zastosować nowe i niekonwencjonalne metody pomiarowe. Mogą być one oparte na danych z sondowania pojazdów (wcześniej stosowana nazwa FCD, Floating Car Data). Dane z sondowania pojazdów są z powodzeniem stosowane między innymi w systemach zarządzania ruchem do krótkoterminowego prognozowania ruchu [8, 9] oraz w internetowych systemach informacji dla kierowców [3].

Charakterystyka danych pozyskiwanych z sondowania pojazdów

Dane z sondowania pojazdów (FCD) generowane są na podstawie anonimowych śladów GPS pozyskiwanych z systemów monitorowania flot pojazdów oraz z osobistych systemów nawigacyjnych. Szacuje się, że w Polsce monitoruje się w czasie rzeczywistym przemieszczanie się ponad 100 tysięcy pojazdów (na podstawie danych firmy CE-TRAFFIC). Dane z monitoringu archiwizowane są w bazie danych. Zawierają one między innymi następujące informacje: czas pomiaru, średnią prędkość oraz czas przejazdu pomiędzy referencyjnymi punktami na sieci drogowej i typ pojazdu. Obecny stan techniki umożliwia rozróżnianie pojazdów osobowych i ciężarowych. Dane zapisywane są w czasie rzeczywistym i mogą być następnie agregowane w dowolnych interwałach czasu również w ujęciu historycznym. Dane z sondowania pojazdów można pozyskiwać i analizować dla dowolnych okresów oraz zestawiać z innymi pomiarami wykonywanymi metodami konwencjonalnymi w ujęciu aktualnym i historycznym.

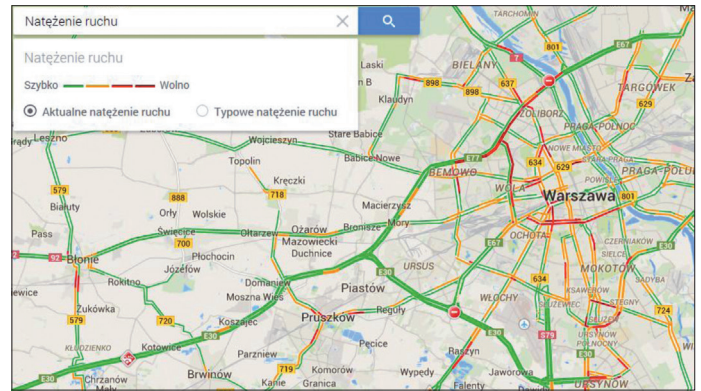
Aktualnie w dużych polskich miastach na drogach głównych ruchu przyspieszonego lub wyższej klasy, cechujących się wysokim natężeniem ruchu w godzinie szczytu, można pozyskać dane z ponad 24 pojazdów na kierunek w ciągu jednej godziny (wysoka próba).

W przypadku dróg o średnim natężeniu ruchu w godzinie szczytu można pozyskiwać dane z około 12 pojazdów na kierunek w ciągu jednej godziny (średnia próba). W przypadku dróg o małych natężeniach ruchu niska będzie również spodziewana próba samochodów sondowanych. Mając na uwadze wzrostowy trend wykorzystywania urządzeń GPS w samochodach, można spodziewać się, że z biegiem czasu dane z sondowania pojazdów będą cechowały się jeszcze większą próbą niż obecnie. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe dane o średnich liczbach sondowanych pojazdów na godzinę w dniu powszednim dla przedziału czasu 7:00–17:00 na ulicach w Warszawie, na rozlokowanych na nich poszczególnych segmentach pomiarowych.

Dane z sondowania pojazdów mogą być przypisywane do bazy GIS, która zawiera ulice podzielone na segmenty pomiarowe z uwzględnieniem kierunku ruchu. Do każdego segmentu pomiarowego przypisane są między innymi następujące informacje:

- numer porządkowy;
- nazwa ulicy;
- kierunek ruchu;
- długość segmentu;
- numer segmentu, który identyfikuje jego kolejność w ciągu danej ulicy;
- ustawicznie dopisywane czasy przejazdów samochodów sondowanych przez segment pomiarowy;
- datę i godzinę dokonania pomiaru;
- rodzaj sondowanego pojazdu (osobowy, ciężarowy).

Wykorzystując własności przestrzennych baz danych, przy zastosowaniu filtrów danych i narzędzi obliczeniowych dla każdego segmentu, można określić prędkość, jaka występuje w warunkach swobodnych. Można wykonywać analizy prędkości pojazdów w ujęciu historycznym dla wybieranych okresów czasowych np. w godzinach szczytu. Dane można również agregować do interwału 1 min i przysłać w czasie rzeczywistym do serwisów internetowych, w tym do również do serwisu zaprezentowanego na rysunku 2.



Rys. 2. Informacje o prędkościach pojazdów (sondowanych) w sieci drogowej.
Źródło: www.google.pl/maps.

Możliwość wykrywania LOP przy wykorzystaniu danych z sondowania pojazdów

Jak wspomniano we wstępie, bez uwzględnienia w modelu ruchu LOP (szczególnie w godzinie szczytu) nie będzie możliwe uzyskanie wiarygodnych wyników modelowania i prognozowania ruchu. Niemniej jednak, z uwagi na ograniczenia tradycyjnych metod pomiarowych do wykrywania LOP i wykorzystywania ich do budowy modeli ruchu w KBR, należy wykorzystać nowe metody oraz współczesne osiągnięcia techniki. Jednym ze skutecznych sposobów wykrywania LOP może być wykorzystanie danych z sondowania pojazdów. Umożliwiają one wykrycie LOP poprzez możliwość wizualizacji własności aktywnych LOP, do których należy między innymi występowanie fal zaburzeń ruchu. Do głównych występujących faz zaburzeń ruchu przy aktywnym LOP należą fala opóźniająca i fala rozprowadzająca. Fale te rozchodzą się w dwóch przeciwnych kierunkach.

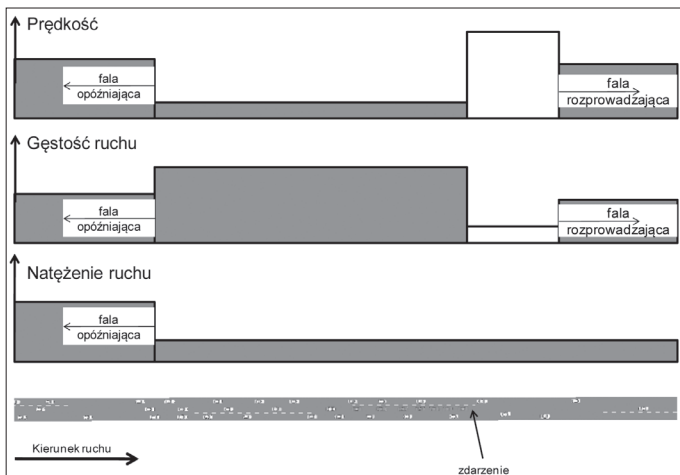
Fala opóźniająca skierowana w górę strumienia ruchu (kierunek przeciwny do kierunku ruchu) powoduje, że na dojeździe do aktywnego LOP zmniejszają się prędkość pojazdów, wzrasta gęstość ruchu w górę strumienia ruchu i następuje związany z tym spadek natężenia ruchu pojazdów (można go zaobserwować, stosując krótkie interwały czasu 3–5 minut).

W przypadku fali rozprowadzającej występuje sytuacja odwrotna. W obszarze jej oddziaływania pojazdy rozpędzają się i następuje zmniejszanie się gęstości ruchu (rys. 3).

Tabela 1

Wybrane dane o średniej liczbie sondowanych pojazdów na godzinę w dniu powszednim dla przedziału 7:00–17:00 na ulicach w Warszawie na poszczególnych segmentach pomiarowych							
Nazwa ulicy	Próba [P/h]	Nazwa ulicy	Próba [P/h]	Nazwa ulicy	Próba [P/h]	Nazwa ulicy	Próba [P/h]
Most Grota-Roweckiego	96	Grzymały-Sokolowskiego	14	Poleczki	9	Sanguszkowski	6
Al. Armii Krajowej	91	Kraśnicka	14	Świętego Wincentego	9	Kruczkowskiego	6
Al. Prymasa Tysiąclecia	56	Grójecka	14	Al. Reymonta	9	Wirązowa	6
Toruńska	52	Trasa Mostu Północnego	13	Świętego Andrzeja Boboli	9	Leszno	6
Trasa Siekierska	44	Most Poniatowskiego	13	Bolesława Chrobrego	9	Bonifratska	6
Wybrzeże Gdyńskie	42	Górczewska	13	Słowackiego	9	Gwarków	6
Wybrzeże Kościuszkowskie	37	Powązkowska	13	Książęca	9	Konwiktorska	6
Al. Armii Ludowej	37	Niemcewicz	13	Wólczyńska	9	Generała Bora Komorowskiego	6

Źródło: CE-Traffic

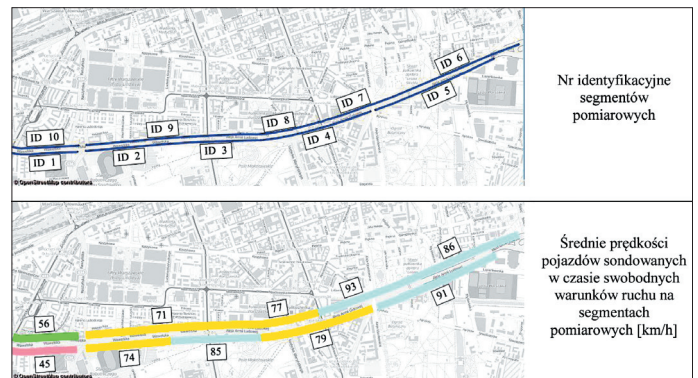


Rys. 3. Schemat powstawania fal zaburzeń ruchu przy aktywnym LOP.
Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

Zbliżona metoda wykrywania LOP z wykorzystaniem danych z sondowania pojazdów stosowana jest w Kalifornii przez Caltrans (California Department of Transportation) do monitorowania zatłoczenia na głównych drogach (HighwayCongestion Monitoring Program).

W celu zilustrowania możliwości wykrywania LOP przy wykorzystaniu danych z sondowania pojazdów posłużono się rzeczywistymi danymi otrzymanymi z firmy CE-Traffic dla ciągu Trasy Łazienkowskiej, w tym dla ulicy Wawelskiej i Alei Armii Ludowej w Warszawie. Na analizowanym ciągu zlokalizowanych jest po 5 segmentów pomiarowych na każdym kierunku ruchu. Na rysunku 4 przedstawiono lokalizację segmentów pomiarowych oraz występujące na nich średnie prędkości samochodów sondowanych. Średnie prędkości samochodów sondowanych w warunkach ruchu swobodnego zostały opracowane przez firmę CE-Traffic na podstawie analizy danych z długiego okresu czasu. Wizualizacje prędkości pojazdów wykonano w programie Visum firmy PTV.

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki wizualizacji rzeczywistych danych o średnich prędkościach pojazdów na segmentach pomiarowych w 10-minutowych interwałach czasu dla godziny szczytu porannego i popołudniowego. Analiza wizualizacji średnich prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego i w czasie godzin szczytu umożliwiła wyznaczenie aktywnych LOP, które tworzą się na analizowanym ciągu Trasy Łazienkowskiej w Warszawie. Umożliwiła również określenie ich zasięgów oddziaływania. Analiza wizualizacji wskazuje, że zasięgi te mają charakter dynamiczny i zmieniają się w czasie. W przypadku szczytu porannego analiza wizualizacji średnich prędkości pojazdów umożliwia zlokalizowanie LOP na ciągu Trasy Łazienkowskiej. Tworzy się ono na skrzyżowaniu z ulicą Żwirki i Wigury dla obydwu kierunków ruchu (segmenty pomiarowe nr 1 i 9). Średnie prędkości pojazdów na segmentach pomiarowych przed tym skrzyżowaniem są znacząco mniejsze niż prędkości występujące w warunkach ruchu swobodnego. W przypadku kierunku na wschód prędkości pojazdów w szczytu porannym spadają nawet do 15 km/h, podczas kiedy w warunkach swobodnych wynoszą średnio około 45 km/h (spadek o około



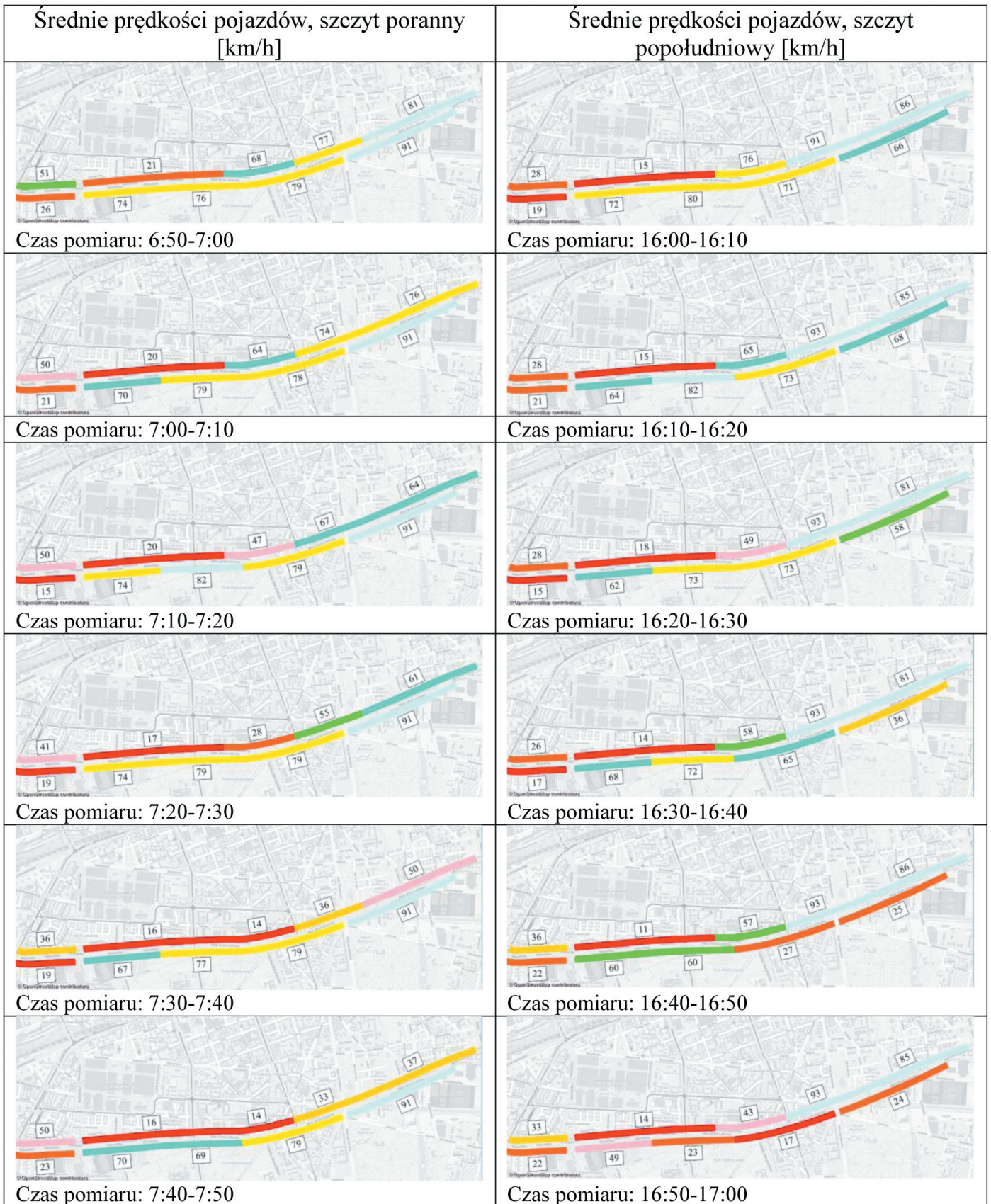
Rys. 4. Lokalizacja segmentów pomiarowych i średnich prędkości pojazdów sondowanych w warunkach ruchu swobodnego.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych CE-Traffic.

30 km/h). W przypadku kierunku przeciwnego spadek prędkości w szczytu porannym jest jeszcze większy. W stosunku do prędkości średnich około 71 km/h spadek średniej prędkości wynosi nawet 55 km/h, do prędkości 16 km/h. Na kierunku zachodnim można zauważyć również efekt występowania fali opóźniającej. W kolejnych interwałach fala opóźniająca powoduje zmniejszanie prędkości pojazdów zlokalizowanych w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu.

Dla obydwu kierunków można zauważyć również występowanie fali rozpraszającej. Po przejechaniu przez skrzyżowanie pojazdy uzyskują prędkości zbliżone do tych, które występują w warunkach ruchu swobodnego.

W przypadku szczytu popołudniowego analiza wizualizacji średnich prędkości pojazdów wskazuje, że na skrzyżowaniu z ulicą Żwirki i Wigury również tworzy się LOP dla obydwu kierunków ruchu w ciągu Trasy Łazienkowskiej. Dodatkowo, dla kierunku ruchu na wschód, zlokalizowane jest jeszcze jedno LOP. Występuje ono na odcinku prowadzącym na most Łazienkowski (segment pomiarowy nr 5). W kolejnych interwałach czasu można zaobserwować stopniowo nasilającą się znaczną redukcję prędkości pojazdów. W warunkach ruchu swobodnego średnia prędkość pojazdów wynosi około 91 km/h. W szczytu popołudniowym następuje systematyczny spadek prędkości pojazdów do około 24 km/h. Bardzo silnie zarysowuje się fala opóźniająca. W wyniku jej występowania oddziaływanie LOP na segmencie pomiarowym nr 5 o godzinie 17.00 zaczyna dosięgać LOP zlokalizowanego na segmencie pomiarowym nr 1. Tym samym następuje tłumienie oddziaływania fali rozpraszającej, przez co samochody przejeżdżające przez LOP na skrzyżowaniu z ulicą Żwirki i Wigury rozpędzają się do niższej prędkości niż w przypadku szczytu porannego. Przy dalszym wzroście intensywności dopływu ruchu do LOP na segmencie pomiarowym nr 5 może dojść do sytuacji, w której fala opóźniająca rozchodząca się od niego może całkowicie stłumić falę rozpraszającą LOP na odcinku 1. Może wystąpić efekt interferencji fal opóźniających na segmencie 1, który może spowodować jeszcze większe ograniczenia w przepływie pojazdów przez występujące na tym segmencie LOP. W takim przypadku LOP występujące na segmencie pomiarowym nr 1 w kierunku na wschód stałoby się ukrytym LOP.



Rys. 5. Lokalizacja segmentów pomiarowych i średnich prędkości pojazdów sondowanych w warunkach ruchu swobodnego.
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych CE-Traffic.

Podsumowanie

LOP mają decydujący wpływ na warunki ruchu samochodów występujące w komunikacyjnych godzinach szczytu. Wraz z postępem badań nad ich negatywnym wpływem na sprawność systemów transportowych rośnie świadomość konieczności ich uwzględnienia w modelach ruchu budowanych w ramach KBR. Wykonywanie prognoz ruchu na potrzeby prac planistycznych, w których nie uwzględnia się LOP, może prowadzić do podejmowania błędnych decyzji. W ich efekcie w skrajnych przypadkach można spodziewać się raczej pogorszenia warunków ruchu w miastach niż poprawy. Można się tego spodziewać w przypadkach, kiedy podejmowane decyzje inwestycyjne, w zakresie rozwoju infrastruktury drogowej, zamiast niwelować występujące LOP lub zmniejszać dopływ ruchu do nich, będą powodowały, że do istniejących LOP będzie dopływać jeszcze więcej ruchu niż obecnie.

W skrajnych przypadkach brak rozpoznania występowania LOP, ich charakterystyki i skali oddziaływania na sąsiednie ulice w wyniku nietrafionych inwestycji drogowych, może doprowadzić do nakładania się na siebie fal opóźniających występujących LOP i nasilenia się występowania złych warunków ruchu oraz ich rozprzestrzeniania na większe obszary miasta i dłuższe okresy.

W niniejszym artykule z uwagi na ograniczenia liczby stron przedstawiono tylko jeden przykład możliwości wykorzystania danych z sondowania pojazdów.

Niemniej jednak już ten jeden przykład świadczy o dużym potencjale korzyści, jakie mogą wiązać się z wykorzystaniem tych danych w KBR przy wykonywaniu oceny jakości funkcjonowania systemu drogowego oraz modelowaniu i prognozowaniu ruchu.

Analiza danych z sondowania pojazdów wskazuje, że mogą one również służyć do poprawiania dokładności makroskopowych symulacyjnych modeli ruchu. Pozyskiwanie tych danych w szerszym zakresie umożliwi budowanie i kalibrowanie funkcji uzależniających prędkości potoku pojazdów na odcinku od natężenia ruchu (tzw. funkcja „volume-delay”) w sposób dużo bardziej dokładniejszy i efektywniejszy niż z wykorzystaniem wyników tradycyjnych sposobów pomiarów ruchu.

Uzyskiwane pierwsze wyniki prac w tym temacie napawają optymizmem. W ramach pracy dyplomowej – Wojciechowski R. *Analiza przydatności danych z systemów sondowania pojazdów do kalibracji modeli ruchu*, Wydział Inżynierii Lądowej, maj 2014 r. (promotor dr inż. Tomasz Dybicz) – zbadano przydatność danych z sondowania pojazdów w modelowaniu ruchem oraz opracowano metodę fuzji danych z sondowania pojazdów z pomiarami natężenia ruchu i jej wykorzystania do budowy wymienionych powyżej krzywych.

Zaletą metody jest nie tylko większa dokładność budowania krzywych, ale również umożliwia ona zbudowanie krzywych dla większości odcinków dróg w miastach. Z uwagi na ogromny nakład pracy i kosztów potrzebnych do badania prędkości pojazdów metodami tradycyjnymi funkcje oporu są budowane sporadycznie dla niewielkiej liczby odcinków. Na podstawie subiektywnych kryteriów

wyniki są uogólniane na pozostałe odcinki dróg. Z uwagi na to prędkości pojazdów na odcinkach dróg w symulacyjnych makroskopowych modelach ruchu w małym stopniu odzwierciedlają rzeczywiste prędkości pojazdów. Opracowanie krzywych dla znacznie większej liczby odcinków dróg niż jest stosowane w obecnej praktyce inżynierskiej, niewątpliwie przyczyni się do znacznego wzrostu dokładności modelowania i prognozowania ruchu dla obszarów mocno obciążonych ruchem drogowym. Wykorzystywanie dane z sondowania pojazdów umożliwi również wyznaczenie swobodnych prędkości pojazdów oraz prędkości minimalnych na wszystkich odcinkach objętych modelowaniem ruchu.

Literatura

1. Banks J., *New Approach to Bottleneck Capacity Analysis Final Report*, California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2006-13, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, July, 2006.
2. Brilon W., Geistefeldt J., Regler M., *Reliability of Freeway Traffic Flow. A stochastic Concept of Capacity*, Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, College Park, Maryland, July, 2005.
3. Brouwer J., *Measuring real-time traffic data quality based on Floating Car Data*, ATEC ITS France Congress, Paris, France, January, 2014.
4. Daganzo C., *Remarks on Traffic Flow Modeling and its Applications. Proceedings Traffic and Mobility Simulation*, Economics and Environment Conference, Aachen, Germany, Springer-Verlag, New York, N.Y., 1999.
5. Daganzo C., Geroliminis N., *Macroscopic modeling of traffic in cities*, Transportation Research Board 86th Annual Meeting, Paper # 07-0413, Washington D.C., 2007.
6. Dybicz T., *Metodyka uwzględniania lokalnych ograniczeń przepustowości w modelowaniu ruchu*, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa 2009.
7. Dybicz T., *Badania i modelowanie ruchu w aglomeracjach, zarys historyczny, stan i kierunki rozwoju*, III Konferencja Naukowo-Techniczna *Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatkania komunikacyjnego*, Materiały konferencji, Poznań, 2009.
8. Dybicz T., Suchorzewski W., *Modelowanie ruchu drogowego dla potrzeb krótkookresowych prognoz ruchu*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, 2012, Nr 1 (97).
9. Dybicz T., *Propozycja wymagań dla prognozowania ruchu w krajowym systemie zarządzania ruchem*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, 2012, Nr 1 (97).
10. Krych A., *Słownictwo kompleksowych badań i modelowania potoków ruchu*, Zeszyty Naukowe II Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu, Kraków, listopad 2010.
11. McNally M., *The Four Step Model*. Paper UCI-ITS-AS-WP-00-5, Institute of Transportation Studies. University of California, Irvine, 2000.
12. *Metropolitan Travel Forecasting Current Practice and Future Direction*, Special Report 288, Committee for Determination of the State of the Practice in Metropolitan Area Travel Forecasting. Transportation Research Board, Washington, D.C., 2007.
13. *Warszawski model ruchu 2005*, Biuro Drogownictwa i Komunikacji, Warszawa 2005.
14. *Wyniki pomiarów ruchu – Warszawskie Badanie Ruchu 2005*, Biuro Planowania Rozwoju Warszawy, Warszawa 2005.