

ODWZOROWANIE FENOMENU DWÓCH PRZEPUSTOWOŚCI W MIKROSYMULACYJNYM MODELU RUCHU W PROGRAMIE VISSIM

Tomasz Dybicz

dr inż., Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, tel: +48 825 3727, e-mail: t.dybicz@il.pw.edu.pl

Streszczenie. *Fenomen występowania dwóch przepustowości PQF i QDF obserwowany jest w czasie aktywacji i dezaktywacji lokalnego ograniczenia przepustowości (LOP), potocznie nazywanego „wąskim gardłem”. Badania prowadzone w Polsce potwierdziły występowanie tego fenomenu również na drogach w naszym kraju. Z uwagi na to, że LOP mają decydujący wpływ na warunki ruchu występujące w godzinach szczytu powinny być one uwzględniane w wykonywanych analizach ruchu dla projektów modernizacji i budowy infrastruktury drogowej. W referacie przedstawiono wyniki kalibracji parametrów modelu jazdy za liderem w mikrosymulacyjnym modelu ruchu w programie Vissim, w którym odwzorowano fenomen występowania dwóch przepustowości. Do budowy modelu ruchu wykorzystano zbadany przypadek aktywacji i dezaktywacji LOP wraz z występującym fenomenem dwóch przepustowości na odcinku przeplatania na przejściu z dwóch pasów ruchu w jeden przed wjazdem na most Grota Roweckiego w Warszawie.*

Słowa kluczowe: *lokalne ograniczenie przepustowości, fenomen występowania dwóch przepustowości: natężenia ruchu PQF i QDF, model jazdy za liderem Wiedemann 74*

1. Wprowadzenie

W ostatnim dziesięcioleciu badania ruchu prowadzone w krajach wysoko uprzemysłowionych nad fenomenem występowania dwóch przepustowości oraz procesami jakie zachodzą w czasie aktywacji i dezaktywacji lokalnych ograniczeń przepustowości (LOP) były szeroko przedstawiane w publikacjach naukowych. Brillon [1] oraz Banks [2] są jednymi z naukowców, którzy dokonali najważniejszych odkryć w tym obszarze.

Do jednych z najważniejszych wniosków prowadzonych badań nad LOP należą:

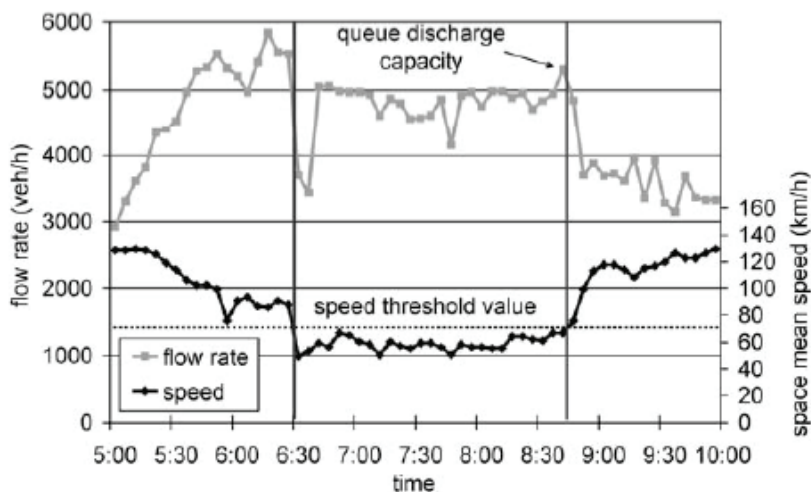
- największe natężenie ruchu występuje w początkowej fazie aktywacji LOP tuż przed wystąpieniem załamania warunków ruchu; największa wartość natężenia ruchu (natężenie ruchu mierzone w interwale co 3 lub 5 minut) nazywa się Pre-Queue Flow1(PQF);

1 Nazwa angielska, brak polskiego odpowiednika dla nazwy.

- natężenie ruchu pojazdów przejeżdżających przez przekrój z aktywnym LOP w fazie zatłoczenia jest niższe niż przepustowość przekroju (natężenie ruchu mierzone w interwale co 3 lub 5 minut);
- przy przechodzeniu z fazy zatłoczenia do dobrych warunków ruchu, czyli w fazie poprawiania się warunków ruchu², chwilowo natężenie ruchu pojazdów przejeżdżających przez przekrój wybija się wyraźnie ponad wartość średniego natężenia ruchu w fazie zatłoczenia, wzrośtowi natężenia ruchu towarzyszy również wzrost prędkości pojazdów (jest to wyraźne potwierdzenie, że wystąpiła jest to faza „recovery”). Największe natężenie ruchu jakie wystąpi w tej fazie nazywane jest Queue Discharge Flow³ (QDF). Rzeczą charakterystyczną dla QDF jest to, że jest ono mniejsze niż PQF.

Wartości natężeń ruchu PQF i QDF nazywane są fenomenem dwóch przepustowości. Wartości te można zaobserwować jedynie w przypadku zastosowania krótkiego interwału czasu (wg Brilona najdokładniejsze wyniki uzyskuje się przy interwale 5 min). Z uwagi na to, że występują one bardzo krótko, tzn. można je zaobserwować tylko w czasie około jednego pięciominutowego interwału, między innymi Dehman [3] stwierdza, że za przepustowość powinno się uznawać maksymalną liczbę pojazdów, która przejeżdża przez przekrój w ciągu 1 godziny, a nie krótko występujące wartości PQF i QDF.

Na przedstawionym przez Brilona [1] wykresie rozkładu natężenia ruchu i prędkości pojazdów w czasie aktywacji i dezaktywacji LOP na autostradzie A5 przy zastosowanym interwale 5 min bardzo wyraźnie można zaobserwować wartości PQF, QDF oraz natężenie ruchu występujące w fazie zatłoczenia (rys. 1).



Rys. 1. Rozkład natężenia ruchu i prędkości pojazdów w czasie aktywacji i dezaktywacji LOP, Autostrada A-5 Niemcy

Źródło: [1]

- 2 Nazwa angielska dla tego procesu: „recovery”, propozycja nazwy polskiej to zacytowana: faza poprawiania się warunków ruchu.
- 3 Nazwa angielska, brak polskiego odpowiednika dla nazwy.

2. Wyniki badania aktywnego LOP w Warszawie

LOP, które zostało wykorzystane do budowy mikrosymulacyjnego modelu ruchu i fenomenu występowania dwóch przepustowości występowało w Warszawie na drodze ekspresowej S8 przed wlotem na most Grota Roweckiego od strony Marek w miejscu, w którym obowiązywała tymczasowa organizacja ruchu, zawężająca przekrój z dwóch do jednego pasa ruchu (fot. 1). Badania natężenia ruchu oraz prędkości pojazdów wykonano w ciągu 5 dni roboczych (poniedziałek-piątek) w terminie 12-16.11.2012 roku w godzinach 5:30-11:30 przy użyciu specjalistycznego urządzenia video firmy MioVision (fot. 2).

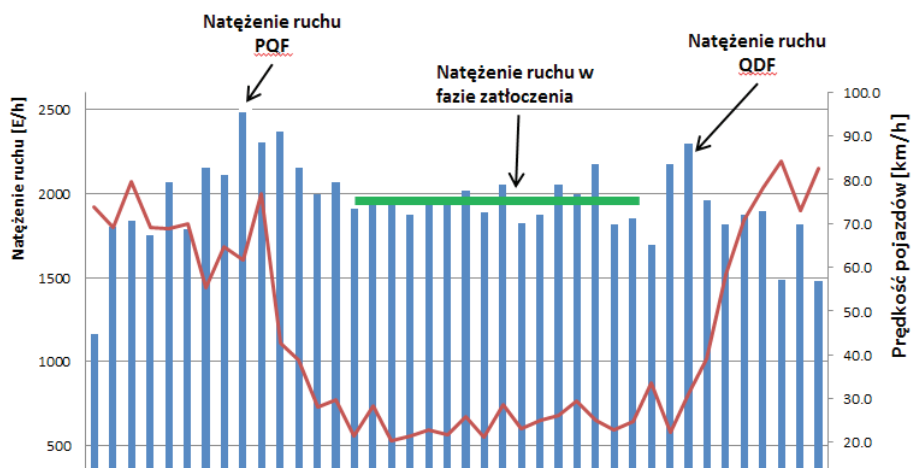


Fot. 1. Kolejka pojazdów ustawiająca się przed analizowanym LOP. Fot. T. Dybicz



Fot. 2. Pogląd na materiał video zarejestrowany w czasie prowadzenia pomiarów ruchu. Fot. T. Dybicz

Na przedstawionym poniżej wykresie rozkładu natężenia ruchu i prędkości pojazdów w czasie aktywacji i dezaktywacji LOP (rys. 2) można, podobnie jak na wykresie Brilona (rys. 1), wyraźnie zauważyć wartości PQF i QDF oraz niższe natężenia ruchu w fazie zatłoczenia.



Rys. 2. Natężenia ruchu PQF, QDF oraz w fazie zatłoczenia w jednym z dni pomiarowych, wtorek 13.11.2012 r.

W czasie prowadzonych pomiarów ruchu (5 dni pomiarowych) pomierzone wartości PQF, QDF oraz natężenia ruchu w fazie zatłoczenia w poszczególnych dniach były bardzo zbliżone do siebie. Uzyskane odchylenia standardowe od wartości średnich były małe (tab. 1). W przypadku natężeń ruchu PQF i QDF wynoszą mniej niż 2% wartości średnich. Odchylenie standardowe natężenia ruchu w fazie zatłoczenia od wartości średniej nieznacznie przekracza 6%.

Większe odchylenie w tej fazie może wynikać z występowania zróżnicowanych odstępów pomiędzy pojazdami. Na zróżnicowane odstępy mogą mieć wpływ między innymi występujące wymuszenia pierwszeństwa przy zmianie pasa ruchu oraz większa skłonność kierowców do prowadzenia rozmów telefonicznych. W przypadku prędkości pojazdów występujących przy natężeniach PQF, QDF i w fazie zatłoczenia poza przypadkiem natężenia PQF wartości średnie również były ze sobą zbliżone (tab. 2).

Tabela 1. Wartości średnie PQF, QDF oraz natężenia ruchu w fazie zatłoczenia z pięciu dni pomiarowych

Wyniki pomiarów ruchu badanego LOP	Natężenie ruchu [E/h]	Odchylenie standardowe [E/h]
Natężenie ruchu PQF	2489	46,9
Natężenie ruchu w fazie zatłoczenia	1885	118,4
Natężenie ruchu QDF	2225	38,5

Tabela 2. Prędkości pojazdów w czasie natężenia ruchu PQF, QDF oraz w fazie zatłoczenia

Wyniki pomiarów ruchu badanego LOP	Prędkość pojazdów [km/h]	Odchylenie standardowe [km/h]
Prędkość pojazdów przy wystąpieniu PQF	50,2	12,3
Prędkość pojazdów w fazie zatłoczenia	24,1	3,6
Prędkość pojazdów przy wystąpieniu QDF	29,5	2,1

3. Kryteria kalibracji mikrosymulacyjnego modelu ruchu

Mikrosymulacyjne modele ruchu powinny spełniać wysokie kryteria kalibracji. Wynika to z tego, że są one powszechnie wykorzystywane w codziennej praktyce inżynierskiej przy wykonywaniu analiz przepustowości i ocen warunków ruchu dla różnego rodzaju projektów, w tym do analiz projektów stałej i tymczasowej organizacji ruchu:

- na skrzyżowaniach, w tym z sygnalizacją świetlną stałoczasową i akomodacyjną,
- na węzłach drogowych oraz rampach,
- na placach poboru opłat na autostradach oraz na odcinkach między innymi,
- w ocenie wpływu na warunki ruchu nowych inwestycji deweloperskich,

W niektórych miastach, jak np. w Warszawie, wykonanie analiz z wykorzystaniem mikrosymulacji modeli ruchu, które dotyczą wpływu projektowanych dużych obiektów biurowych, handlowych i mieszkalnych na przyległą sieć drogową, jest obowiązkowe do otrzymania pozwolenia na budowę. Wyniki tych analiz są jednym z najważniejszych materiałów na bazie których Zarządu Dróg Miejskich i Inżynier Ruchu m.st. Warszawy wydają decyzje odnośnie warunków podłączenia projektowanych obiektów do miejskiej sieci drogowej.

Ponieważ analizy te wykonywane są głównie dla komunikacyjnych godzin szczytu to mikrosymulacyjne modele ruchu w większości przypadków ruchu muszą odwzorowywać sytuacje przesycenia ruchem i występowania złych warunki ruchu. Stąd aspekty kalibracji modeli dla przypadków występowania złych warunków ruchu powinny przedmiotem szczególnej troski ponieważ wyniki analiz wykonywane z ich wykorzystaniem mają decydujące znaczenie przy podejmowanych decyzjach miejskich planistów i inżynierów ruchu.

Nawet autorzy instrukcji [10] zalecają stosowanie mikrosymulacji ruchu do analiz przepustowości w trudnych przypadkach, kiedy nie można posługiwać się konwencjonalnymi wzorami.

Z uwagi na powyższe przyjęto wysokie kryteria, które posłużyły do oceny zgodności wyników kalibracji mikrosymulacyjnego modelu ruchu badanego przypadku LOP. W przypadku zgodności z pomiarami natężenia ruchu przyjęto, że będą one zadowalające jeżeli wskaźnik kalibracji GEH, liczony wg wzoru (1) będzie mniejszy niż 5, zgodnie z wytycznymi [11].

$$GEH = \sqrt{\frac{(E - V)^2}{(E + V)/2}} \quad \{-\} \quad (1)$$

gdzie:

E – natężenie ruchu na odcinku sieci w modelu ruchu [P/h],

V – natężenie ruchu na odcinku sieci pomierzone w czasie pomiarów ruchu [P/h].

W przypadku prędkości pojazdów zgodnie z wymaganiami [11] przyjęto wymóg uzyskania zgodności wyników mikrosymulacji ruchu w odniesieniu do wartości pomierzonych w przedziale 0.85-1.15.

Dodatkowo wprowadzono kryterium zgodności charakterystyki rozkładów natężenia ruchu oraz prędkości pojazdów w przekroju pomiarowym. Przyjęto, że natężenie ruchu PQF uzyskane w wyniku mikrosymulacji ruchu powinno być większe niż natężenie ruchu QDF, a wartość QDF powinna być większa niż natężenie ruchu w fazie zatłoczenia. Prędkości pojazdów towarzyszące występowaniu natężeniom ruchu PQF i QDF powinny być wyższe niż prędkości pojazdów w fazie zatłoczenia (rys. 3).

Przyjęto założenie, że symulacje będą wykonywane w trybie iteracji dla 10 różnych liczb losowych. Przyjęto, że liczbą losową początkową będzie liczba 25, która będzie zwiększana o 5 w kolejnych iteracjach. Natężenia i prędkości ruchu będą wartościami średnimi z kolejnych iteracji.

Wprowadzono również dodatkowe niestandardowe kryterium. Kryterium tym była zgodność zachowań kierowców w fazie zatłoczenia na drodze zaobserwowana w czasie pomiarów ruchu oraz w czasie mikrosymulacji ruchu. Na fot. 3 przedstawiono jak zmieniają się zachowania kierowców zaobserwowane w czasie poligonowych badań ruchu, w momencie występowania fazy zatłoczenia przy zbliżaniu się do przewężenia (przekroju z aktywnym LOP). Zachowania zostały opisane jako preferencje kierowców w wyborze pasa ruchu. W odległości ok 500-400 m od przewężenia kierowcy równomiernie wykorzystują 3 pasy ruchu (jednakowa długość kolejki na wszystkich pasach). Bliżej przewężenia w odległości 100-200 m (dwa pasy ruchu) zdecydowanie można zaobserwować występowanie większych odstępów pomiędzy pojazdami na lewym pasie (mniejsza gęstość ruchu) oraz większych średnich prędkości pojazdów. Większość kierowców preferuje prawy pas ruchu. Kierowcy na lewym pasie ruchu szukają „okazji” do zmiany pasa ruchu na prawy. Tuż przed samym przewężeniem na lewym pasie kolejka pojazdów już nie występuje. Sporadycznie niewielka liczba kierowców próbuje zmieniać pas ruchu w „ostatniej chwili” przed przewężeniem powodując widoczny efekt fali opóźniającej na prawym pasie ruchu (hamowanie pojazdów i wzrost gęstości ruchu).



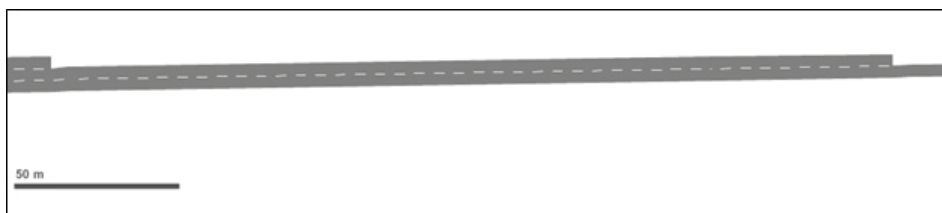
Równomierne kolejki pojazdów na trzech pasach w odległości ok. 500-400 m od przewężenia



Fot. 3. Zachowania kierowców w fazie zatłoczenia w różnych odległościach od przewężenia. Fot. T. Dybicz

4. Wyniki mikrosymulacji ruchubadanego przypadku LOP

Na potrzeby przeprowadzenia analiz ruchu z wykorzystaniem mikrosymulacji ruchu zbudowano komputerowy model analizowanego przypadku LOP programie Vissim 6.0 (rys. 3).

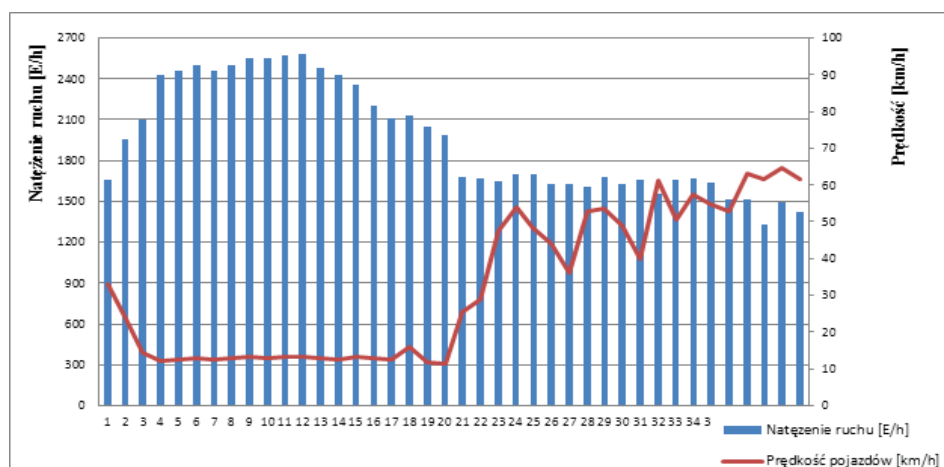


Rys. 3. Model sieci analizowanego przypadku LOP w programie Vissim 6.0.

Badania zgodności rozpoczęto od sprawdzenia wyników mikrosymulacji ruchu przy zastosowaniu standardowych parametrów modeli jazdy za liderem Wiedemann 74 i 99. Szczegółowa charakterystyka tych modeli przedstawiona jest w publikacjach w publikacjach [12] i [13].

Przy zastosowaniu standardowych parametrów modelu Wiedemann 99 charakterystyki uzyskanych rozkładów natężenia i prędkości ruchu na odcinku tuż przed przewężeniem okazały się zdecydowanie rozbieżne w charakterystykami uzyskanymi z wyników pomiarów ruchu. W przypadku modelu Wiedemann 99 nie wystąpiły charakterystyczne natężenia ruchu PQF i QDF, a największe natężenie ruchu wystąpiło w fazie zatłoczenia (rys. 4). Nie tylko charakterystyka rozkładu natężenia ruchu i prędkości nie była zgodna z wynikami pomiarów. Otrzymane wyniki nie spełniły kryteriów kalibracji odnośnie natężeń ruchu (tab. 3) i prędkości pojazdów (tab. 4). Natężenie ruchu w fazie zatłoczenia było aż o 33% większe niż pomierzone.

Przy zastosowaniu standardowych parametrów modelu Wiedemann 99 również zachowania kierowców w modelu przy przewężeniu w fazie zatłoczenia (rys. 5) okazały się zdecydowanie rozbieżne niż zachowania zaobserwowane w czasie poligonowych badań ruchu. Pojazdy na prawym pasie poruszały się z relatywnie wysoką prędkością i dużymi odstępami, a na lewym pasie ruchu pojazdy stały nie mogąc zmienić pasa. Średnia prędkość pojazdów przed przewężeniem w fazie zatłoczenia była aż o 46% niższa niż wynik pomiaru ruchu.



Rys. 4. Rozkład natężenia ruchu i prędkości pojazdów przy przewężeniu w mikrosymulacyjnym modelu ruchu z zastosowanymi standardowymi parametrami modelu jazdy za liderem Wiedemann 99

Tabela 3. Natężenia ruchu w przekroju przed przewężeniem w modelu z zastosowanymi standardowymi parametrami modelu jazdy za liderem Wiedemann 99

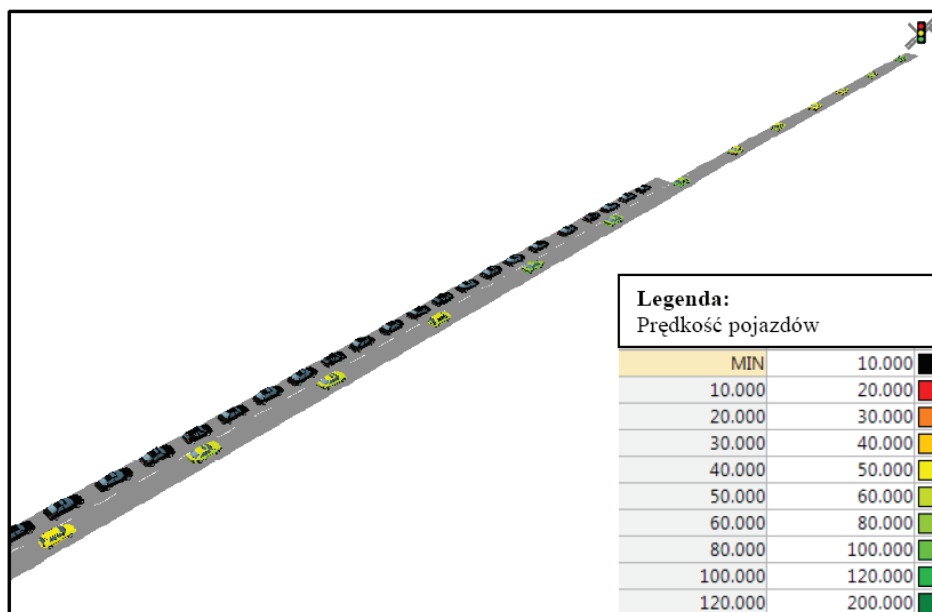
Zgodność wyników mikrosymulacji ruchu z wynikami pomiarów ruchu	Natężenie ruchu PQF [E/h]	Wsp. kalibracji GEH [-]*	Natężenie w fazie zatłoczenia [E/h]	Wsp. kalibracji GEH [-]*	Natężenie ruchu QDF [E/h]	Wsp. kalibracji GEH [-]*
Wyniki pomiarów ruchu	2489	-	1884,8	-	2240,0	-
Wyniki mikrosymulacji ruchu – model Wiedemann 99 (standardowe parametry)	Nie wystąpiło	-	2503	13,20	Nie wystąpiło	-

* kryterium kalibracji natężenia ruchu: wskaźnik GEH < 5

Tabela 4. Prędkości pojazdów w przekroju przed przewężeniem w modelu z zastosowanymi standardowymi parametrami modelu jazdy za liderem Wiedemann 74

Zgodność wyników mikrosymulacji ruchu z wynikami pomiarów ruchu	Prędkość pojazdów przy natężeniu ruchu PQF [km/h]	Wsp. kalibracji [-]*	Prędkość pojazdów w fazie zatłoczenia [km/h]	Wsp. kalibracji [-]*	Prędkość pojazdów przy natężeniu ruchu QDF [km/h]	Wsp. kalibracji [-]*
Wyniki pomiarów ruchu	50,2	-	24,1	-	29,5	-
Wyniki mikrosymulacji ruchu – model Wiedemann 99 (standardowe parametry)	Nie wystąpiło	-	13,0	1,85	Nie wystąpiło	-

* kryterium kalibracji prędkości pojazdów: wskaźnik kalibracji w przedziale od 0,85 do 1,15



Rys. 5. Zachowania kierowców i prędkości pojazdów z zastosowanymi standardowymi parametrami modelu jazdy za liderem Wiedemann 99

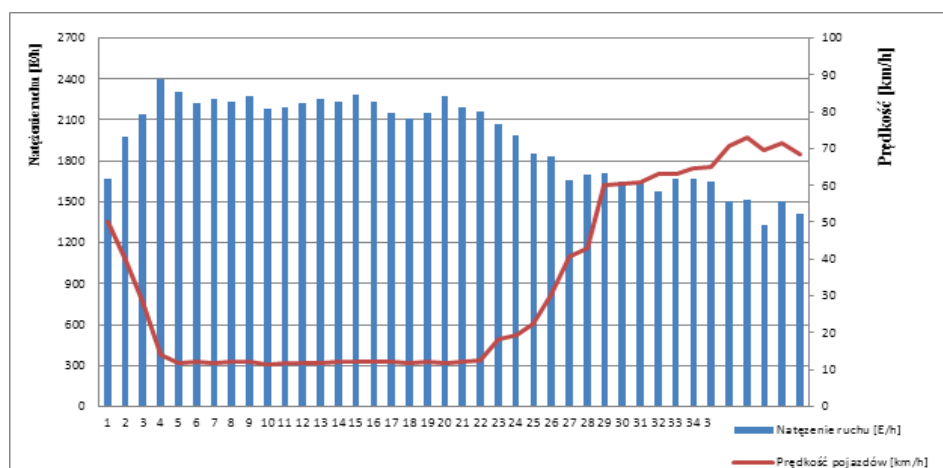
Przy zastosowaniu standardowych parametrów modelu Wiedemann 74 charakterystyki uzyskanych rozkładów natężenia i prędkości ruchu na odcinku tuż przed przewężeniem okazały się znacznie bardziej zbliżone do charakterystyk uzyskanych z wyników pomiarów ruchu. W przypadku modelu Wiedemann 74

można było zaobserwować wystąpienie charakterystycznych natężeń ruchu PQF i QDF i niższe natężenie ruchu występujące w fazie zatłoczenia (rys. 6).

Mimo tego, że charakterystyka rozkładu natężenia ruchu i prędkości pojazdów przy przewężeniu w mikrosymulacyjnym modelu ruchu przy zastosowaniu standardowych parametrów modelu jazdy za liderem Wiedemann 74 była zbliżona do charakterystyki uzyskanej z wyników pomiarów ruchu to jednak tylko natężenie ruchu PQF spełniło kryterium kalibracji (tab. 5). Natężenie ruchu w fazie zatłoczenia było większe o 19% niż uzyskane w czasie pomiarów ruchu.

Przy zastosowaniu standardowych parametrów modelu Wiedemann 74 zachowania kierowców w modelu przy przewężeniu w fazie zatłoczenia (rys. 7) również okazały się zdecydowanie różniczne niż zachowania zaobserwowane w czasie poligonowych badań ruchu. Pojazdy na prawym pasie poruszały się z relatywnie wysoką prędkością i dużymi odstępami, a na lewym pasie ruchu pojazdy stały nie mogąc zmienić pasa

Uzyskane prędkości pojazdów nie spełniły kryterium kalibracji w żadnym z przypadków. Średnia prędkość pojazdów przed przewężeniem w fazie zatłoczenia była aż o 50% niższa niż w pomierzonej.



Rys. 6. Rozkład natężenia ruchu i prędkości pojazdów przy przewężeniu w mikrosymulacyjnym modelu ruchu z zastosowanymi standardowymi parametrami modelu jazdy za liderem Wiedemann 74

Tabela 5. Natężenia ruchu w przekroju przed przewężeniem w modelu z zastosowanymi standardowymi parametrami modelu jazdy za liderem Wiedemann 74

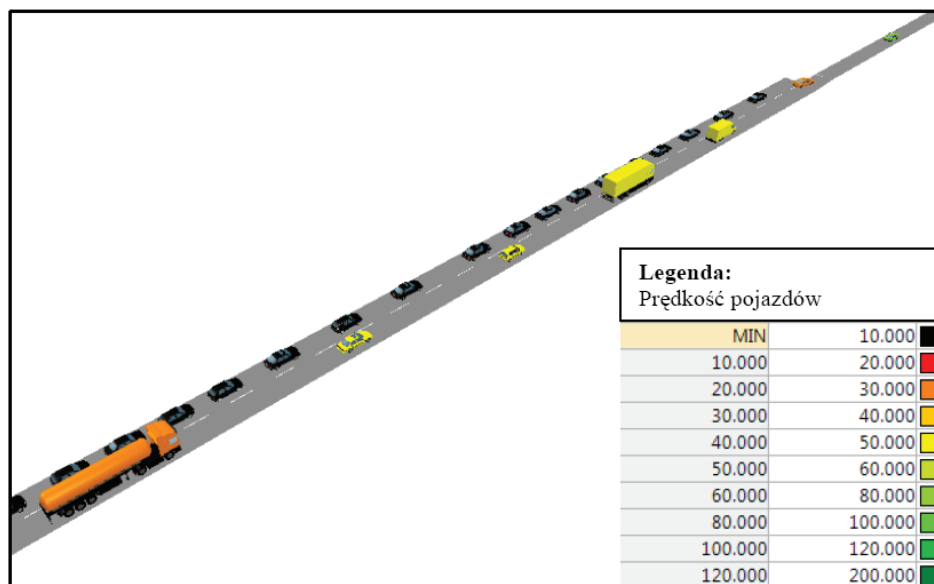
Zgodność wyników mikrosymulacji ruchu z wynikami pomiarów ruchu	Natężenie ruchu PQF [E/h]	Wsp. kalibracji GEH [-]*	Natężenie w fazie zatłoczenia [E/h]	Wsp. kalibracji GEH [-]*	Natężenie ruchu QDF [E/h]	Wsp. kalibracji GEH [-]*
Wyniki pomiarów ruchu	2489	-	1885	-	2240	-
Wyniki mikrosymulacji ruchu – model Wiedemann 99 (standardowe parametry)	2395	1,90	2236	7,75	1983	5,59

* kryterium kalibracji natężenia ruchu: wskaźnik $GEH < 5$

Tabela 6. Prędkości pojazdów w przekroju przed przewężeniem w modelu przy zastosowaniu z zastosowanymi standardowymi parametrami modelu jazdy za liderem Wiedemann 74

Zgodność wyników mikrosymulacji ruchu z wynikami pomiarów ruchu	Prędkość pojazdów przy natężeniu ruchu PQF [km/h]	Wsp. kalibracji [-]*	Prędkość pojazdów w fazie zatłoczenia [km/h]	Wsp. kalibracji [-]*	Prędkość pojazdów przy natężeniu ruchu QDF [km/h]	Wsp. kalibracji [-]*
Wyniki pomiarów ruchu	50,2	-	24,1	-	29,5	-
Wyniki mikrosymulacji ruchu – model Wiedemann 99 (standardowe parametry)	14,1	3,56	11,9	2,02	18,3	1,61

* kryterium kalibracji prędkości pojazdów: wskaźnik kalibracji w przedziale od 0,85 do 1,15



Rys. 7. Zachowania kierowców i prędkości pojazdów przy zastosowaniu standardowych parametrów modelu jazdy za liderem Wiedemann 74

W wyniku analiz mikrosymulacji ruchu z zastosowaniem standardowych parametrów obydwu modeli jazdy za liderem: Wiedemann 74 i Wiedemann 99 wycofano wniosek, że model jazdy za liderem Wiedemann 99 nie jest odpowiedni do budowy mikrosymulacyjnych modeli ruchu dla przypadków występowania dużego zatłoczenia ruchem drogowym. Wniosek ten jest zbliżony do wniosków opisanych w publikacji [14]. Z uwagi na powyższe uznano, że w dalszych analizach wykorzystywany będzie model jazdy za liderem Wiedemann 74, podczas których będą wykonywane badania mające na celu dobranie parametrów tego modelu by uzyskiwane wyniki z przebiegu mikrosymulacji ruchu były zbliżone do wyników poligonowych pomiarów ruchu.

5. Kalibracja mikrosymulacyjnego modelu ruchu badanego przypadku LOP

Kalibrację mikrosymulacyjnego modelu ruchu wykonano w sposób eksperymentalny. Proces rozpoczęto od drobnych zmian poszczególnych parametrów modelu jazdy za liderem Wiedemann 74. Oceniano czy wprowadzona zmiana wpływała pozytywnie na zgodność natężeń ruchu PQF, QDF i natężenia w fazie zatłoczenia oraz prędkości pojazdów. Zwracano również uwagę na zachowania kierowców w mikrosymulacyjnym modelu ruchu przy przewężeniu, które powodowało aktywację LOP. W czasie eksperymentu wykonano około 50 przebiegów mikrosymulacji dla różnych zestawów parametrów (z uwzględnieniem iteracji z różnymi liczbami losowymi wykonano łącznie około 500 przebiegów mikrosymulacji ruchu).

Przeprowadzone eksperymenty z różnymi parametrami doprowadziły do wyłonienia zestawu parametrów modelu jazdy za liderem Wiedemann 74 (tab. 7), które w umożliwiają otrzymanie wyników zgodnych z wynikami pomiarów ruchu badanego LOP.

Tabela 7. Zestawienie standardowych i skalibrowanych do badanego przypadku LOP parametrów modelu jazdy za liderem Wiedemann 74

<i>Parametr modelu:</i>	<i>Wartość standardowa</i>	<i>Wartość skalibrowana dla przypadku badanego LOP</i>
Średni odstęp przy zatrzymaniu [m]	2,0	2,0
Dodatkowa odległość bezpieczeństwa [m]	2,0	2,0
Współczynnik zwiększający odległości bezpieczeństwa [-]	3,0	3,0
Obserwowane pojazdy [P]	2	6
Współczynnik redukcyjny odległości bezpieczeństwa [-]	0,6	0,05
Parametry związane ze zmianą pasa ruchu:		
opóźnienie max pojazdu [m/s ²]	-4,0	-5,0
opóźnienie max pojazdu poprzedzanego [m/s ²]	-3,0	-4,5
opóźnienie pojazdu 1m/s ² na odległość [m]	100,0	75,0
opóźnienie pojazdu poprzedzanego 1m/s ² na odległość [m]	100,0	75,0
opóźnienie akeptowane pojazdu [m/s ²]	-1,0	-4,0
opóźnienie akceptowane pojazdu poprzedzanego [m/s ²]	-1,0	-4,0
opóźnienie maksymalne przy hamowaniu współdziałającym [m/s ²]	-3,0	-4,0
Minimalna odległość pomiędzy pojazdami [m]	0,50	0,50
wzajemna zmiana pasa ruchu [-]	zabroniona	dopuszczalna
max różnica prędkości dla wzajemnej zmiany pasa ruchu [km/h]	-	10
max czas kolizyjny [s]	-	20
usunięcie pojazdu [s]	60	15

Przy zastosowaniu skalibrowanych parametrów modelu jazdy za liderem Wiedemann 74 uzyskane natężenia ruchu PQF, QDF i natężenia ruchu w fazie zatłoczenia spełniły kryterium kalibracji. We wszystkich przypadkach GEH był mniej niż 5 (tab. 8).

Niemniej jednak, należy zwrócić szczególną uwagę na uzyskane natężenia ruchu w fazie zatłoczenia. Co prawda spełniły one kryterium kalibracji GEH, ale uzyskane natężenie było większe o 12% niż uzyskane w pomiarach ruchu. Trzeba mieć na uwadze, że w przypadku wykorzystywania mikrosymulacji ruchu do analiz przepustowości, nawet przy zastosowaniu skalibrowanych parametrów modelu jazdy za liderem Wiedemann 74, może dojść do przeszacowania wartości przepustowości. W modelowanych projektach przeszacowanie wyników może wynieść nawet ok. 12% natężenia ruchu, które będzie w stanie przejechać przez zatłoczone odcinki.

W przypadku prędkości pojazdów jedynie uzyskana prędkość pojazdów w fazie zatłoczenia spełniła kryterium kalibracji. Współczynnik kalibracji wyniósł 1,02 (tab. 9). Prędkości pojazdów przy występowaniu natężeń ruchu PQF i QDF nie spełniły kryteriów kalibracji. Niemniej jednak należy zwrócić szczególną uwagę na to, że prędkości pojazdów przy występowaniu natężeń ruchu PQF i QDF zmienia się w sposób dynamiczny, stąd uznano, że najważniejsze w przypadku modelowania ruchu jest uzyskanie zgodnych prędkości dla fazy zatłoczenia, która trwa znacznie dłużej i jest ważniejsza dla w modelowaniu ruchu w przypadku występowania stanów zatłoczenia. Uzyskana prędkość pojazdów w mikrosymulacji ruchu w tej fazie z wykorzystaniem skalibrowanych parametrów modelu jazdy za liderem Wiedemann 74 charakteryzuje się bardzo wysokim stopniem zgodności, który wynosi 1,02.

Tabela 8. Natężenia ruchu w przekroju przed przewężeniem w modelu z zastosowanymi skalibrowanymi do badanego przypadku LOP parametrami modelu jazdy za liderem Wiedemann 74

Zgodność wyników mikrosymulacji ruchu z wynikami pomiarów ruchu	Natężenie ruchu PQF [E/h]	Wsp. kalibracji GEH [-]*	Natężenie w fazie zatłoczenia [E/h]	Wsp. kalibracji GEH [-]*	Natężenie ruchu QDF [E/h]	Wsp. kalibracji GEH [-]*
Wyniki pomiarów ruchu	2489	-	1885	-	2240	-
Wyniki mikrosymulacji ruchu – model Wiedemann 99 (standardowe parametry)	2335	3,13	2108	4,99	2169	1,50

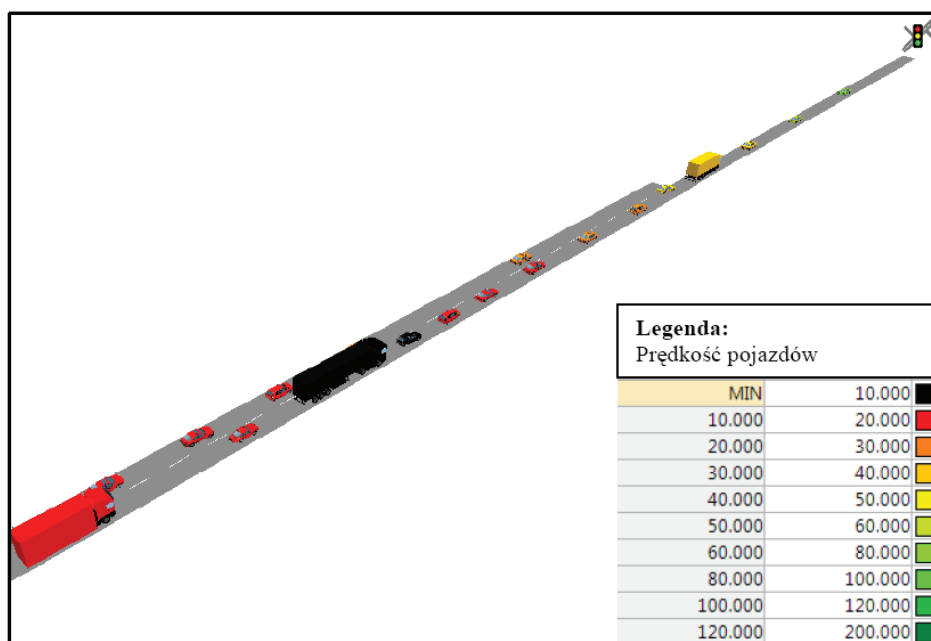
* kryterium kalibracji natężenia ruchu: wskaźnik GEH < 5

Tabela 9. Prędkości pojazdów w przekroju przed przewężeniem w modelu z zastosowanymi skalibrowanymi do badanego przypadku LOP parametrami modelu jazdy za liderem Wiedemann 74

Zgodność wyników mikrosymulacji ruchu z wynikami pomiarów ruchu	Prędkość pojazdów przy natężeniu ruchu PQF [km/h]	Wsp. kalibracji [-]*	Prędkość pojazdów w fazie zatłoczenia [km/h]	Wsp. kalibracji [-]*	Prędkość pojazdów przy natężeniu ruchu QDF [km/h]	Wsp. kalibracji [-]*
Wyniki pomiarów ruchu	50,2	-	24,1	-	29,5	-
Wyniki mikrosymulacji ruchu – model Wiedemann 99 (standardowe parametry)	32,2	1,56	23,5	1,02	25,1	1,17

* kryterium kalibracji prędkości pojazdów: wskaźnik kalibracji w przedziale od 0,85 do 1,15

Zastosowanie skalibrowanych parametrów modelu jazdy za liderem Wiedemann 74 należy ocenić również pozytywnie w przypadku zachowań kierowców w preferencjach wyboru pasa ruchu przed przewężeniem. Podobnie jak zaobserwowano w czasie pomiarów ruchu większość pojazdów, która korzystała z lewego pasa zmieniała pas ruchu na prawy w odległości ok 100 m od przewężenia. Tylko nieliczne pojazdy zmieniały pas ruchu tuż przed przewężeniem. Na lewym pasie tuż przed przewężeniem nie występowała się kolejka pojazdów (rys. 8).



Rys. 8. Zachowania kierowców i prędkości pojazdów z zastosowanymi skalibrowanymi do badanego przypadku LOP parametrami modelu jazdy za liderem Wiedemann 74

6. Podsumowanie

Przeprowadzone eksperymenty wykazały następujące niedoskonałości mikrosymulacyjnych modeli ruchu:

- zastosowanie standardowych parametrów modelu jazdy za liderem Wiedemann 99 może prowadzić do przeszacowania analiz przepustowości dla zatłoczonych odcinków nawet o 46%;
- zastosowanie standardowych parametrów modelu jazdy za liderem Wiedemann 74 może prowadzić do przeszacowania analiz przepustowości dla zatłoczonych odcinków nawet o 50%;
- w przypadku wykonywania mikrosymulacji ruchu dla przypadków występowania dużego zatłoczenia rekomendowane jest wykorzystywanie w programie Vissim modelu jazdy za liderem Wiedemann 74;

- w wyniku analiz i eksperymentów z różnymi parametrami modelu jazdy za liderem Wiedemann 74 udało się wyznaczyć parametry („parametry skalibrowane”) przy wykorzystaniu, których wyniki mikrosymulacji badanego przypadku LOP spełniają najważniejsze kryteria kalibracji (parametry te zostały przedstawione w tab. 7);
- zastosowanie „skalibrowanych parametrów” modelu jazdy za liderem Wiedemann 74 w programie Vissim umożliwia odwzorowanie w czasie wykonywania mikrosymulacji ruchu występowanie fenomenu dwóch przepustowości (natężenia ruchu PQF i QDF);
- zastosowanie nawet „skalibrowanych parametrów” modelu jazdy za liderem Wiedemann 74 może prowadzić do przeszacowania przepustowości dla zatłoczonych odcinków nawet o 12%.

Należy mieć na uwadze, że w zależności od przypadku i charakterystyki danego projektu (np. większa liczba pasów ruchu, odcinki włączeń i wyłączeń na węzłach drogowych, występowanie sygnalizacji świetlnej itp.) „skalibrowane parametry” na bazie prostego przypadku przewężenia z dwóch do jednego pasa ruchu nie będą optymalne dla wszystkich przypadków.

Niemniej jednak do czasu aż zostaną wykonane odpowiednie badania (między innymi będzie to przedmiotem prac Autora artykułu). Autor artykułu rekomenduje stosowanie uzyskanych przez niego „skalibrowanych parametrów” modelu jazdy za liderem Wiedemann 74 dla projektów wykonywanych w Polsce.

Bibliografia

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Dehman A., Temporal Capacity Traits at Long-Term Urban Work Zone Bottlenecks. Transport Chicago Conference, June 2008. <http://www.transportchicago.org/images/Poster-Dehman.pdf>.
- [4] Dixon K., Hummer J., Lorscheider A., Capacity of North Carolina Freeway Work Zone. Transportation Research Record 1529, 1996.
- [5] Jiang Y., Traffic Capacity, Speed, and Queue-Discharge Rate of Indiana's Four-Lane Freeway Work Zones. Transportation Research Record 1657, 1999.
- [6] Kermod R., Myra W., Freeway Lane Closures. Traffic Engineering, Vol. 40, No. 5, 1970, pp-14-18.
- [7] Dudek C., Richards S., Traffic Capacity Urban Freeway Work Zones in Texas. Transportation Research Record 869, 1982.

-
- [8] Cassidy M., Lee J., An Empirical and Theoretical Study of Freeway Weave Bottlenecks. California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2009-13, Institute of Transportation Studies University of California, Berkeley, February 2009.
 - [9] Levinson D., Zhang L., Some Properties of Flows at Freeway Bottlenecks. University of Minnesota, Pillsbury, 2003.
 - [10] Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council Washington, D.C, 2000.
 - [11] Traffic Analysis Toolbox Volume III Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software, Publication No. FHWA-HRT-04-040, July 2004.
 - [12] Karoń G., Wnuk D., Modelowanie mikrosymulacyjne na potrzeby logistyki miejskiej – wąskie gardło w aglomeracji górnośląskiej. *Logistyka* 2/2014.
 - [13] PTV Vissim 6.0 User Manual, 2014 PTV AG, Karlsruhe, Germany.
 - [14] Levinson D., Zhang L., Ramp Metering and the Capacity of Active Freeway Bottlenecks. Transportation Research A Policy and Practice, 2004.