

Elżbieta MACIOSZEK¹

WYBRANE ALGORYTMY OBLICZANIA WSPÓŁCZYNNIKÓW EKWIWALENTNYCH DLA POJAZDÓW CIĘŻKICH

W artykule przedstawiono najczęściej rekomendowane i stosowane w praktyce modele służące do obliczania współczynników ekwiwalentnych dla pojazdów ciężkich. Do tych modeli zaliczono modele stosowane w aktualnie obowiązujących w Polsce metodach obliczania przepustowości skrzyżowań, modele proponowane w kolejnych edycjach HCM (Highway Capacity Manual) w USA oraz modele, które w swych założeniach bazują na analizie wielkości odstępów pomiędzy pojazdami w jednorodnym i mieszanym pod względem składu potoku ruchu. W końcowej części artykułu przytoczono wyniki badań własnych mających na celu ustalenie wartości współczynnika ekwiwalentnego dla pojazdów ciężkich na skrzyżowaniach typu małe rondo jednopasowe.

SELECTED ALGORITHMS FOR PASSENGER CAR EQUIVALENTS FOR HEAVY VEHICLES

Computational models for passenger car equivalents often recommended and often used in engineering practice have been presented in this article. This recommended and often used in practice models are: model presently used in polish intersections capacity manual, models used in the next editions of USA guideline - HCM (Highway Capacity Manual) and models rely on analysis gaps between vehicles in homogeneous and mixed as regards composition traffic flows. In the end, the results of own researches of passenger car equivalents for heavy vehicles for small one lane roundabouts have been presented in this article.

1. WSTĘP

Przepustowość skrzyżowań jak i odcinków międzywęzłowych wyrażana jest najczęściej w pojazdach ekwiwalentnych na godzinę [E/h]. Przepustowość w ogólnym ujęciu jest to maksymalna liczba pojazdów, jaka może w jednostce czasu przekroczyć dany (umowny) przekrój drogi czy wlotu skrzyżowania. Z kolei obecność w potoku ruchu pojazdów ciężkich i zarazem wolniejszych znacząco wpływa na obniżenie przepustowości. Ta redukcja rośnie wraz ze wzrostem udziału w ruchu pojazdów ciężkich, które

¹Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Inżynierii Ruchu, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8. Tel. 48 32 603-41-15. E-mail: elzbieta.macioszek@polsl.pl

w porównaniu z samochodami osobowymi poruszają się z niższą prędkością, zajmują na drodze więcej przestrzeni, cechują się dłuższym czasem reakcji na zaistniałe sytuacje ruchowe, wywierają większy nacisk na konstrukcję nawierzchni, itd. W celach porównawczych mieszany pod względem składu potok ruchu przelicza się z jednostek rzeczywistych [P] na jednostki umowne [E] (ekwiwalentne) stosując w tym celu współczynniki przeliczeniowe $[E_i]$ odpowiednie dla każdej grupy rodzajowej pojazdów. Współczynnik ekwiwalentny (umowny, przeliczeniowy) dla danej grupy rodzajowej pojazdów wyraża liczbę samochodów osobowych, tzw. umownych, które wpływają w tym samym stopniu na warunki w potoku ruchu pojazdów co pojazd analizowany.

W szczegółowych analizach przepustowości skrzyżowań i warunków ruchu drogowego uwzględnienie udziału w ruchu pojazdów o dużym zróżnicowaniu pod względem właściwości konstrukcyjnych i eksploatacyjnych jest przyczyną wielu problemów. Jeden z najbardziej rozpowszechnionych i chętnie stosowanych w praktyce sposobów rozwiązania tego problemu polega właśnie na wykorzystywaniu współczynników ekwiwalentnych do przeliczania pojazdów różnych rodzajów na pojazdy tzw. umowne (ekwiwalentne). Oszacowanie wartości tych współczynników przeprowadza się przez - specjalnie do tego celu opracowane - teoretyczne modele obliczeniowe. Na podstawie dostępnej literatury przedmiotu można wnioskować, że modele te stanowią dość znaczną grupę, bazują na różnych założeniach i różnych algorytmach obliczeniowych. Zagadnieniom związanym z przeliczaniem pojazdów rzeczywistych na pojazdy umowne oraz uwzględnianiem wpływu pojazdów ciężkich na potok ruchu, warunki ruchu oraz konstrukcję nawierzchni poświęcono także wiele prac naukowych zarówno w kraju (m.in. [5, 6, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 20]) jak i za granicą (m.in. [1, 2, 7, 8, 11, 12, 21]). W tabelicy 1 zestawiono najczęściej stosowane w praktyce modele do obliczania współczynników przeliczeniowych.

Przedstawione w tabelicy 1 modele można podzielić na cztery grupy. Podstawą wyznaczenia w każdej grupie jest [15, str. 84]:

- porównanie natężeń dwóch potoków (osobowego i mieszanego) przy jednakowych warunkach ruchu (modele I ÷ VI),
- porównanie gęstości ruchu dwóch potoków (osobowego i mieszanego) przy jednakowych warunkach ruchu (model VII),
- porównanie średnich odstępów czasu lub odległości pomiędzy pojazdami w dwóch jednorodnych potokach (w potoku pojazdów osobowych i w potoku pojazdów analizowanej grupy rodzajowej) przy jednakowych warunkach ruchu (modele VIII i IX),
- porównanie pewnych charakterystyk związanych z wyprzedzaniem w potoku dla dwóch pojazdów: osobowego i analizowanej grupy rodzajowej (modele X i XI).

W praktyce w celu obliczenia współczynników przeliczeniowych dla pojazdów poruszających się po międzywęzłowych odcinkach dróg najczęściej stosowane są modele II i X. Natomiast w modelach obliczania przepustowości skrzyżowań drogowych najczęściej stosowane są modele VIII i IX opracowane przez Webstera i Greenshieldsa. Można zauważyć, że model VIII stanowi szczególny przypadek modelu I oraz II, tj. przy strukturze 100 % udziału pojazdów analizowanej grupy w potoku ruchu.

Tab. 1. Modele obliczania współczynników przeliczeniowych

Nr modelu	Podstawa wyznaczenia modelu	Przyjęte miary warunków ruchu
I	Porównanie natężeń ruchu potoku pojazdów osobowych i potoku pojazdów mieszanych przy jednakowym poziomie warunków ruchu.	Średni czas podróży pojazdów potoku.
II		Średnia prędkość podróży lub chwilowa pojazdów.
III		85% kwantyl prędkości pojazdów potoku.
IV		Maksymalne natężenie ruchu (przepustowość).
V		Łączny czas podróży wszystkich pojazdów potoku.
VI		Średnia prędkość pojazdów osobowych.
VII	Porównanie gęstości ruchu potoku pojazdów osobowych i potoku pojazdów mieszanych przy jednakowym poziomie warunków ruchu.	Maksymalne natężenie ruchu lub maksymalna gęstość ruchu.
VIII	Porównanie średnich odstępów czasu lub odległości między pojazdami w dwóch jednorodnych potokach (potoku pojazdów osobowych i potoku pojazdów analizowanej grupy rodzajowej) przy jednakowym poziomie warunków ruchu.	Średni czas podróży lub średnia prędkość podróży pojazdów potoku.
IX		Maksymalne natężenie ruchu – przepustowość (model Webstera i Greenshieldsa).
X	Porównanie w zakresie danego potoku miar warunków ruchu dwóch pojazdów: osobowego i analizowanej grupy rodzajowej.	Średnia liczba wyprzedzeń.
XI		Średni czas zwłoki spowodowany wyprzedzaniem danego pojazdu w potoku.

Bibliografia: [15, str. 84]

2. WSPÓŁCZYNNIKI EKWIWALENTNE W POLSKICH WYTYCZNYCH

Zgodnie z polskimi metodami obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej, z sygnalizacją świetlną oraz rond [3, 19, 20] obecnie w inżynierii ruchu drogowego i w analizach ruchu wykonywanych w ramach projektów drogowych do przeliczania na pojazdy umowne (samochody osobowe) wyróżnionych rodzajów pojazdów stosuje się współczynniki przeliczeniowe dobierane w zależności od rodzaju skrzyżowania i grupy rodzajowej do której zaklasyfikowano pojazd przeliczany (tablica 2).

Tab. 2. Współczynniki przeliczeniowe na pojazdy umowne dla wyróżnionych rodzajów pojazdów

Rodzaj pojazdu	Oznaczenie	Rodzaj skrzyżowania		
		skrzyżowanie bez sygnalizacji świetlnej	rondo	skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną
Samochody osobowe i mikrobusy	E_o	1.0	1.0	1.0
Samochody ciężarowe i autobusy	E_c	1.7	1.7	2.0
Samochody ciężarowe z przyczepami lub naczepami, autobusy przegubowe	E_{cp}	2.5	2.5	2.0
Motocykle i rowery	E_{mr}	0.5	0.5	0.3

Bibliografia: Opracowanie własne na podstawie [3, str. 42], [4, str. 100], [19, str.79], [20, str. 32]

Zastosowany w polskich wytycznych algorytm przeliczeniowy oparto na amerykańskiej metodzie HCM 2000. Współczynnik uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu wyznacza się zatem ze wzoru [20, str.32]:

$$f_c = \frac{1}{1 + u_c(E_c - 1) + u_{cp}(E_{cp} - 1) + u_{mr}(E_{mr} - 1)} \quad [-] \quad (1)$$

gdzie:

- f_c - współczynnik uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu [-],
 u_c, u_{cp}, u_{mr} - udziały w natężeniu danej relacji wyróżnionych rodzajów pojazdów [-];
 c - samochody ciężarowe i autobusy, cp - samochody ciężarowe z przyczepą/naczepą i autobusy przegubowe, mr - motocykle i rowery,
 E_c, E_{cp}, E_{mr} - współczynniki przeliczeniowe podane w tablicy 2.

W przypadku stosowania w obliczeniach uproszczonej struktury rodzajowej, rozróżniającej w potoku ruchu tylko dwie grupy rodzajowe pojazdów: samochody osobowe i pojazdy ciężkie (ciężarowe bez i z przyczepami/naczepami, autobusy zwykłe i przegubowe) instrukcje: [3, str.42], [20, str.32] zalecają stosować dwa współczynniki przeliczeniowe: $E_o = 1.0$ [-] dla samochodów osobowych oraz $E_c = 2.0$ [-] dla pojazdów ciężkich. Współczynnik uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu wyznacza się w takim przypadku ze wzoru [3, str.42], [20, str.32]:

$$f_c = \frac{1}{1 + u_c(E_c - 1)} \quad [-] \quad (2)$$

gdzie:

- f_c - współczynnik uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu [-],
 u_c - udziały w natężeniu danej relacji pojazdów ciężkich (samochodów ciężarowych bez i z przyczepami/naczepami, autobusów zwykłych i przegubowych) [-],
 E_c - współczynnik przeliczeniowy dla pojazdów ciężkich ($E_c = 2.0$ [-]).

Współczynnik obliczony według wzoru 1 (lub 2) służy do przeliczania jednostek, w jakich wyrażane są natężenia i przepustowości. Przy zmianie z E/h na P/h jednostki umowne należy pomnożyć przez f_c . Przy zmianie z P/h na E/h jednostki rzeczywiste należy pomnożyć przez $1/f_c$.

W analizach przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną obowiązuje uproszczona struktura rodzajowa uwzględniająca w potoku ruchu dwie grupy rodzajowe: samochody osobowe i pojazdy ciężkie [19, str.79].

3. WSPÓŁCZYNNIKI EKWIWALENTNE STOSOWANE W METODACH HCM (USA)

W drugim wydaniu metody HCM, w 1965 roku po raz pierwszy zdefiniowano i wprowadzono do metody pojęcia: poziom swobody ruchu (PSR) i współczynnik ekwiwalentny (E_i). Współczynnik ekwiwalentny dla dróg wielopasowych wyznaczany był na podstawie względnych strat czasu ponoszonych przez kierowców samochodów osobowych spowodowanych udziałem w potoku ruchu wolniejszych pojazdów. Wyznacza się go ze wzoru [8, str. 8]:

$$E_p = \frac{(d_{ij} - d_b)}{d_b} \quad [-] \quad (3)$$

gdzie:

- E_p - współczynnik przeliczeniowy [-],
 d_{ij} - strata czasu poniesiona przez kierowcę samochodu osobowego z powodu wolniej poruszającego się pojazdu typu i w warunkach j [s],
 d_b - strata czasu poniesiona przez kierowcę samochodu osobowego z powodu wolniej poruszających się samochodów osobowych [s].

W metodzie HCM 1965 wartość współczynnika ekwiwalentnego uzależniona była od: pochylenia (wzniesienia lub spadku), długości odcinka na którym występowało to pochylenie, udziału w ruchu pojazdów ciężkich, poziomu swobody ruchu. Jak można się spodziewać, największe wartości współczynnika otrzymywano dla: długich odcinków dróg o dużej wartości pochylenia, z dużym udziałem w ruchu pojazdów ciężkich oraz przy najniższym poziomie swobody ruchu (tj. PSR E).

W metodzie HCM 1985 dodatkowo uwzględniono zmienny wpływ szerokości pasów ruchu na wartość współczynnika ekwiwalentnego. Sam algorytm wyznaczania współczynnika przeliczeniowego oparto na wytycznych TRB Circular 212 z 1980 r. Zależność ta ma następującą postać [8, str. 10]:

$$E_p = \frac{q_B - q_M(1 - P_T)}{q_M \cdot P_T} \quad [-] \quad (4)$$

gdzie:

- E_p - współczynnik przeliczeniowy [-],
- q_B - natężenie ruchu potoku pojazdów składającego się tylko z samochodów osobowych [P/h],
- q_M - natężenie potoku ruchu mieszanego pod względem składu [P/h],
- P_T - udział pojazdów ciężkich w mieszanym pod względem składu potoku ruchu [-].

W aktualnie obowiązującej metodzie HCM 2000 wpływ struktury rodzajowej jest uwzględniany za pomocą zależności [7, str. 20-8]:

$$f_c = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad [-] \quad (5)$$

gdzie:

- f_c - współczynnik uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu [-],
- P_T, P_R - udział w natężeniu danej relacji: P_T - samochodów ciężarowych i autobusów, P_R - pojazdów rekreacyjnych [-],
- E_T, E_R - współczynniki przeliczeniowe: E_T - dla samochodów ciężarowych i autobusów, E_R - dla pojazdów rekreacyjnych [-].

Jak widać ze wzoru 5 w HCM 2000 poza samochodami osobowymi rozróżniono dwie inne grupy rodzajowe pojazdów: pojazdy ciężkie (do grupy tej zaliczono samochody ciężarowe i autobusy) oraz pojazdy rekreacyjne. Współczynniki ekwiwalentne dla autobusów i samochodów ciężarowych przyjmują tę samą wartość. Wartości współczynników dobiera się w zależności od charakteru terenu (płaski, falisty, górzysty). Natomiast w metodzie tej nie brane są pod uwagę takie cechy jak: rodzaj pojazdu ciężkiego czy wyposażenie drogi.

4. WSPÓŁCZYNNIKI EKWIWALENTNE WYZNACZANE NA PODSTAWIE ANALIZY ODSTĘPÓW CZASU MIĘDZY POJAZDAMI

Pojazdy ciężkie w porównaniu z samochodami osobowymi zajmują na drogach większą powierzchnię terenu, stąd w wielu metodach wyznaczania współczynnika ekwiwalentnego algorytmy postępowania oparto na porównywaniu odstępów pomiędzy pojazdami (model

VIII z tablicy 1). Do tej grupy modeli można zaliczyć m.in. metodę Wernera i Moralna, którzy postulowali, że wyznaczanie współczynnika ekwiwalentnego na bazie analizy odstępów czasu pomiędzy pojazdami w bardzo dokładny sposób odzwierciedla wpływ pojazdów ciężkich na warunki ruchowe szczególnie przy dużych wartościach natężeń ruchu na drogach zlokalizowanych w terenie płaskim. Zależność Wernera i Moralna ma następującą postać [8, str 16]:

$$E_p = \frac{\left(\frac{H_M}{H_B} - P_C \right)}{P_T} \quad [-] \quad (6)$$

gdzie:

- E_p - współczynnik przeliczeniowy dla pojazdów ciężkich [-],
- H_M - średnia wartość odstepu czasu pomiędzy pojazdami w mieszanym potoku ruchu [s],
- H_B - średnia wartość odstepu czasu pomiędzy pojazdami w potoku ruchu składającym się tylko z samochodów osobowych [s],
- P_C - udział samochodów osobowych w potoku ruchu [-],
- P_T - udział pojazdów ciężkich w potoku ruchu [-].

Seguin zaproponował wyznaczanie współczynnika ekwiwalentnego z wykorzystaniem tzw. metody odstepu przestrzennego, polegającej na porównywaniu czasu zajętości pasa ruchu przez poruszające się w tym samym kierunku pojazdy (odstep czasu w tym przypadku liczony jest od przedniego zderzaka pierwszego pojazdu do przedniego zderzaka kolejnego pojazdu). Wartość współczynnika wyznacza się jako iloraz średniego odstepu czasu jaki zajmuje pojazd ciężki na drodze do średniego odstepu czasu jaki zajmuje samochód osobowy [8, str. 17]:

$$E_p = \frac{H_{ij}}{H_B} \quad [-] \quad (7)$$

gdzie:

- E_p - współczynnik przeliczeniowy dla pojazdów ciężkich [-],
- H_{ij} - średni odstep czasu pomiędzy pojazdami typu i w warunkach typu j [s],
- H_B - średni odstep czasu pomiędzy samochodami osobowymi [s].

Kremmes and Crowley zaproponowali metodę uwzględniającą dodatkowo wpływ wartości udziału pojazdów ciężkich w poruszającym się potoku ruchu na wartość współczynnika przeliczeniowego. Założeniem tej metody było, że wraz ze wzrostem udziału pojazdów ciężkich w potoku ruchu wzrasta także wzajemne oddziaływanie pomiędzy poruszającymi się w tym samym potoku ruchu pojazdami, co z kolei powodować będzie wzrost wartości współczynnika ekwiwalentnego dla pojazdów ciężkich. Współczynnik ten wyznaczany jest ze wzoru [8, str. 18]:

$$E_p = \frac{[(1 - P_T)H_{TP} + pH_{TT}]}{H_p} \quad [-] \quad (8)$$

gdzie:

- E_p - współczynnik przeliczeniowy dla pojazdów ciężkich [-],
 P_T - udział pojazdów ciężkich w potoku ruchu [-],
 H_{TP} - odstęp czasu pomiędzy dwoma pojazdami ciężkimi poruszającymi się w mieszanym pod względem składu potoku ruchu za samochodem osobowym [s],
 H_{TT} - odstęp czasu pomiędzy dwoma pojazdami ciężkimi poruszającymi się w mieszanym pod względem składu potoku ruchu za pojazdem ciężkim [s],
 H_p - odstęp czasu pomiędzy dwoma samochodami osobowymi poruszającymi się w mieszanym pod względem składu potoku ruchu za pojazdem należącym do obojętnie której grupy rodzajowej [s].

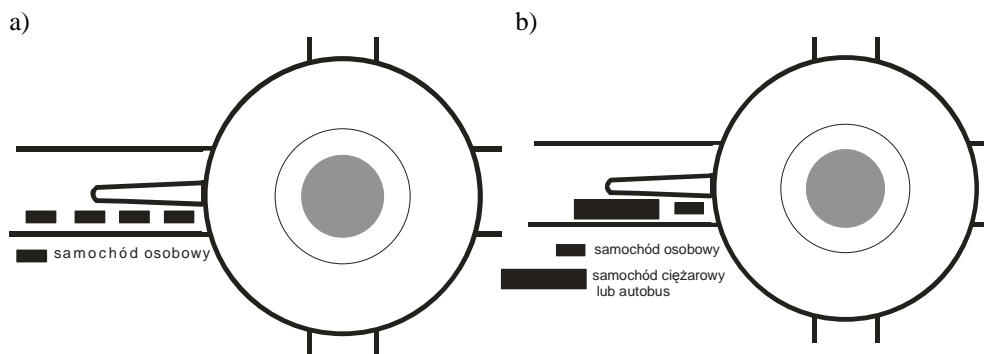
5. WSPÓŁCZYNNIK EKWIWALENTNY DLA POJAZDÓW CIĘŻKICH NA MAŁYCH RONDACH JEDNOPASOWYCH

W ramach badań własnych w 2007 roku wykonano pomiary mające na celu oszacowanie wartości współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich na skrzyżowaniach typu małe rondo jednopasowe. Wartość współczynnika ekwiwalentnego ustalono na podstawie analizy odstępów czasu pomiędzy pojazdami zarówno w jednorodnym jak i mieszanym pod względem składu potoku ruchu. Pomiarami objęto trzy grupy sytuacji ruchowych występujących podczas przejazdu pojazdów przez ten typ skrzyżowania. Były to następujące przypadki:

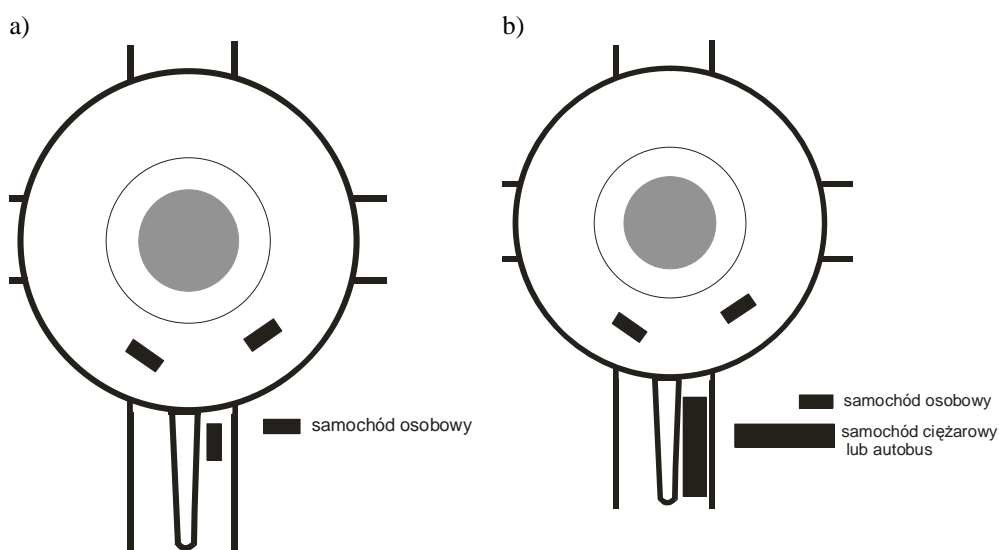
- czasy wjazdów pojazdów z wlotów podporządkowanych na obwiednię ronda,
- akceptacja odstępów czasu pomiędzy pojazdami poruszającymi się po obwiedni ronda przez pojazdy na wlotach podporządkowanych oraz
- odstępów pomiędzy pojazdami na obwiedni ronda.

W pierwszym przypadku podczas pomiarów analizą objęto dwie sytuacje. Pierwsza, gdy na wlocie znajdowała się kolejka pojazdów składająca się tylko z samochodów osobowych (rys. 1a). Druga, gdy w kolejce na wlocie podporządkowanym za samochodem osobowym znajdował się samochód ciężarowy lub autobus (rys. 1b).

Graniczny odstęp czasu mierzono w dwóch przypadkach. W pierwszym przypadku, gdy kierowca samochodu osobowego akceptował/odrzucał odstęp czasu pomiędzy dwoma samochodami osobowymi poruszającymi się po obwiedni ronda (rys. 2a). W drugim przypadku, gdy kierowca samochodu ciężarowego/autobusu akceptował/odrzucał odstęp



Rys. 1. Sytuacje uwzględniane w pomiarach odstępów czasu pomiędzy pojazdami wjeżdżającymi z kolejki na wlocie podporządkowanym małego ronda
 Źródło: opracowanie własne.



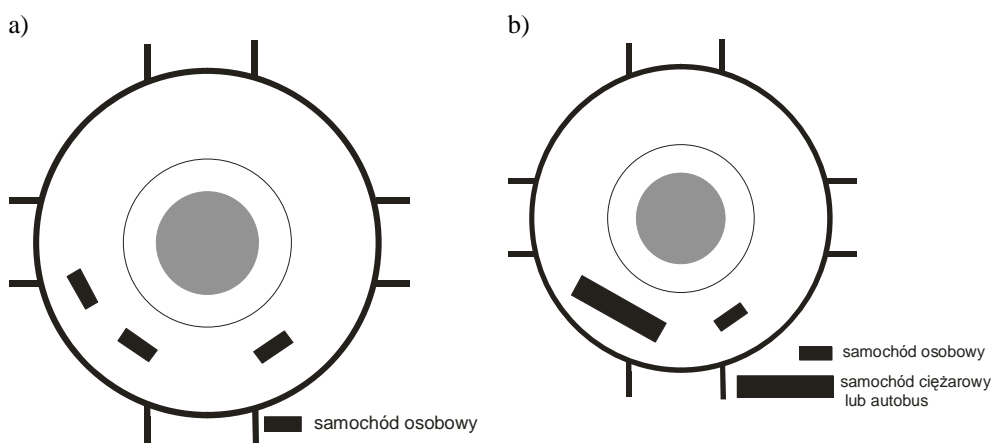
Rys. 2. Sytuacje uwzględniane w pomiarach granicznych odstępów czasu na małych rondach
 Źródło: opracowanie własne.

czasowy pomiędzy dwoma samochodami osobowymi poruszającymi się po obwodni małego ronda (rys. 2b). Na podstawie otrzymanej w ten sposób próby składającej się z odstępów odrzuconych i odstępów zaakceptowanych przez poszczególnych kierowców z wlotów wyznaczono wartości granicznych odstępów czasu za pomocą

krzywych skumulowanych oraz krzywej akceptacji dla dwóch opisanych wyżej przypadków.

W celu uwzględnienia struktury rodzajowej ruchu na obwodni małego ronda rozpatrzono kolejne dwie sytuacje ruchowe. W pierwszym przypadku analizie poddano odstępy pomiędzy samochodami osobowymi (rys. 3a). W drugim przypadku analizowano sytuacje, gdy na obwodni ronda za samochodem osobowym poruszał się samochód ciężarowy lub autobus (rys. 3b).

Po zebraniu wyżej opisanych danych, z zachowaniem warunku minimalnych liczebności prób losowych do przeprowadzenia analizy wyznaczono wartość współczynnika ekwiwalentnego dla pojazdów ciężkich na skrzyżowaniach typu małe rondo jednopasowe. Zastosowana w tym celu metoda obliczeniowa podobna jest do metody Seguina (wzór 7, model VIII w tablicy 1), która polegała na porównywaniu odstępów czasu pomiędzy pojazdami w potoku jednorodnym i mieszanym pod względem składu. Szczegółowe postępowanie przy wyznaczaniu współczynnika zaprezentowano w pracy [9]. Ostatecznie wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich wynosi $E_{SC} = 1.92 [-]$.



Rys. 3. Sytuacje uwzględniane w pomiarach odstępów czasu pomiędzy pojazdami poruszającymi się po obwodni małego ronda

Źródło: opracowanie własne.

6. PODSUMOWANIE

Poza takimi czynnikami jak struktura kierunkowa ruchu, geometryczne ukształtowanie ronda, zachowanie uczestników ruchu, panujące warunki atmosferyczne także sposób uwzględniania struktury rodzajowej potoku ruchu wpływa na dokładność obliczania przepustowości małych rond jednopasowych.

Obowiązująca aktualnie w Polsce metoda obliczania przepustowości rond do uwzględniania struktury rodzajowej ruchu wykorzystuje współczynniki przeliczeniowe dla

wyróżnionych czterech grup rodzajowych pojazdów. Wartości proponowanych w tej metodzie współczynników są takie same jak w metodzie obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej.

Ze względu na specyfikę parku samochodowego na skrzyżowaniach typu małe rondo jednopasowe (które najczęściej lokalizowane są na obrzeżach i w centrach miast jako elementy uspokojenia ruchu co powoduje, że nie poruszają się po nich - a przynajmniej nie są do tego celu projektowane - samochody ciężarowe z przyczepami lub naczepami a jedynie samochody osobowe i lekkie pojazdy ciężarowe) wyróżniono tylko dwie grupy rodzajowe pojazdów: samochody osobowe i pojazdy ciężkie (tj. samochody ciężarowe i autobusy). Na podstawie badań własnych ustalono wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich $E_{SC} = 1.92 [-]$, stąd współczynnik uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu można obliczać za pomocą wzoru 2.

Zaproponowany w artykule współczynnik przeliczeniowy można stosować w obliczeniach tylko dla skrzyżowań typu małe rondo jednopasowe, gdyż jego wartość została wyznaczona na podstawie badań na tym typie skrzyżowań.

Ze względu na stosunkowo duży udział w ruchu pojazdów jednośladowych, planuje się także oszacować wpływ rowerów i motocykli na warunki ruchu na rondach.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Aggarwal P.: *Fuzzy Model for Estimation of Passenger Car Unit*. Wseas Transactions on Information Science & Applications. Praveen Aggarwal, Issue 4, Volume 5, April 2008, pp. 449-458.
- [2] Benekohal R., Zhao W.: *Delay-based passenger car equivalents for trucks at signalized intersections*. Transportation Research Part A 34 (2000), pp 437-457.
- [3] Chodur J.: *Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej. Instrukcja obliczania*. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Warszawa 2004.
- [4] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: *Inżynieria ruchu. Teoria i praktyka*. WKŁ, Warszawa 2008.
- [5] Grzegorzewski R., Szczuraszek T.: *Qualifying relationship between speed, intensity and density of traffic flow on internodal section of dual-carriageway street*. Archives of Civil Engineering, L, 2, 2004. Warszawa 2004, str. 277-294.
- [6] Grzegorzewski R., Gust M., Szczuraszek T.: *Classification of type vehicles into groups according to their length*. Archives of Civil Engineering, LIII, 2, 2007. Warszawa 2007, str. 387-402.
- [7] *Highway Capacity Manual 2000*. TRB, National Research Council, Washington, 2000. Ingle A., Rahka H., Kyoung A.: *Development of Passenger Car Equivalents for Basic Freeway Segments*. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia 2004.
- [8] Loghe S., Immers B.: *Heterogeneous Traffic Flow Modelling with the LWR Model Using Passenger Car Equivalents*. Transport & Mobility Leuven, Belgium.
- [9] Macioszek E.: *Model ruchu na małych rondach dla potrzeb obliczania przepustowości*. Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej. Raport serii PRE nr 15/2006.
- [10] Mechowski T., Sybilski D., Harasim P.: *Ocena wpływu obciążenia dróg pojazdami ciężkimi na trwałość nawierzchni*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów.

- [11] Rahman M., Nakamura F.: *Measuring passenger car equivalents for non-motorized vehicle (rickshaws) at mid-block sections*. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 119-126, 2005.
- [12] Stanley J.: *Passenger Car Equivalents of Trucks Under Lane Restriction And Differential Speed Limit Policies On Four Lane Freeways*. The Department of Civil and Environmental Engineering. University of Kerala, Louisiana 2009.
- [13] Szczuraszek T.: *Nasylenie ruchu na drodze zamiejskiej w warunkach zatoru*. Archiwum Inżynierii Lądowej – tom XXXV, Z, 2/1989, str. 243-255.
- [14] Szczuraszek T.: *Analiza modeli stosowanych do przeliczania pojazdów rzeczywistych na pojazdy umowne*. Zeszyty Naukowe Nr 223-Budownictwo (31)-1999. Akademia Techniczno-Rolnicza im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy. Bydgoszcz 1999, str. 83-98.
- [15] Szczuraszek T., Grzegorzewski R.: *Qualifying relationship between speed, intensity and density of traffic flow on internodal section of dual – carriageway street*. Archives of Civil Engineering, L, 2, 2004, pp.277-294.
- [16] Szczuraszek T., Grzegorzewski R., Gust M.: *Classification of type of vehicles into groups according to their length*. Archives of Civil Engineering, LIII, 2, 2007, pp. 387-402.
- [17] Szydło A., Wardęga R.: *Struktura ruchu samochodów ciężarowych na wybranych drogach w Polsce*. Politechnika Wroclawska. Źródło: <http://www.pkd.org.pl/pliki/referaty>, data odsłony: 10. 02. 2009.
- [18] Tracz M. z zespołem: *Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Instrukcja obliczania*. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Warszawa 2004.
- [19] Tracz M. z zespołem: *Metoda obliczania przepustowości rond. Instrukcja obliczania*. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Warszawa 2004.
- [20] Wardęga R.: *Wpływ struktury ruchu na nośność nawierzchni drogowych*. Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wroclawskiej. Raport serii PRE nr 2/2006.
- [21] Webster N., Elefteriadou L.: *A simulation study of truck passenger car equivalents (PCE) on basic freeway sections*. Transportation Research Part B (1999), pp. 323-336.