

Elżbieta MACIOSZEK¹

ANALIZA WPŁYWU STOPNIA OBCIĄŻENIA RUCHEM NA WARTOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA PRZELICZENIOWEGO DLA POJAZDÓW CIĘŻKICH NA SKRZYŻOWANIACH TYPU RONDO

Jak dotąd w polskiej praktyce projektowej jak i w obliczeniach prowadzonych na potrzeby analiz ruchowych stosowane są stałe wartości współczynników przeliczeniowych dla pojazdów ciężkich. Celem artykułu jest analiza wpływu stopnia obciążenia ruchem na wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich na skrzyżowaniach typu rondo. Wyniki obecnych – wstępnych – badań własnych wskazują, że wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich zależy od obciążenia przekroju ronda. W zależności od stopnia tego obciążenia wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich waha się w zakresie $1.92 \div 2.25$ [-].

THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF VOLUME TO CAPACITY RATIO ON PASSENGER CAR EQUIVALENT VALUE FOR HEAVY VEHICLES ON ROUNABOUTS

Until now, there are applied constant values of passenger car equivalents for heavy vehicles in polish design practice just like in traffic analysis. The main aim of this article is analysis of influence of selected movement features on passenger car equivalents value for heavy vehicles on roundabouts. There are especially considered volume to capacity ratio. The results of the present study show that passenger car equivalent value for heavy vehicles is dependent for volume to capacity ratio on roundabouts. The passenger car equivalent values for heavy vehicles as a function of volume to capacity ratio vary from $1.92 \div 2.25$ [-].

1. WPROWADZENIE

Artykuł stanowi kontynuację prac nad autorki związanych z analizą wpływu różnych grup rodzajowych pojazdów na warunki ruchu na skrzyżowaniach typu rondo [12, 13].

Poszczególne grupy rodzajowe pojazdów cechują odmienne statyczne i dynamiczne charakterystyki. Pojazdy znacznie różniące się konstrukcyjnie między sobą wchodzą w skład potoków ruchu drogowego. Współczynnik ekwiwalentny (umowny,

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.

przeliczeniowy) dla danej grupy rodzajowej pojazdów wyraża liczbę samochodów osobowych, tzw. umownych, które wpływają w tym samym stopniu na warunki potoku ruchu pojazdów co pojazd analizowany. 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 danej grupy rodzajowej pojazdów.

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) wstępnie na cele badań wyróżniono 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 $E_{SC} = 1.92 [-]$.

Współczynnik uwzględniający wpływ struktury rodzajowej ruchu można obliczać za pomocą wzoru [4, str. 42], [17, str. 32]:

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

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 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 artykule podjęto próbę analizy wpływu warunków ruchu na wartości współczynników przeliczeniowych na skrzyżowaniach typu rondo. Stąd głównym celem niniejszej pracy jest ustalenie wpływu stopnia obciążenia na wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich.

2. WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW PRZELICZENIOWYCH - STUDIA LITERATUROWE

Najliczniejsza grupa prac związanych z szacowaniem wartości współczynników przeliczeniowych dla różnych grup rodzajowych pojazdów m.in. wytyczne HCM 2000 [6], Keller i James [10], Aggarwal P. [1], jak i inni [5, 8, 11, 14, 19] przedstawiają stałe wartości współczynników przeliczeniowych dla pojazdów ciężkich dla ustalonych warunków ruchu swobodnego.

W literaturze można też spotkać się z próbami poszukiwania zależności określających wartości współczynników przeliczeniowych dla wyróżnionych grup rodzajowych pojazdów jako zmiennych uzależnionych od parametrów bezpośrednio związanych z aktualnymi warunkami ruchu, np. prace Books'a [3], Thamizh'a i Krishnamurthy'ego [16],

Kaishy'ego, Jung'a i Rakha'a [9] i innych. Jak dotąd prace związane z szacowaniem wpływu warunków ruchu na wartość współczynników przeliczeniowych nie były prowadzone dla skrzyżowań typu rondo, a dla innych elementów sieci takich jak odcinki międzywęzłowe [3, 15], skrzyżowania z sygnalizacją świetlną [2], czy obszary sieci drogowo – ulicznych [11].

3. POLIGON BADAWCZY ORAZ PRZYJĘTA METODYKA BADAŃ

Badania ruchu przeprowadzono na 22 małych i średnich rondach trzy i czterowlotowych, jednopasowych zlokalizowanych w południowej części Polski. Średnica zewnętrzna rond wahała się od 25.00 m do 52.00 m. Ruch charakteryzował się natężeniem od 80 do niespełna 1280 P/h. W potokach odnotowano od 0.2 do 21 % pojazdów ciężarowych. Szczegółową charakterystykę poligonu badawczego przedstawiono w tablicy 1.

Tab. 1. Charakterystyka poligonu badawczego

L p.	Nazwa ronda	Liczba wlotów	Nazwy krzyżujących się ulic	Charakterystyka otoczenia	Zewn. średnica ronda D_z [m]
1	Rondo w Tarnowskich Górach	3	Bytomska (2 wloty), Legionów (1 wlot)	obrzeże obszaru zabudowanego	34.00
2	Rondo w Bytomiu-Radzionkowie	3	Nałkowskiej, Sikorskiego, Kuźaja	obrzeże zwartej zabudowy	25.00
3	Rondo w Tychach I	4	Al. Bielska, Jana Pawła II, Żwakowska	obszar zabudowany	30.00
4	Małe rondo w Tychach II	4	Dmowskiego (2 wloty), Piłsudskiego (2 wloty)	obszar zabudowany	31.00
5	Małe rondo w Tychach III	4	Dmowskiego (1 wlot), Jana Pawła II (2 wloty), Grota – Roweckiego (1 wlot)	obszar zabudowany	39.00
6	Małe rondo w Tychach IV	4	Jaśkowicka (1 wlot), Piłsudskiego (1 wlot), Bielska (2 wloty)	obszar zabudowany	38.00
7	Średnie rondo w Tychach V	4	Piłsudskiego (2 wloty), Armii Krajowej (2 wloty)	obszar zabudowany	52.00
8	Rondo w Tychach VI	4	Jana Pawła II, Wyszyńskiego, Armii Krajowej	obszar zabudowany	40.00
9	Rondo Strefowe w Tychach VII	3	przy ulicy Towarowej	obrzeża obszaru zabudowanego przy wjeździe do	47.00

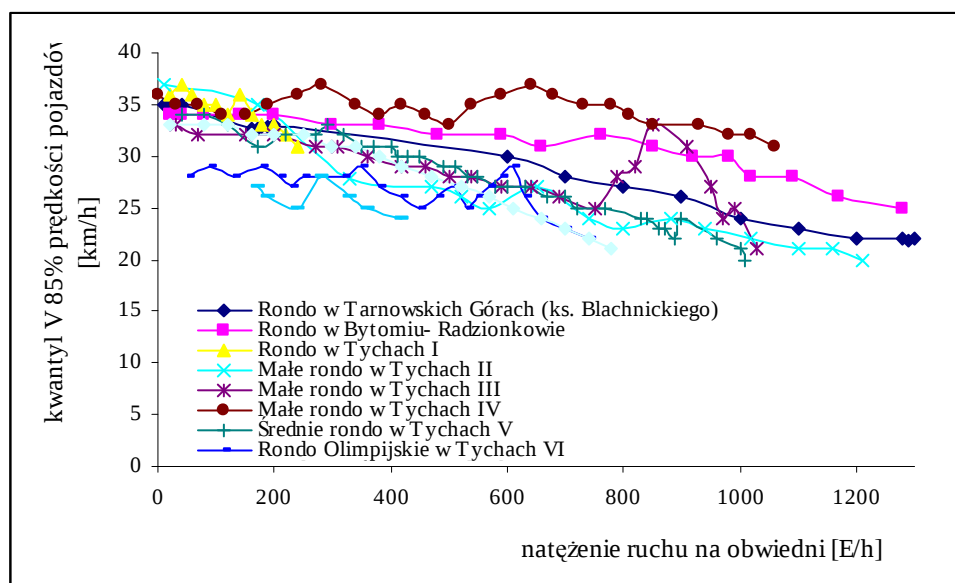
				strefy przemysłowej	
10	Rondo w Mysłowicach	3	Orląt Lwowskich, Wojska Polskiego	obszar zabudowany	32.00
11	Rondo w Świerklańcu	4	Tarnogórska, Radzionkowska	obrzeże obszaru zabudowanego	34.00
12	Rondo w Siemianowicach I	4	Świerczewskiego, Michałkowicka, Parkowa	teren zabudowany	43.00
13	Rondo w Siemianowicach II	4	Świerczewskiego, Powstańców, 1 Maja, 27 Stycznia	teren zabudowany	31.00
14	Małe rondo w Rudzie Śl. I	3	1 Maja (2 wloty), Kłodnicka (1 wlot)	centrum dzielnicy Rudy Śl. – Halemba	40.00
15	Małe rondo w Rudzie Śl. II	4	Główna (1 wlot), 1 Maja (2 wloty), Obrońców Westerplatte	centrum dzielnicy Rudy Śl. – Wirek	31.00
16	Rondo Górników w Rudzie Śl. III	4	Niedurnego, Odrodzenia, Obrońców Westerplatte	teren zabudowany	41.00
17	Rondo Powstańców Śląskich w Rudzie Śl. IV	4	Odrodzenia, Katowicka, Stalmacha	obszar zabudowany - dzielnica handlowa	44.00
18	Małe rondo w Rybniku I	4	Chwałowicka (2 wloty), Obwiednia (1 wlot), 3 Maja	obszar zabudowany	45.00
19	Małe rondo w Rybniku II	4	Zebrzydowska (2 wloty), Kotucza (2 wloty)	obszar zabudowany	41.00
20	Małe rondo w Rybniku III	4	Gliwicka (2 wloty) z dwoma nieopisanymi wlotami	poza obszarem zabudowanym, na trasie nr 78 prowadzącej do Gliwic	38.00
21	Rondo w Sosnowcu I	3	Orląt Lwowskich, Powstańców	obszar zabudowany	35.00
22	Rondo w Sosnowcu II	3	Orląt Lwowskich, Wojska Polskiego	obszar zabudowany	35.00

Źródło: opracowanie własne

Wartości współczynników przeliczeniowych każdorazowo ustalano porównując wartości średnich odstępów czasu między pojazdami w dwóch potokach (w potoku jednorodnym składającym się tylko z samochodów osobowych i w potoku mieszanym, w którym poza samochodami osobowymi występowały w ustalonych sekwencjach pojazdy ciężkie) przy jednakowym poziomie warunków ruchu. Pomiary powyższych cech wykonywano kamerą cyfrową. Liczebności prób do analiz dobierano ze wzoru Lapunowa przy założeniu poziomu istotności $\alpha = 0.05$.

4. WPŁYW WYBRANYCH CECH RUCHOWYCH NA WARTOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA EKWIWALENTNEGO

W dalszym etapie zbadano wpływ natężenia ruchu na rondzie na prędkość przejazdu zarówno w jednorodnym jak i mieszanym pod względem składu potoku ruchu (rys. 1, 2). Na podstawie rys. 1 i 2 można stwierdzić, że prędkość maleje wraz ze wzrostem natężenia ruchu na obwodni oraz prędkość podczas przejazdu samochodów osobowych po obwodni ronda jest nieco wyższa (średnio 4.70 km/h) niż samochodów ciężarowych w tych samych klasach natężeń ruchu.

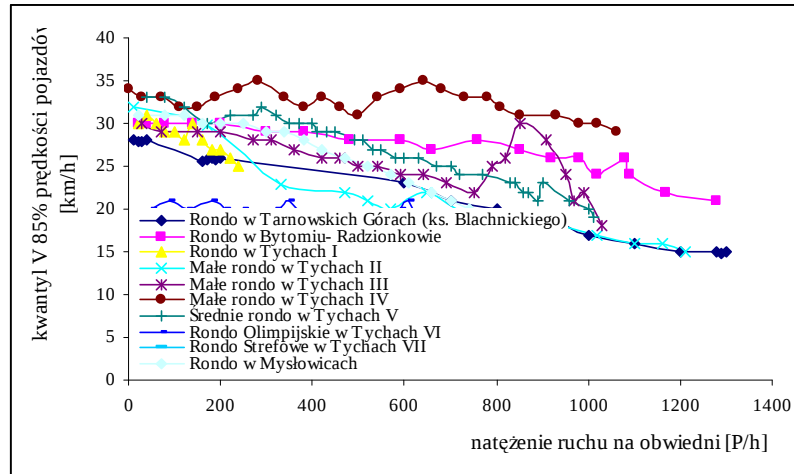


Rys. 1. Zależność kwantyla V_{85} % prędkości samochodów osobowych [km/h] od natężenia ruchu na obwodni ronda [E/h]

Źródło: opracowanie własne

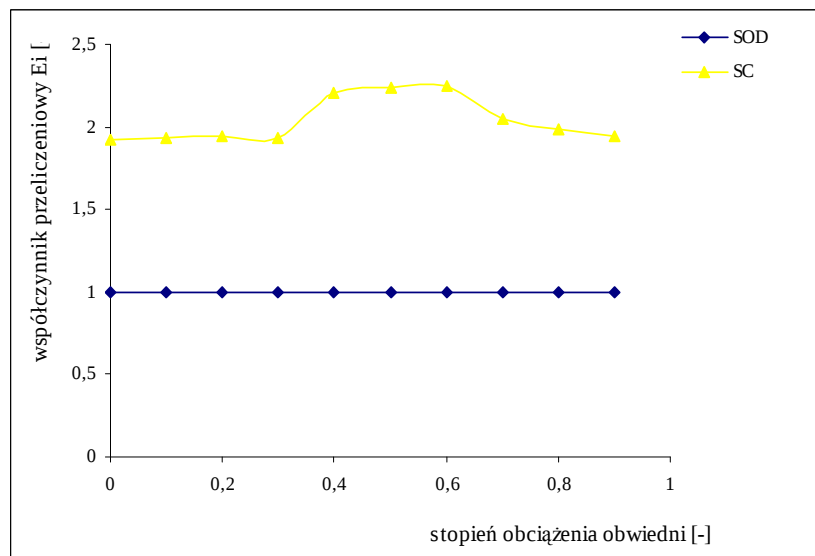
W celu zbadania, czy natężenie ruchu wpływa na wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich, w poszczególnych klasach natężeń ruchu o rozpiętości 100 P/h (w zakresie od 0 ÷ 1300 P/h) kolejno wyznaczano wartości współczynnika przeliczeniowego dla samochodów ciężarowych. Dla różnych wartości

stopnia obciążenia oszacowano wartości współczynnika przeliczeniowego dla samochodów ciężarowych (rys. 3). Na podstawie rys. 3 można stwierdzić, że wartość współczynnika



Rys. 2. Zależność kwantyla V_{85} % prędkości samochodów ciężarowych [km/h] od natężenia ruchu na obwodni ronda [P/h]

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Wpływ stopnia obciążenia ($X = Q/C$ [-]) na wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich na skrzyżowaniach typu rondo

Źródło: opracowanie własne

przeliczeniowego zależy od stopnia obciążenia obwodni ronda. Stąd uzyskane wartości współczynników zależą od warunków w jakich prowadzone były pomiary ruchu.

Przedstawione wyniki mają jedynie charakter orientacyjny. W celu sprecyzowania zależności wartości współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich od warunków drogowo-ruchowych istnieje potrzeba dalszych szeroko zakrojonych badań. Badania należy także ukierunkować na uszczegółowienie grup rodzajowych wśród pojazdów ciężkich.

Wzrost różnicy prędkości pomiędzy samochodami osobowymi a pojazdami ciężkimi podczas przejazdu przez rondo wpływa na wzrost różnicy w odstępach czasu pomiędzy tymi pojazdami, co z kolei powoduje większe wartości współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich. Można zaobserwować pewien wzrost wartości współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich wraz ze wzrostem natężenia ruchu na rondzie (przy stopniu obciążenia wynoszącym $0.4 \div 0.9$ [-]). W takich warunkach wartość współczynnika dla pojazdów ciężkich $E_{SC} = 1.92$ [-] rośnie maksymalnie do wartości $E_{SC} = 2.25$ [-]. Z kolei przy bardzo wysokich wartościach natężenia ruchu wartość ta ulega obniżeniu (tablica 2).

Tab. 2. Zmiany wartości współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich w zależności od stopnia obciążenia obwiedni ronda

$X (= Q/C) [-]$	$E_{SC} [-]$
0	1.92
0.1	1.93
0.2	1.94
0.3	1.93
0.4	2.21
0.5	2.24
0.6	2.25
0.7	2.05
0.8	1.99
0.9	1.94

Źródło: opracowanie własne

5. WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PRZELICZENIOWEGO W WYBRANYCH WYTYCZNYCH

Wyniki zaprezentowanych – wstępnych – badań własnych wskazują, że wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich w zależności od stopnia obciążenia przekroju waha się w zakresie $1.92 \div 2.25$ [-].

W polskiej Metodzie obliczania przepustowości rond [17, str. 32], pojazdy ciężkie podzielone zostały na dwie podgrupy: samochody ciężarowe i autobusy, dla których $E_{SC,A} = 1.7$ [-] oraz samochody ciężarowe z przyczepami i autobusy przegubowe dla których $E_{SCP, AP} = 2.5$ [-]. Otrzymane wyniki z badań własnych mieszczą się w podanym zakresie.

W najnowszej amerykańskiej metodzie HCM 2000 (Highway Capacity Manual) [7], wyróżnione są następujące grupy rodzajowe pojazdów: samochody ciężarowe, autobusy,

pojazdy rekreacyjne (w porównaniu z polskimi wytycznymi nie ma grupy: motocykle/rowery). Wartości współczynników nie są uzależnione od stopnia obciążenia przekroju. Wartość współczynnika dla samochodów ciężarowych jest stała i wynosi $E_{SC} = 1.7 [-]$.

Według holenderskich wytycznych projektowania rond [18] pojazdy ciężkie podzielono na dwie podgrupy: samochody ciężarowe o długości do 12.0 m dla których $E_{SC} = 1.9 [-]$, oraz samochody ciężarowe z przyczepami dla których $E_{SCP} = 2.4 [-]$.

W niemieckich wytycznych projektowania HBS 2001 [6, str. 7-13], na cele prowadzenia analiz przepustowości rond podane zostały stałe wartości współczynników dla wyróżnionych sześciu grup rodzajowych pojazdów, w tym pojazdy ciężkie sklasyfikowano w trzech podgrupach. W wytycznych HBS współczynniki przyjmują stałe wartości.

6. WNIOSKI

Przeprowadzone w artykule rozważania i analizy pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Przedstawione w artykule wyniki mają charakter orientacyjny. Ustalenie wiążących zależności nastąpi po wykonaniu znacznie większej liczby badań na skrzyżowaniach typu rondo w różnych regionach Polski. Jednak na tym etapie badań można sformułować bardzo ważny wniosek. Jak dotąd w obowiązujących metodach obliczania przepustowości skrzyżowań w Polsce jak i w praktyce projektowej, wartości współczynników przeliczeniowych dla wyróżnionych grup rodzajowych pojazdów przyjmują stałe wartości. Stan faktyczny wskazuje jednak na potrzebę traktowania współczynników przeliczeniowych jako zmiennych zależnych co najmniej od stopnia obciążenia przekroju.
- Zmiany w wartości natężenia ruchu na rondzie wpływają na wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich. Współczynnik przeliczeniowy przyjmuje wyższe wartości wraz ze wzrostem natężenia ruchu. Wartość współczynnika stabilizuje się przy dużym obciążeniu obwiedni. Wyniki obecnych – wstępnych – badań wskazują, że wartość współczynnika przeliczeniowego dla pojazdów ciężkich w zależności od stopnia obciążenia przekroju waha się w zakresie $1.92 \div 2.25 [-]$.
- Cechy geometryczne ronda także determinują w pewnym stopniu prędkość podczas przejazdu przez rondo. Wpływ mają też jednak inne nie analizowane w tej pracy czynniki jak również nałożenie się kilku różnych cech determinujących.
- Aktualnie pod kierownictwem autorki prowadzone są prace mające na celu zróżnicowanie parku samochodowego pojazdów ciężkich i analizę ich wpływu na warunki ruchu na rondach (w tym ustalenie wartości współczynników przeliczeniowych dla wyróżnionych grup rodzajowych pojazdów). Tego samego typu badania mające na celu ustalenie wartości współczynników przeliczeniowych prowadzone są dla pojazdów jednośladowych (rowerów i motocykli).

7. 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] Brooks R.: *Influence of roadway width and volume to capacity ratio on PCU values*. Transport Problems (w druku w Transport Problems 2010).
- [4] Chodur J.: *Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej. Instrukcja obliczania*. GDDKiA. Warszawa 2004.
- [5] 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.
- [6] HBS 2001. Niemieckie Wytyczne Projektowania 2001.
- [7] *Highway Capacity Manual 2000*. TRB, National Research Council, Washington, 2000.
- [8] Ingle A., Rahka H., Kyoung A.: *Development of Passenger Car Equivalents for Basic Freeway Segments*. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia 2004.
- [9] Kaishy A., Jung Y., Rakha Y.: *Developing Passenger Car Equivalency Factors for Heavy Vehicles during Congestion*. Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 131, No. 7, 2005, pp. 514-523.
- [10] Keller E., James G.: *Passenger Car Equivalents from Network Simulation*. Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 4, 1984, pp.397 - 409.
- [11] Logghe S., Immers B.: *Heterogeneous Traffic Flow Modelling with the LWR Model Using Passenger Car Equivalents*. Transport & Mobility Leuven, Belgium.
- [12] Macioszek E.: *Wybrane algorytmy obliczania współczynników ekwiwalentnych dla pojazdów ciężkich*. Czasopismo „Logistyka” 2/2010, str. 745-756.
- [13] Macioszek E.: *The passenger car equivalent factor for heavy vehicles on roundabouts*. Rozdział w monografii pt.: Contemporary Transportation Systems. Selected Theoretical and practical Problems. The Development of Transportation Systems. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010, str. 127 - 137.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Thamizh A., Krishnamurthy K.: *Study of the Effect of Traffic Volume and Road Width on PCU Value of Vehicles Using Microscopic Simulation*. Journal of the Indian Roads Congress. Vol. 69-2, 2008, pp. 130-150.
- [17] Tracz M. z zespołem: *Metoda obliczania przepustowości rond. Instrukcja obliczania*. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Warszawa 2004.
- [18] Verweij C. A., Boender J., Coopmans J. P. G., van der Drift M. J. M., Fortuijn L. G. H., Overkamp D. P., van Vliet P., van der Wijk W.: *Roundabouts - Application and design. A practical manual*. Ministry of Transport, Public Works and Water management. Partners for Road, June 2009. B5381-01.001.
- [19] 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.