

Elżbieta MACIOSZEK

## WERYFIKACJA METODY OBLICZANIA PRZEPUSTOWOŚCI MAŁYCH ROND

**Streszczenie.** W artykule zaproponowano nowy algorytm służący do obliczania przepustowości małych rond. Jest to weryfikacja metody podawanej w instrukcji projektowania wzbogacona o uwzględnienie w obliczeniach potoku wykonującego manewr zawracania na rondzie oraz uwzględnienie zasady ograniczonego zaufania kierowców do innych użytkowników dróg na wlotach podporządkowanych małego ronda. Wprowadzone zmiany do metody są wynikiem przeprowadzonych badań.

## VERIFICATION OF THE METHOD OF CALCULATING THE CAPACITY OF SMALL ROUNDABOUTS

**Summary.** In the article the new algorithm for calculating the capacity of small roundabouts has been introduced to. It is then a verification of the method passed in the Design Instruction enriched by considering in calculations the U-turns as well as a rule of limited confidence of the drivers at the minor inlets of the small roundabouts. Changes introduced to the method are the result of conducted investigations.

### 1. METODA OBLICZANIA PRZEPUSTOWOŚCI ROND WEDŁUG [1], [2]

W procedurze obliczania przepustowości nie stosuje się już teorii przeplatania. Rondo jest traktowane jako ciąg skrzyżowań typu „T” z pierwszeństwem przejazdu, dla których drogą główną jest jednokierunkowa jezdnia ronda [1]. Zalecana przez GDDP szczegółowa metoda podana jest w instrukcji projektowania małych rond z 1996 r. [1], uzupełniona o zmiany wprowadzone do metody w 2001 r. i wydana pod nazwą Instrukcja projektowania skrzyżowań drogowych część II, dotycząca rond [2]. W związku z rozbudowanym algorytmem obowiązującej metody obliczania przepustowości w artykule przedstawiono tylko tę część, którą zmieniono po przeprowadzonych badaniach ruchu na małych rondach. W celu poznania pełnej wersji metody zaleca się literaturę [1], [2].

#### 1.1. Przepustowość wlotu ronda

- Przepustowość wlotu  $C_{wl}$  oblicza się ze wzoru:

$$C_{wl} = C_{swl} + \alpha + \beta_{wl} \quad \text{dla } C_{wl} \geq 0 \quad [E/h] \quad (1)$$

$$C_{wl} = 0 \quad \text{dla } C_{wl} < 0 \quad [E/h], \quad (2)$$

gdzie:

$C_{wl}$  - przepustowość wlotu wł [E/h],

$C_{owl}$  - wyjściowa przepustowość wlotu wł [E/h],

$\alpha$  - poprawka zależna od zewnętrznej średnicy ronda i liczby wlotów,

$\beta_{wl}$  - poprawka zależna od odległości  $b_{wl}$  pomiędzy punktami kolizji na wlocie wł.

- Wyjściową przepustowość wlotu  $C_{owl}$  oblicza się ze wzoru:

$$C_{owl} = 1550 \cdot \exp(-0,00084 \cdot \frac{Q_{Rwl}}{LP_{Rwl}}) + 208 \cdot LP_{wl} + 48 \cdot LP_{Rwl}, \quad (3)$$

gdzie:

$Q_{Rwl}$  - natężenie ruchu na jezdni ronda przy wlocie wł [E/h],

$LP_{wl}$  - liczba pasów ruchu na wlocie wł,

$LP_{Rwl}$  - liczba pasów ruchu na jezdni ronda przy wlocie wł. (Nowa metoda przedstawiona w punkcie 3 proponuje inny sposób obliczania natężenia ruchu na jezdni ronda przy wlocie wł, w stosunku do tutaj podawanego).

- Poprawkę  $\alpha$  oblicza się ze wzoru:

$$\alpha = 60 \cdot D_{ZN} - 7,38 \cdot D_{ZN}^2 + 0,152 \cdot D_{ZN}^3, \quad (4)$$

gdzie:

$$D_{ZN} = \frac{D_Z}{N}, \quad (5)$$

$D_Z$  - średnica zewnętrzna ronda w [m],  $N$  - liczba wlotów na rondzie ( $N = 3 \div 6$ ).

- Poprawkę  $\beta_{wl}$  oblicza się ze wzoru:

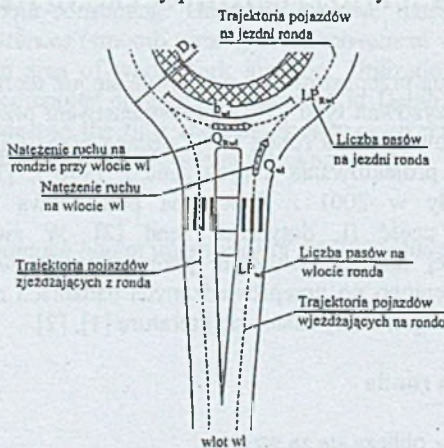
$$\beta_{wl} = -99,2 \cdot b_{wl} + 4,37 \cdot b_{wl}^2 - 0,0477 \cdot b_{wl}^3, \quad (6)$$

gdzie:  $b_{wl}$  - odległość pomiędzy punktami kolizji dla potoków wjeżdżającego i wyjeżdżającego z wlotu wł z potokiem ruchu na jezdni ronda [m].

Przy większej liczbie pasów ruchu należy przyjąć minimalną wartość odległości pomiędzy punktami kolizji. Wartość ta jest mierzona lub obliczana ze wzoru:

$$b_{wl} = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ} \text{ [m]} \quad (7)$$

Parametry stosowane we wzorach zostały przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Ilustracja geometrycznych parametrów ronda wg [1]

Fig. 1. Scheme of geometric parameters of roundabout, according to [1]

## 2. PRZEPROWADZONE BADANIA I POMIARY

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji i pomiarów akceptowanych przez kierowców na wlotach podporządkowanych odstępów czasu niezbędnych do wykonania manewru wjazdu na jezdnię wokół wyspy centralnej małego ronda dodatkowo zaobserwowano, że kierowcy na wlotach podporządkowanych stosują zasadę ograniczonego zaufania do innych użytkowników ronda. Otrzymane wyniki akceptowanych przez kierowców odstępów czasu przedstawiono w [4].

W związku z powyższym przeprowadzono pomiary natężeń ruchu na małych rondach (zobacz tabl. 1) oraz stwierdzono, że średnio czterech kierowców na dziesięciu stosuje zasadę ograniczonego zaufania do innych użytkowników dróg. Zatem do metody wprowadzono tzw. „współczynnik ufności”, uwzględniający zasadę ograniczonego zaufania kierowców, który podczas pomiarów przyjmował wartości podane w tabl. 1.

Tablica 1

Wyniki pomiarów liczby kierowców na wlotach małych rond stosujących zasadę ograniczonego zaufania do innych użytkowników dróg

Lp.	Małe rondo ulic:	Q [P/h]	Q1/Z1 [-]	Q2/Z2 [-]	Q3/Z3 [-]	Q4/Z4 [-]	Wartość średnia Qi/Zi [-]
1.	Parkowa, Świerczewskiego, Michałkowicka w Siemianowicach Śl.	1961	0,29	0,46	0,42	0,45	0,41
2.	Artura, Nałkowskiej, Kuźaja, Sikorskiego w Radzionkowie	2154	0,36	0,28	0,42	0,39	0,36
3.	rondo w Świerklańcu	2936	0,41	0,50	0,59	0,46	0,49
4.	Bytomska, Wyszynskiego, Miarki, Bytomska w Piekarach Śl.	1325	0,56	0,23	0,27	0,24	0,33
5.	rondo w Piekarach Śląskich	1148	0,48	0,50	0,36	0,42	0,44
6.	rondo w Czeladzi	982	0,42	0,31	0,39	0,27	0,35
Wartość średnia ogólna:							0,40
gdzie:							
Q - natężenie w [P/h] na małym rondzie w okresie 1 godziny,							
Qi/Zi - stosunek liczby pojazdów stosujących zasadę ograniczonego zaufania kierowców na wlocie „i” do ogólnej liczby pojazdów na wlocie „i”.							

Zródło: Opracowanie własne.

## 3. NOWE ELEMENTY WPROWADZONE W METODZIE OBLICZANIA PRZEPUSTOWOŚCI MAŁYCH ROND

W stosunku do metody obliczania przepustowości podanej w Instrukcji projektowania małych rond [1] oraz w [2] wprowadzono następujące zmiany:

- w obliczeniach przepustowości uwzględniono manewr zawracania na rondzie,
- podczas ustalania natężeń pojazdów relacji nadrzędnych poruszających się po jezdni wokół wyspy centralnej i mających pierwszeństwo przed pojazdami na wlotach podporządkowanych małego ronda uwzględniono zasadę ograniczonego zaufania kierowców.

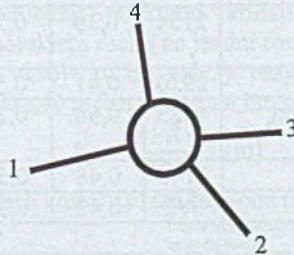
Natężenie relacji nadrzędnych dla danej relacji podporządkowanej jest to suma natężeń ruchu wszystkich relacji mających pierwszeństwo i równocześnie kolidujących z tą relacją podporządkowaną, bądź relacji wyraźnie oddziałujących na reakcje kierujących pojazdami relacji podporządkowanej [5].

Przyjęto, że relacja z jezdni wokół wyspy centralnej wykonująca manewr zjazdu na obrany wylot, pomimo że nie koliduje z pojazdami wyjeżdżającymi z tego samego wlotu ronda na jezdnię wokół wyspy centralnej, jest częściowo uwzględniana przy obliczaniu natężenia relacji nadrzędnych dla relacji z tego wlotu. Powodem tego są:

- ograniczone zaufanie kierowców z wlotu podporządkowanego do sygnalizowania kierunkowskazem zamiaru wykonania manewru skrętu w prawo przez pojazdy na jezdni ronda,
- częste przypadki zbyt późnego włączania kierunkowskazu przez pojazd z drogi na jezdnię wokół wyspy centralnej,
- w rzeczywistości na niektórych małych rondach można zaobserwować, że kąt zawarty pomiędzy dwoma sąsiednimi wlotami doprowadzającymi ruch do ronda jest różny od  $90^\circ$ .

Gdy kąt jest mniejszy od  $90^\circ$ , to dwa sąsiednie wloty są bardzo blisko siebie. Sytuację taką schematycznie przedstawiono na rys. 2. Wloty numer 2 i 3 są położone blisko siebie, co może doprowadzić do niezrozumiałego dla wszystkich uczestników ruchu stosowania kierunkowskazów w tym obszarze skrzyżowania.

Natężenia ruchu na jezdni ronda przy danym wlocie są określane w pojazdach ekwiwalentnych na godzinę [E/h]. Nową zasadę obliczania natężenia na jezdni ronda przy danym wlocie podano na przykładzie obliczeniowym. Zasadę tę stosować można dla rond od  $3 \div 6$  wlotów.

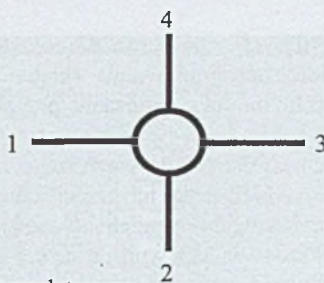


Rys. 2. Schematyczne przedstawienie jednej z możliwości doprowadzenia dróg do ronda w przypadku, gdy kąt zawarty pomiędzy dwoma sąsiednimi wlotami doprowadzającymi ruch do ronda jest różny od  $90^\circ$

Fig. 2. Schematic representation of one of possibilities to lead the approaches to the roundabout in case when the angle between two neighboring inlets is different than  $90^\circ$

#### 4. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Dla małych rond zaproponowano nową zasadę obliczania natężeń ruchu na jezdni ronda wokół wyspy centralnej zilustrowaną na poniższym przykładzie czterowlotowego małego ronda w kształcie koła, jednopasowych wlotach i jednopasowej jezdni wokół wyspy centralnej (rys. 3).



Rys. 3. Schemat małego ronda czterowlotowego

Fig. 3. Scheme of the small four-inlet roundabout

Natężenia ruchu na jezdni ronda przy wlotach (według aktualnie obowiązującej metody):

$$\text{przy wlocie 1: } Q_{R1} = Q_3 \cdot u_{3 \rightarrow 2} + Q_4 \cdot (u_{4 \rightarrow 2} + u_{4 \rightarrow 3}) \quad (8)$$

$$\text{przy wlocie 2: } Q_{R2} = Q_4 \cdot u_{4 \rightarrow 3} + Q_1 \cdot (u_{1 \rightarrow 3} + u_{1 \rightarrow 4}) \quad (9)$$

$$\text{przy wlocie 3: } Q_{R3} = Q_1 \cdot u_{1 \rightarrow 4} + Q_2 \cdot (u_{2 \rightarrow 4} + u_{2 \rightarrow 1}) \quad (10)$$

$$\text{przy wlocie 4: } Q_{R4} = Q_2 \cdot u_{2 \rightarrow 1} + Q_3 \cdot (u_{3 \rightarrow 1} + u_{3 \rightarrow 2}), \quad (11)$$

gdzie:

$Q_{Rwl}$  - natężenie ruchu na jezdni ronda przy wlocie  $wl$ ,

$Q_{wl}$  - natężenie ruchu na wlocie  $wl$ ,

$u_{i \rightarrow j}$  - udział procentowy potoku z wlotu  $i$  do wlotu  $j$ .

Natężenia ruchu na jezdni ronda przy wlotach (według nowo zaproponowanej zasady):

$$Q_{R1} = Q_1 \cdot (f_u \cdot u_{1 \rightarrow 1}) + Q_2 \cdot (f_u \cdot u_{2 \rightarrow 1} + u_{2 \rightarrow 2}) + Q_3 \cdot (f_u \cdot u_{3 \rightarrow 1} + u_{3 \rightarrow 2} + u_{3 \rightarrow 3}) + Q_4 \cdot (f_u \cdot u_{4 \rightarrow 1} + u_{4 \rightarrow 2} + u_{4 \rightarrow 3} + u_{4 \rightarrow 4}) \quad [E/h] \quad (12)$$

$$Q_{R2} = Q_2 \cdot (f_u \cdot u_{2 \rightarrow 2}) + Q_3 \cdot (f_u \cdot u_{3 \rightarrow 2} + u_{3 \rightarrow 3}) + Q_4 \cdot (f_u \cdot u_{4 \rightarrow 2} + u_{4 \rightarrow 3} + u_{4 \rightarrow 4}) + Q_1 \cdot (f_u \cdot u_{1 \rightarrow 2} + u_{1 \rightarrow 3} + u_{1 \rightarrow 4} + u_{1 \rightarrow 1}) \quad [E/h] \quad (13)$$

$$Q_{R3} = Q_3 \cdot (f_u \cdot u_{3 \rightarrow 3}) + Q_4 \cdot (f_u \cdot u_{4 \rightarrow 3} + u_{4 \rightarrow 4}) + Q_1 \cdot (f_u \cdot u_{1 \rightarrow 3} + u_{1 \rightarrow 4} + u_{1 \rightarrow 1}) + Q_2 \cdot (f_u \cdot u_{2 \rightarrow 3} + u_{2 \rightarrow 4} + u_{2 \rightarrow 1} + u_{2 \rightarrow 2}) \quad [E/h] \quad (14)$$

$$Q_{R4} = Q_4 \cdot (f_u \cdot u_{4 \rightarrow 4}) + Q_1 \cdot (f_u \cdot u_{1 \rightarrow 4} + u_{1 \rightarrow 1}) + Q_2 \cdot (f_u \cdot u_{2 \rightarrow 4} + u_{2 \rightarrow 1} + u_{2 \rightarrow 2}) + Q_3 \cdot (f_u \cdot u_{3 \rightarrow 4} + u_{3 \rightarrow 1} + u_{3 \rightarrow 2} + u_{3 \rightarrow 3}) \quad [E/h], \quad (15)$$

gdzie:

$f_u$  - współczynnik ufności (uwzględniający zasadę ograniczonego zaufania kierowców), przyjmujący w programie opcjonalne wartości: 0, 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50,

dla  $i = k$  symbol  $u_{i \rightarrow k}$  oznacza udział potoku zawracającego na wlocie.

Powyższe wzory będą ulegały zmianie w zależności od liczby uwzględnianych współczynników korygujących (uwzględnienie współczynnika  $f_u$ , czy manewru zawracania) oraz liczby wlotów.

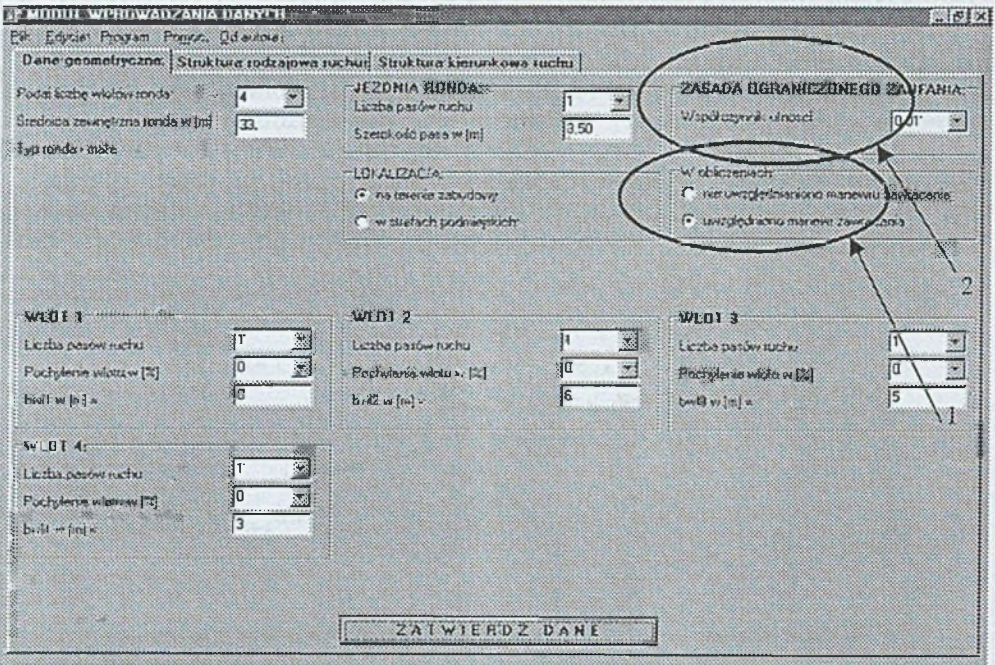
## 5. PROGRAM KOMPUTEROWY OBLICZAJĄCY PRZEPUSTOWOŚĆ MAŁYCH ROND

W celu szybkiego dokonywania obliczeń przepustowości małych rond zbudowano odpowiednią aplikację komputerową. Program na podstawie wytycznych i zaleceń zawartych

w Instrukcji projektowania małych rond oraz wprowadzonych zmian opisanych powyżej oblicza przepustowość. Całość oprogramowania składa się z trzech głównych modułów: modułu wprowadzania danych, modułu obliczania przepustowości oraz modułu symulacji ruchu na małym rondzie.

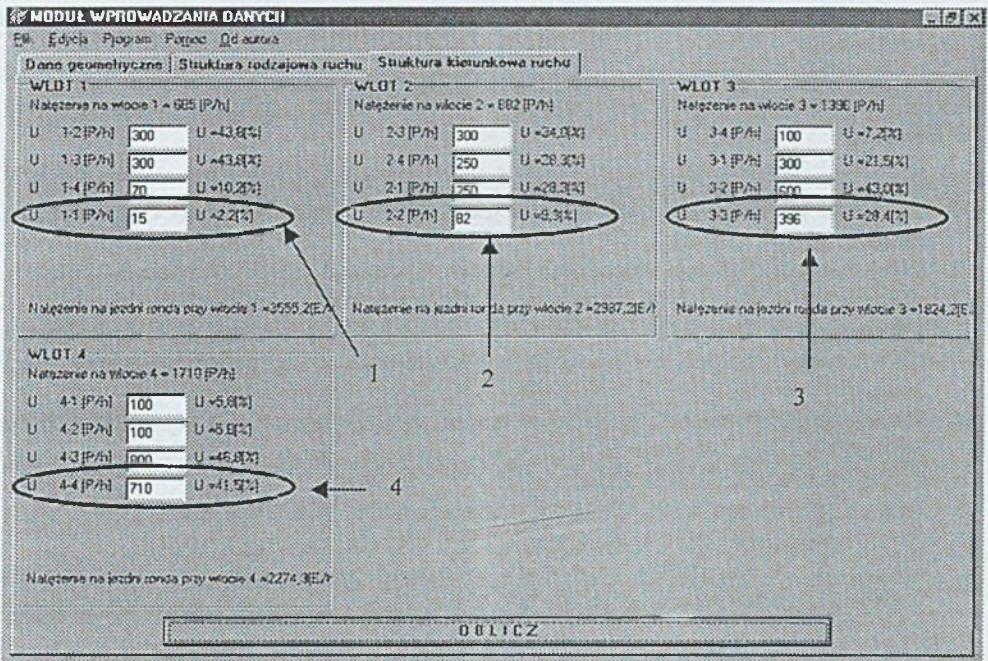
Po wprowadzeniu niezbędnych danych do pierwszego z modułów (modułu wprowadzania danych) można alternatywnie wybrać drugi lub trzeci moduł. Struktura programu oparta jest na zakładkach, które należy kolejno uzupełniać podając odpowiednie, wymagane do wprowadzenia wartości. Większość danych wpisuje się dla każdego wlotu oddzielnie.

W programie istnieje możliwość zarówno uwzględniania, jak i nieuwzględniania manewru zawracania (rys. 4 i 5) oraz uwzględniania lub nieuwzględniania zasady ograniczonego zaufania kierowców na wlotach podporządkowanych (opcje do wyboru), co pozwala na obliczanie przepustowości małych rond dwoma sposobami, pierwszym proponowanym przez Instrukcję oraz sposobem zaproponowanym w tym artykule (rys. 4).



Rys. 4. Okno „Dane geometryczne” w module wprowadzania danych programu, w którym wybrano uwzględnienie w obliczeniach manewru zawracania na rondzie (na rysunku zaznaczono jako numer 1) oraz uwzględniono zasadę ograniczonego zaufania kierowców (na rysunku zaznaczono jako numer 2)

Fig. 4. "Geometric Data" screen in the module of entering program data in which considering the U-turns at the roundabout (marked as number 1) as well as a rule of limited confidence of the drivers (marked as number 2) is chosen



Rys. 5. Okno „Struktura kierunkowa ruchu” w module wprowadzania danych programu, w którym widoczny jest udział relacji wykonującej manewr zawracania na każdym z wlotów (na rysunku zaznaczono odpowiednio: zawracanie na wlocie 1 jako 1, zawracanie na wlocie 2 jako 2, zawracanie na wlocie 3 jako 3, zawracanie na wlocie 4 jako 4)

Fig. 5. "Direction traffic structure" screen in the module of entering program data that shows participation of U-turn relations on each inlet (on the picture marked respectively as: 1 for the U-turns on the inlet 1, 2 for the U-turns on the inlet 2, 3 for the U-turns on the inlet 3, 4 for the U-turns on the inlet 4)

## 6. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono nową wersję obliczania przepustowości uwzględniającą manewr zawracania oraz zasadę ograniczonego zaufania kierowców na wlotach podporządkowanych.

Na podstawie utworzonego algorytmu zmodyfikowano program komputerowy, który dotychczas obliczał przepustowość małych rond, nie uwzględniając manewru zawracania oraz zasady ograniczonego zaufania kierowców. Wprowadzone zmiany do metody poparto badaniami. Moduł obliczania przepustowości pozwala na wyznaczenie przepustowości małych rond dla zadanych natężeń na wlotach, określenie warunków ruchu na małych rondach, określenie średnich strat czasu ponoszonych przez pojazdy na wlotach oraz rejestrację otrzymanych wyników.

Weryfikacja metody obliczania przepustowości małych rond poprzez wprowadzenie zmian do obecnie obowiązującej metody jest jednym z etapów pracy doktorskiej. W przyszłości planowane jest dokonanie oceny przepustowości małego ronda na podstawie modelu symulacyjnego oraz badań rzeczywistego ruchu. Ponieważ przepustowość małych rond zwiększa dopuszczalne przeprowadzenie relacji w prawo poza jezdnią ronda, planowana jest dalsza rozbudowa algorytmu poprzez uwzględnienie w obliczeniach przepustowości potoków

ruchu poruszających się po wydzielonych poza jezdnią ronda pasach ruchu dla relacji prawoskrętnej.

## Literatura

1. Instrukcja projektowania małych rond. Załącznik do zarządzenia, nr 4 z 1996 GDDP 29.02.1996.
2. Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych, część II. GDDP, Warszawa 2001.
3. Kaczmarek, Walkowiak M.: Adaptacyjne sterowanie ruchem na rondach. Materiały z IV Konferencji naukowo - technicznej SITK Rzeczypospolitej Polskiej, Oddział w Poznaniu nt. Problemy komunikacji miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego. Poznań 2003.
4. Macioszek E.: Reprezentacja czasu w modelu symulacyjnym ruchu pojazdów na małych rondach i jego wlotach dojazdowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 52, Gliwice 2004.
5. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. WKŁ, Warszawa, 1999.
6. Strony internetowe: <http://www.mackblackwell.org/research/finals/arc1090/>
7. Akcelik R.: A roundabout case study comparing capacity estimates from alternative analytical models. Presented at the 2<sup>nd</sup> Urban Street Symposium Anaheim, California, USA, 2003.
8. Akcelik R.: Roundabouts comments on the aaSIDRA model and the TRL (UK) linear regression model. Australia, 2004.
9. Seife, Charles: Magic Roundabouts. New Scientist, 11/08/97, Vol. 156, Issue 2107, p.5.

Recenzent: dr hab. inż. Romuald Szopa, prof. Politechniki Częstochowskiej

## Abstract

A new version of calculation of the capacity involving the U-turns as well as a rule of limited confidence of the drivers at the minor inlets have been introduced in the article.

The computer program that calculates the capacity of small traffic circles with no consideration for U-turns and a rule of limited confidence of the drivers has been modified basing on the created algorithm. Changes introduced to the method were supported by researches. The calculation module of capacity allows setting the capacity of small traffic circles for given traffic volumes on the inlets, defining the traffic conditions at the small roundabouts, defining the average losses of time for vehicles occurring on the inlets, and recording received results.

Verification of a new method calculating the capacity of the small traffic circles makes one stage of the doctor's thesis. Accomplishment the judgment of the small roundabout capacity basing on the simulating model as well as measurements the real time traffic is planned in future. Because the capacity of small traffic circles enlarge acceptable right-turn relations beyond the roundabout road, it is also planned to include in calculations the traffic flow capacity for right-turn relations on lanes isolated beyond the roundabout road.

*Praca wykonana w ramach badań własnych BW 445/RT5/2004!*