

Elżbieta DUDA¹

WSPOMAGANIE KOMPUTEROWE OBLICZANIA PRZEPUSTOWOŚCI MAŁYCH ROND

Streszczenie. W artykule przedstawiono niektóre elementy programu komputerowego, który na podstawie wytycznych i zaleceń zawartych w Instrukcji Projektowania Małych Rond wykonuje (po wprowadzeniu niezbędnych do programu danych) obliczeń przepustowości rond. Program zbudowany został za pomocą narzędzia programowania typu Delphi firmy Borland. Fundamentem Delphi jest popularny i cieszący się uznaniem użytkowników język Pascal w wersji obiektowej (Object Pascal). Przedstawiony i opisany program ma formę roboczą, nie został jeszcze do końca przetestowany. Aktualnie trwają prace nad tym programem i jest on stopniowo uzupełniany i rozbudowywany o brakujące elementy. W przyszłości planowane jest stworzenie symulacji komputerowej obrazującej zachowanie się pojazdów na małych rondach.

CAPACITY OF THE TRAFFIC CIRCLES – COMPUTER PROGRAM USED FOR CALCULATING THE CAPACITY OF THE TRAFFIC CIRCLES

Summary. The paper deals with some elements of a computer program that is still being developed. The program is based on directions included in Instruction of Projecting Small Traffic Circles, and calculates the small traffic circles capacity after inserting necessary data. The program has been built using Delphi by Borland Company. Delphi is based on Object Pascal, a very popular and well-liked object programming language. Described and presented program is still under construction and has not been yet tested. Currently some works on the program are being applied, and it is successively increased and updated by missing elements. There are plans to create a computer simulation illustrating vehicles understeering on the small traffic circles.

1. WSTĘP

Po rozpowszechnionych w XIX w. rondach o dużych średnicach początkowo poruszali się piesi i zaprzęgi konne. Ronda w tamtych czasach nie były jeszcze rondami w sensie komunikacyjnym, ich funkcje były przede wszystkim funkcjami urbanistycznymi, stanowiąc miejsca życia publicznego oraz spotkań i pogawędek. Ronda początkowo budziły zachwyt, jednak po pojawieniu się długo wyczekiwanych przez ludzkość samochodów zaczynały być zastępowane innymi rozwiązaniami drogowymi. Powodów wycofywania rond było wiele, między innymi duża powierzchnia terenu, jaką potrzeba pod ich budowę, rosnąca liczba wypadków oraz dość duża prędkość ruchu na rondzie. Obecnie od ponad dwudziestu

¹ Wydział Transportu, Politechnika Śląska, Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, eladuda@polsl.katowice.pl

lat ronda przeżywają swój renesans nie tylko w Europie, ale także w wielu miastach Polski. Prawdziwe, klasyczne ronda rzadko się już teraz projektuje, a tylko na takich występują odcinki przeplatania, które są podstawową cechą rond. Dużym powodzeniem cieszą się teraz powstające bardzo licznie małe ronda, nazywane potocznie kompaktowymi, ponieważ stanowią bezpieczne rozwiązania dla krzyżujących się potoków ruchu nie zajmując przy tym dużej powierzchni terenu.

Trend budowy małych rond można zauważyć także już w Polsce. W latach dziewięćdziesiątych (w 1996 r.) na zlecenie GDDP (Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych) Katedra Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu Politechniki Krakowskiej opracowała Instrukcję projektowania małych rond, która w kolejnych latach była sukcesywnie poprawiana. Oprócz szeregu danych niezbędnych przy planowaniu, projektowaniu, budowie i utrzymaniu tych obiektów Instrukcja proponuje też procedurę obliczania przepustowości rond na zasadzie iteracji.

Przy obliczaniu przepustowości rond (przepustowości rzeczywistej oraz przepustowości maksymalnej) uwzględniony jest fakt, że potoki ruchu na jezdni ronda wokół wyspy centralnej powstają z potoków ruchu na wlotach ronda, jak również to, że od wielkości potoku na jezdni wokół wyspy centralnej ronda zależą przepustowości wlotów ronda. Z uwagi na to „sprężenie zwrotne” w obliczeniach wykorzystuje się wspomnianą już wcześniej procedurę iteracyjną zakładając i korygując w obliczeniach wyjściową wartość natężenia ruchu na jezdni ronda.

2. PRZEPUSTOWOŚĆ ROND

W procedurze obliczania przepustowości nie stosuje się już teorii przeplatania, ale rondo jest traktowane jako ciąg skrzyżowań typu „T” z pierwszeństwem przejazdu, dla których drogą główną jest jednokierunkowa jezdnia ronda [8].

Przepustowość wlotu jest rozumiana jako maksymalna liczba samochodów osobowych (pojazdów umownych), która może wjechać z wlotu na jezdnię ronda przy występowaniu ciągłej kolejki pojazdów na wlocie, co odpowiada wykorzystaniu każdej dostępnej luki czasu w potoku ruchu na jezdni ronda. Przepustowość wlotu zależy od natężeń ruchu i struktury kierunkowej na pozostałych wlotach ronda, z których tworzy się potok nadrzędny na jezdni ronda. Na przepustowość wlotu wpływają również parametry geometryczne. Przepustowość ronda jest sumą natężeń ruchu na wlotach. Wyróżnia się następujące przepustowości ronda:

- **przepustowość rzeczywistą** wyznaczaną jako sumą natężeń ruchu na wlotach ronda przy rzeczywistej proporcji natężeń ruchu i w sytuacji, gdy natężenie ruchu na wlocie krytycznym osiągnie przepustowość tego wlotu,
- **przepustowość maksymalną** wyznaczaną jako sumą przepustowości wlotów przy optymalnej (z punktu widzenia przepustowości ronda) proporcji natężeń ruchu, przy której natężenia na wszystkich wlotach są równe przepustowości tych wlotów. W tym przypadku zakłada się, że struktura kierunkowa ruchu na wlotach pozostaje nie zmieniona [4].

3. PROGRAM WYZNACZAJĄCY PRZEPUSTOWOŚĆ ROND

Struktura programu oparta jest na tzw. „zakładkach”, które należy kolejno uzupełniać podając odpowiednie, wymagane do wprowadzenia wartości. Zakładki o podanych poniżej nazwach są ułożone w następującej kolejności:

- Dane geometryczne,
- Struktura rodzajowa ruchu,
- Struktura kierunkowa ruchu,
- Przepustowość wlotów,
- Warunki ruchu na wlocie,
- Przepustowość maksymalna,
- Przepustowość rzeczywista.

Większość danych w poszczególnych zakładkach wpisuje się dla każdego wlotu oddzielnie. Po wprowadzeniu wszystkich danych program oblicza przepustowość maksymalną oraz przepustowość rzeczywistą ronda.



Rys. 1. Główne (pierwsze, powitalne) okno programu

Fig. 1. Main screen of the program

3.1. Dane geometryczne

W tej zakładce należy wprowadzić wszystkie wartości dotyczące geometrii ronda. Są to: liczba wlotów ronda, liczba pasów ruchu na jezdni ronda wokół wyspy centralnej, średnica ronda (po podaniu wartości program wyświetla typ ronda analizując podaną wartość z wymiarami określającymi typy rond podanymi w Rozporządzeniu MTiGM z dnia 2.03.1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie), zgodnie z tablicą 1.

Dla każdego wlotu z osobna należy podać: liczbę pasów ruchu, pochylenie wlotu („+” – dla wzniesienia, „-” – dla spadku w [%]), odległość pomiędzy punktami kolizji dla potoków wjeżdżającego i wyjeżdżającego z danego wlotu z potokiem ruchu na jezdni ronda

[m] (przy większej liczbie pasów ruchu należy przyjąć minimalną wartość odległości pomiędzy punktami kolizji).

Tablica 1

Wymiary i zakres stosowania rond

Typ ronda	Średnica wyspy środkowej w [m]	Średnica zewnętrzna ronda w [m]	Zakres stosowania
Mini ¹⁾	3 – 5	mniejsza niż 22	Osiedla
Małe	10(5) – 28(33,5)	26(22) – 40(45)	Drogi klasy GP ²⁾ , G, Z i L: wloty do miast, strefy podmiejskie, osiedla miejskie, poza terenem zabudowy.
Średnie	28 – 50	41 – 65	Drogi klasy GP ²⁾ i G: poza terenem zabudowy, strefy podmiejskie, wloty do miast
Duże	większa niż 50	większa niż 65	Drogi klasy S ³⁾ , GP i G: poza terenem zabudowy

¹⁾ Wyspa środkowa przejezdna lub częściowo przejezdna,

²⁾ W uzasadnionych wypadkach na drogach jednojezdniowych,

³⁾ W uzasadnionych wypadkach na początku lub końcu drogi klasy S, (...) – oznacza wartości dopuszczalne w uzasadnionych wypadkach.

Źródło [6]

Rys. 2. Zakładka programu, którą należy uzupełnić danymi geometrycznymi (aktualnie ustawienia programu dla ronda o sześciu wlotach)

Fig. 2. Screen that is needed to be filled in by geometrical data (currently the program is set for six inlet traffic circle)

3.2. Struktura rodzajowa ruchu

Program rozróżnia 6 rodzajów pojazdów: SOD – samochody osobowe i dostawcze, SC – samochody ciężarowe, SCP – samochody ciężarowe z przyczepami, samochody ciężarowe z naczepami, A – autobusy, AP – autobusy przegubowe, R/M – rowery i motorowery, motocykle.

Po zatwierdzeniu wprowadzonych danych (wprowadzonych z rozróżnieniem struktury rodzajowej ruchu w P/h) dla każdego wlotu zostaje obliczona sumaryczna wartość natężenia panującego na wlocie, następnie wartość ta w zależności od podanego wcześniej pochylenia wlotu (zobacz tablica 2) przeliczana jest na pojazdy ekwiwalentne (w celu dostosowania ich do wymagań metody). Wartości pośrednie są interpolowane liniowo w programie co 0,5.

Tablica 2

Współczynniki przeliczeniowe na pojazdy umowne dla wyróżnionych rodzajów pojazdów

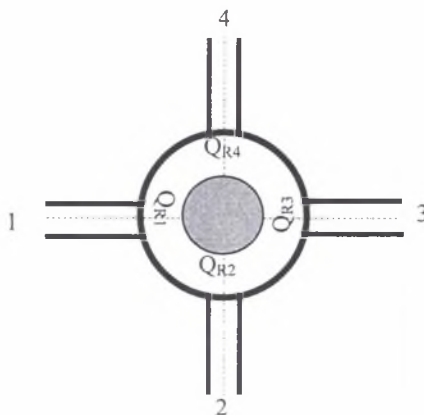
Rodzaj pojazdu	Oznaczenie	Wartość współczynnika przeliczeniowego				
		Pochylenie wlotu i [%]				
		+4%	+2%	0	-2%	-4%
Samochody osobowe, samochody dostawcze	E_{SOD}	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8
Samochody ciężarowe, autobusy	E_{SC}	3,0	2,0	1,5	1,2	1,0
Samochody ciężarowe z przyczepami, samochody ciężarowe z naczepami, autobusy przegubowe	E_{SCP}	6,0	3,0	2,0	1,5	1,2
Motocykle, rowery	$E_{M/R}$	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
Struktura typowa	E_n	1,7	1,4	1,1	1,0	0,9

Źródło: [7]

Na podstawie rzeczywistych natężeń panujących na wlotach (tzw. rzeczywistego rozkładu kierunkowego) program wyznacza procentowy udział potoku ruchu z danego wlotu w stosunku do całkowitego potoku na rondzie wpływającego z wszystkich wlotów. (Wartości proporcji natężenia ruchu między wlotami są potrzebne podczas obliczania przepustowości rzeczywistej ronda).

3.3. Struktura kierunkowa ruchu

Strukturę kierunkową ruchu na rondzie w programie należy podać jako udziały poszczególnych strumieni ruchu w potoku pojazdów wjeżdżających na rondo (przy założeniu że zawracanie na rondzie nie występuje lub jest do tego stopnia małe, że można je pominąć). Dla każdego wlotu obliczana jest w tej zakładce wartość natężenia ruchu na jezdni ronda przy danym wlocie według poniżej opisanej zasady. Dla przykładu na podstawie rysunku 1 opisano zasady ustalania natężenia ruchu na jezdni ronda dla ronda czterowlotowego.



Rys. 3. Schemat ronda czterowlotowego

Fig. 3. Scheme of the four inlet traffic circle

PROCEDURA OBLICZENIOWA

plik | edycja | program | pomoc

Dane geometryczne | Struktura rozdzielowa ruchu | **Struktura kierunkowa ruchu** | Przepustowość wlotów | Warunki ruchu na wlocie | Przepustowość maksymalna

WLOT 1				WLOT 2				WLOT 3			
Nałężenie na wlocie =				Nałężenie na wlocie =				Nałężenie na wlocie =			
U 1-2 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 2-3 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 3-4 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]
U 1-3 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 2-4 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 3-5 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]
U 1-4 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 2-5 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 3-6 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]
U 1-5 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 2-6 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 3-1 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]
U 1-6 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 2-1 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 3-2 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]
Nałężenie na jezdni ronda przy wlocie =				Nałężenie na jezdni ronda przy wlocie =				Nałężenie na jezdni ronda przy wlocie =			
WLOT 4				WLOT 5				WLOT 6			
Nałężenie na wlocie =				Nałężenie na wlocie =				Nałężenie na wlocie =			
U 4-5 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 5-6 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 6-1 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]
U 4-6 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 5-1 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 6-2 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]
U 4-1 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 5-2 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 6-3 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]
U 4-2 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 5-3 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 6-4 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]
U 4-3 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 5-4 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]	U 6-5 [P/h]	<input type="text" value="0"/>	U =	[%]
Nałężenie na jezdni ronda przy wlocie =				Nałężenie na jezdni ronda przy wlocie =				Nałężenie na jezdni ronda przy wlocie =			
OBLICZ											

Rys. 4. Zakładka programu, którą należy uzupełnić danymi o strukturze kierunkowej ruchu na rondzie (aktualnie ustawienia programu dla ronda o sześciu wlotach)

Fig. 4. Screen that is needed to be filled in by traffic direction structure (currently the program is set for six inlet traffic circle)

Natężenia ruchu na jezdni ronda Q_{Rwl} przy wlotach:

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

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

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

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

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 .

3.4. Przepustowość wlotów

W tej zakładce dla każdego wlotu obliczane są takie wielkości, jak:

- wyjściowa przepustowość wlotu - obliczana ze wzoru:

$$C_{owl} = 1550 \cdot \exp(-0,00084 \cdot \frac{Q_{Rwl}}{LP_{Rwl}}) + 208 \cdot LP_{wl} + 48 \cdot LP_{Rwl} \quad (5)$$

gdzie: C_{owl} – wyjściowa przepustowość wlotu wl [E/h],

Q_{Rwl} – natężenie ruchu na jezdni ronda przy wlocie wl [E/h],

LP_{Rwl} – liczba pasów ruchu na jezdni ronda przy wlocie wl ,

LP_{wl} – liczba pasów ruchu na wlocie wl ;

- poprawka α - uwzględnia korekcję przepustowości wlotu biorąc pod uwagę średnicę zewnętrzną ronda i liczbę wlotów ronda; oblicza się ją ze wzoru:

$$\alpha = 60 \cdot D_{ZN} - 7,38 \cdot D_{ZN}^2 + 0,152 \cdot D_{ZN}^3 \quad (6)$$

$$D_{ZN} = \frac{D_Z}{N} \quad (7)$$

gdzie: D_Z – średnica zewnętrzna ronda [m],

N – liczba wlotów ronda ($N = 3 \div 6$);

- poprawka β - uwzględnia korekcję przepustowości wlotu biorąc pod uwagę odległość pomiędzy punktami kolizji dla potoków wjeżdżającego i wyjeżdżającego z wlotu wl z potokiem ruchu na jezdni ronda [m]. Oblicza się ją ze wzoru:

$$\beta_{wl} = -99,2 \cdot b_{wl} + 4,37 \cdot b_{wl}^2 - 0,0477 \cdot b_{wl}^3 \quad (8)$$

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

- przepustowość wlotu – dla $C_{owl} \geq 0$ stanowi sumę przepustowości wyjściowej wlotu, poprawki α , poprawki β , i oblicza się ją ze wzoru:

$$C_{wl} = C_{owl} + \alpha + \beta_{wl} \quad [E/h] \quad (9)$$

natomiast dla $C_{owl} < 0$ $C_{wl} = 0$;

- iloraz natężenia do przepustowości:

$$\frac{Q_{wl}}{C_{wl}} \quad (10)$$

gdzie: Q_{wl} – natężenie panujące na wlocie wl [E/h],
 C_{wl} – przepustowość wlotu wl [E/h].

3.5. Warunki ruchu na wlocie

Podstawowym kryterium oceny jakości ruchu na rondzie jest średni czas tracony, głównie z powodu oczekiwania w kolejce przez wszystkie pojazdy na każdym z wlotów ronda. O warunkach ruchu na wlocie decyduje rezerwa przepustowości, czyli różnica pomiędzy przepustowością wlotu (największym możliwym natężeniem ruchu) a rzeczywistym (prognozowanym) natężeniem ruchu na wlocie obliczana ze wzoru:

$$\Delta C_{wl} = C_{wl} - Q_{wl} \quad [E/h] \quad (11)$$

gdzie: ΔC_{wl} – rezerwa przepustowości na wlocie wl [E/h],

C_{wl} – przepustowość wlotu wl [E/h],

Q_{wl} – natężenie ruchu na wlocie wl [E/h].

Całkowite wykorzystanie przepustowości wlotu możliwe jest tylko przy utrzymywaniu się stałej kolejki pojazdów. Tylko w takiej sytuacji każda odpowiednia luka w strumieniu pojazdów na jezdni ronda może być wykorzystana. Z taką sytuacją związane są bardzo uciążliwe warunki ruchu, takie jak: duże straty czasu, długie kolejki i zatrzymania wszystkich pojazdów. Warunki takie nie są akceptowane przez kierowców. Wlot funkcjonuje sprawnie, gdy natężenie ruchu na nim jest niższe niż jego przepustowość [5].

W Instrukcji projektowania małych rond straty czasu na wlocie skrzyżowania oszacowano korzystając z angielskiej formuły Kimbera i Hollis. Na podstawie tej formuły określono praktyczny związek pomiędzy stratami czasu i rezerwą przepustowości. Na podstawie pewnego wykresu odczytywana jest wartość strat czasu pojazdów, która określa przeciętny czas oczekiwania na wlocie skrzyżowania i zależy od wielkości rezerwy przepustowości wlotu oraz wartości przepustowości tego wlotu.

Tablica 3

Graniczne straty czasu dla poszczególnych poziomów swobody ruchu (PSR)

PSR	WARUNKI RUCHU	ŚREDNIA STRATA CZASU [s]
I	bardzo dobre	< 15
II	dobrze	15.1 ÷ 40.0
III	akceptowane	40.1 ÷ 65.0
IV	nieakceptowane	>65

Źródło: [7]

Do oceny warunków ruchu na skrzyżowaniach bez sygnalizacji zaleca się stosowanie czterech poziomów swobody ruchu – odpowiadających bardzo dobrym, dobrym, akceptowanym i nieakceptowanym warunkom ruchu. Granice między poziomami swobody ruchu odpowiadają określonym wartościom strat czasu. Tablica 3 przedstawia graniczne straty czasu dla poszczególnych poziomów swobody ruchu.

PROCEDURA OBLICZENIOWA

Struktura kierunkowa ruchu | Przepustowości wlotów | **Warunki ruchu na wlocie** | Przepustowość maksymalna | Przepustowość rzeczywista

WLOT 1	WLOT 2	WLOT 3
Przepustowość Wlotu 1 = [E/h]	Przepustowość Wlotu 2 = [E/h]	Przepustowość Wlotu 3 = [E/h]
Rezerwa przepustowości = [E/h]	Rezerwa przepustowości = [E/h]	Rezerwa przepustowości = [E/h]
d1 =	d2 =	d3 =
PSR =	PSR =	PSR =

WLOT 4	WLOT 5	WLOT 6
Przepustowość Wlotu 4 = [E/h]	Przepustowość Wlotu 5 = [E/h]	Przepustowość Wlotu 6 = [E/h]
Rezerwa przepustowości = [E/h]	Rezerwa przepustowości = [E/h]	Rezerwa przepustowości = [E/h]
d4 =	d5 =	d6 =
PSR =	PSR =	PSR =

WLOT KRYTYCZNY NA RONDZIE JEST WLOT NUMER

ZATWIERDŹ WPROWADZONE DANE

Rys. 5. Zakładka - warunki ruchu na rondzie. Dane z tej zakładki są automatycznie określone przez program po wpisaniu wszystkich wcześniej wymaganych informacji (aktualnie ustawienia programu dla ronda o sześciu wlotach)

Fig. 5. Screen showing the road traffic condition; data are automatically specified by a computer program after receiving all required information (currently the program is set for six inlet traffic circle)

W opisywanym programie dla każdego wlotu na podstawie obliczonej przepustowości wlotu i rezerwy przepustowości odczytywane są średnie straty czasu na wlocie oraz określone odpowiadające tym wartościom poziomy swobody ruchu. Wlot, na którym panują najgorsze warunki ruchu, tzn. największe średnie straty czasu lub najmniejsza rezerwa przepustowości, określany jest jako wlot krytyczny ronda.

3.6. Przepustowość maksymalna

W celu wyznaczenia przepustowości maksymalnej ronda przeprowadzono w programie (zgodnie z zaleceniami Instrukcji [7]) iteracyjny tok obliczeń, zakładając i korygując w obliczeniach wyjściową wartość natężenia ruchu na jezdni ronda wokół wyspy centralnej.

W I kroku iteracji zakłada się, że natężenie potoku ruchu na jezdni ronda przy pierwszym wlocie jest równe zero ($Q_{R1} = 0$). Oblicza się przepustowość pierwszego wlotu. Następnie przyjmuje się, że z pierwszego wlotu wjedzie potok pojazdów o natężeniu równym przepustowości tego wlotu C_1 . Potok ten po dodaniu potoku Q_{R1} i odjęciu liczby pojazdów opuszczających rondo przed następnym (drugim) wlotem, staje się potokiem nadrzędnym

wokół wyspy ronda Q_{R2} przy następnym (drugim) wlocie: $Q_{R2} = C_1 + Q_{R1} - Q_{12}$. Również z drugiego wlotu wjeżdża na rondo potok pojazdów o wartości równej przepustowości C_2 .

Następnie procedura jest powtarzana dla pozostałych wlotów ronda. Po zakończeniu tego kroku iteracji otrzymuje się natężenie pojazdów wjeżdżających na rondo z ostatniego wlotu. Po odjęciu wartości natężenia potoku opuszczającego rondo przed pierwszym wlotem otrzymuje się potok o natężeniu Q_{R1} jako wyjściowym do drugiego kroku iteracji.

W II kroku iteracji powtarza się procedurę wykonaną w I kroku iteracji przy przyjęciu wartości natężenia ruchu na jezdni ronda przy pierwszym wlocie (Q_{R1}) otrzymanej z I kroku iteracji. Procedurę iteracyjną uważa się za zakończoną, jeżeli różnica pomiędzy początkową a końcową wartością natężenia Q_{R1} jest mniejsza od zadanej dokładności iteracji. Procedurę iteracyjną powtarza się aż do spełnienia podanych warunków zakończenia iteracji. Przepustowość maksymalna ronda wynosi

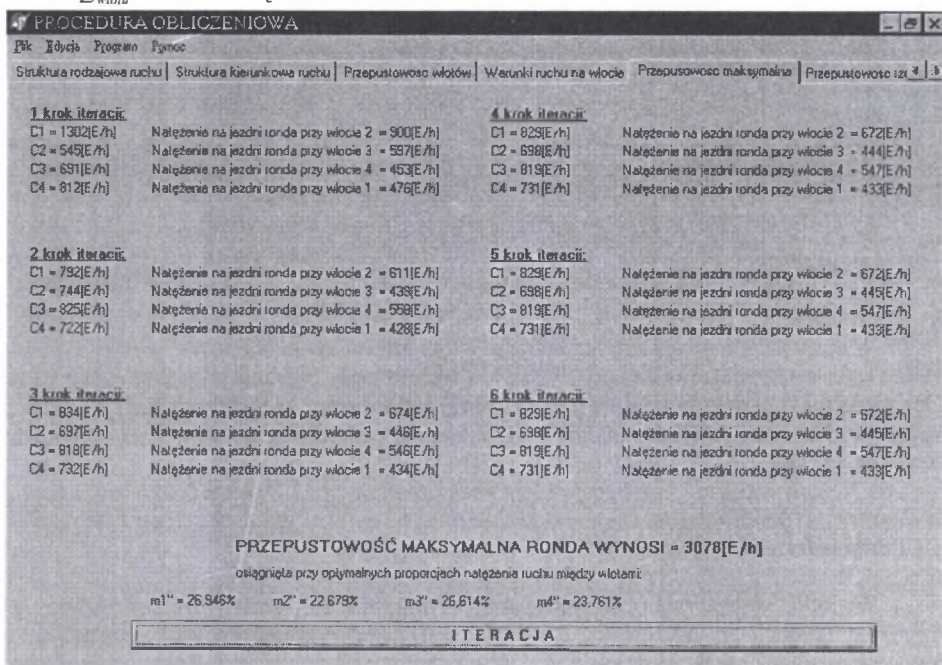
$$C_{\max} = \sum C_{\text{wlotów}} [E/h] \quad (12)$$

i osiąga się ją przy optymalnych (z punktu widzenia przepustowości ronda) proporcjach natężenia ruchu między wlotami:

$$m_1' : m_2' : m_3' : m_4' : \dots : m_6' = Q_1' : Q_2' : Q_3' : Q_4' : \dots : Q_6',$$

gdzie: m_{wlotu}' - procentowe optymalne proporcje natężenia ruchu między wlotami,

Q_{wlotu} - wartość natężenia ruchu na wlocie w E/h.



Rys. 6. Zakładka – przepustowość maksymalna. Wartości przepustowości wlotów oraz wartości natężeń ruchu na jezdni wokół wyspy centralnej są automatycznie obliczane przez program z wykorzystaniem procedury iteracyjnej (aktualnie ustawienia programu dla ronda o czterech wlotach)

Fig. 6. Screen showing the maximal capacity; inlet capacity values and traffic circle flow values are automatically calculated using the iteration procedure (currently the program is set for four inlet traffic circle)

Proporcje te różnią się od proporcji określonych na podstawie zadanych natężeń ruchu pomiędzy wlotami ($m_1 : m_2 : m_3 : m_4 : \dots m_6 = Q_1 : Q_2 : Q_3 : Q_4 : \dots Q_6$), gdzie:

m_{wlotu} - procentowa proporcja natężenia ruchu między wlotami,

Q_{wlotu} - natężenie panujące na wlocie w E/h.

3.7. Przepustowość rzeczywista

W celu obliczenia przepustowości rzeczywistej ronda przy istniejących proporcjach natężeń ruchu w programie przeprowadzono obliczenia iteracyjne (zgodnie z zaleceniami Instrukcji [7]), które powinny doprowadzić do uzyskania dla wlotu krytycznego, decydującego o przepustowości ronda, stanu, w którym natężenie na wlocie krytycznym równe jest przepustowości wlotu, przy zachowaniu istniejących proporcji ruchu.

W I kroku iteracji wyznacza się wlot krytyczny k (wlot o najgorszych warunkach ruchu, czyli wlot, na którym są największe średnie straty czasu lub wlot o najmniejszej wartości rezerwy przepustowości $\Delta C_{w(i)}$), dla którego w procesie iteracji ma zająć warunek: $Q_k = C_k$ oraz oblicza się wartości natężeń ruchu (przy natężeniu Q_k^I zbliżonym do przepustowości C_k) na wlotach przy zachowaniu zadanej proporcji natężeń (rzeczywistego rozkładu kierunkowego): $m_1 : m_2 : m_3 : m_4 : \dots m_6 = Q_1 : Q_2 : Q_3 : Q_4 : \dots Q_6$.

Na podstawie wartości tych natężeń oblicza się natężenie na jezdni ronda przy wlocie pierwszym Q_{R1} . Następnie przyjmuje się, że z pierwszego wlotu wjedzie potok pojazdów o wartości podanego natężenia Q_1 . Potok ten po dodaniu potoku Q_{R1} i odjęciu liczby pojazdów opuszczających rondo przed następnym, drugim wlotem, staje się potokiem nadrzędnym wokół ronda Q_{R2} przy następnym wlocie, przy czym: $Q_{R2} = Q_1 + Q_{R1} - Q_{12}$, gdzie:

Q_{R2} - natężenie na jezdni ronda przy wlocie nr 2,

Q_1 - natężenie na wlocie nr 1,

Q_{12} - natężenie ruchu płynące z wlotu nr 1 do wlotu nr 2.

Również z drugiego wlotu wjeżdża na rondo potok pojazdów o wartości natężenia równej Q_2 . Następnie procedura jest powtarzana dla pozostałych wlotów ronda. Po zakończeniu tego kroku iteracji otrzymuje się natężenie pojazdów wjeżdżających na rondo z ostatniego wlotu. Po odjęciu wartości natężenia potoku opuszczającego rondo przed pierwszym wlotem otrzymuje się potok o natężeniu Q_{R1} jako wyjściowym do drugiego kroku iteracji.

W II kroku iteracji powtarza się procedurę wykonaną w I kroku iteracji przy przyjęciu natężenia ruchu Q_k^{II} jako średniej arytmetycznej wartości Q_k^I przyjętej dla kroku I iteracji i przepustowości C_k otrzymanej w kroku I. Pozostałe wartości natężeń oblicza się tak, aby utrzymać zadaną proporcję natężeń ruchu na wlotach, a następnie oblicza się wartość natężenia Q_{R1} . Na zakończenie tego kroku otrzymuje się kolejne przybliżenie wartości natężenia Q_{R1} lub przepustowości C_k . Procedurę iteracyjną uważa się za zakończoną, jeżeli różnica pomiędzy przyjętą wartością natężenia Q_k^{II} a otrzymaną wartością przepustowości C_k jest mniejsza od zadanej dokładności iteracji. Procedurę iteracyjną powtarza się aż do spełnienia jednego z podanych warunków zakończenia iteracji.

PROCEDURA OBLICZENIOWA

plik Edycja Program Egzot

Struktura kierunkowa ruchu	Przepustowość wlotów	Warunki ruchu na wlocie	Przepustowość maksymalna	Przepustowość rzeczywista
Zadane proporcje natężenia na wlotach:	m1 = 41,3 [%]	m2 = 13,6 [%]	m3 = 25,3 [%]	m4 = 19,9 [%]

1 krok iteracji:

Q'1 = 433[E/h]	Q'2 = 143[E/h]	Q'3 = 265[E/h]	Q'4 = 208[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 124[E/h]	C1 = 1149[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 181[E/h]	C1 = 1083[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 328[E/h]	C2 = 894[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 478[E/h]	C2 = 854[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 191[E/h]	C3 = 1072[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 279[E/h]	C3 = 978[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 162[E/h]	C4 = 1105[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 236[E/h]	C4 = 1023[E/h]

2 krok iteracji:

Q'1 = 751[E/h]	Q'2 = 208[E/h]	Q'3 = 185[E/h]	Q'4 = 361[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 227[E/h]	C1 = 1034[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 181[E/h]	C1 = 1083[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 598[E/h]	C2 = 755[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 478[E/h]	C2 = 854[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 350[E/h]	C3 = 908[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 364[E/h]	C3 = 894[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 296[E/h]	C4 = 962[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 321[E/h]	C4 = 936[E/h]

3 krok iteracji:

Q'1 = 630[E/h]	Q'2 = 207[E/h]	Q'3 = 305[E/h]	Q'4 = 303[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 181[E/h]	C1 = 1084[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 181[E/h]	C1 = 1083[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 476[E/h]	C2 = 856[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 478[E/h]	C2 = 854[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 278[E/h]	C3 = 979[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 364[E/h]	C3 = 894[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 235[E/h]	C4 = 1024[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 321[E/h]	C4 = 936[E/h]

4 krok iteracji:

Q'1 = 630[E/h]	Q'2 = 208[E/h]	Q'3 = 307[E/h]	Q'4 = 304[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 181[E/h]	C1 = 1083[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 181[E/h]	C1 = 1083[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 478[E/h]	C2 = 854[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 478[E/h]	C2 = 854[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 279[E/h]	C3 = 978[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 364[E/h]	C3 = 894[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 236[E/h]	C4 = 1023[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 321[E/h]	C4 = 936[E/h]

5 krok iteracji:

Q'1 = 630[E/h]	Q'2 = 208[E/h]	Q'3 = 307[E/h]	Q'4 = 304[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 181[E/h]	C1 = 1083[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 181[E/h]	C1 = 1083[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 478[E/h]	C2 = 854[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 478[E/h]	C2 = 854[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 279[E/h]	C3 = 978[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 364[E/h]	C3 = 894[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 236[E/h]	C4 = 1023[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 321[E/h]	C4 = 936[E/h]

6 krok iteracji:

Q'1 = 630[E/h]	Q'2 = 208[E/h]	Q'3 = 307[E/h]	Q'4 = 304[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 181[E/h]	C1 = 1083[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 1 = 181[E/h]	C1 = 1083[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 478[E/h]	C2 = 854[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 2 = 478[E/h]	C2 = 854[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 279[E/h]	C3 = 978[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 3 = 364[E/h]	C3 = 894[E/h]
Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 236[E/h]	C4 = 1023[E/h]	Natężenie na jezdni ronda przy wlocie 4 = 321[E/h]	C4 = 936[E/h]

PRZEPUSTOWOŚĆ RZECZYWISTA RONDA = 2625[E/h]

co odpowiada natężeniom ruchu na wlotach: W1 = 1083[E/h] W2 = 357[E/h] W3 = 864[E/h] W4 = 521[E/h]

Szacowane rezerwa przepustowości ronda = 4,9%

ITERACJA

Rys. 7. Zakładka – przepustowość rzeczywista. Wartości natężeń ruchu na jezdni wokół wyspy centralnej ronda oraz przepustowości wlotów są automatycznie obliczane przez program z wykorzystaniem procedury iteracyjnej (aktualnie ustawienia programu dla ronda o czterech wlotach)

Fig. 7. Screen showing the actual capacity; traffic circle flow values and inlet capacity values are automatically calculated using the iteration procedure (currently the program is set for four inlet traffic circle)

Literatura

1. Walczak, Struzińska: Projektowanie wizualno – obiektowe.
2. Williams S., Walmsley S.: Delphi - programowanie. Wydawnictwo RM, Warszawa 1999.
3. Boduch A., Delphi 6. Ćwiczenia praktyczne. Helion, Gliwice 2002.
4. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. WKiŁ, Warszawa 1999.
5. Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych – części I, II. GDDP, Warszawa 2001.
6. Rozporządzenie MTiGM z dnia 2. 03. 1999 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz U Nr 43, pozycja 430 z 1999.
7. Instrukcja projektowania małych rond. Politechnika Krakowska - GDDP, Warszawa 1996.
8. Stypułkowski B.: Drogi kołowe i węzły drogowe. PWN, Warszawa 1979.
9. Instrukcja obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej. Politechnika Krakowska – GDDP, Warszawa 1988.

Abstract

The elements of a computer program have been presented in this paper. Currently capacity calculations are available for the traffic circles with three up to six inlets, and one lane at the inlet. This is a sample of the model that is going to be developed in the future. There are plans to create a computer simulation illustrating vehicles understeering on the small traffic circles. This computer program and the simulation will be part of a doctorate.