

Elżbieta MACIOSZEK

## **ANALIZA PORÓWNAWCZA ALGORYTMÓW OBLICZANIA PRZEPUSTOWOŚCI ROND STOSOWANYCH NA ŚWIECIE**

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano przegląd istniejącej w różnych krajach świata bazy oprogramowania, która służy do obliczania przepustowości skrzyżowań typu rondo. Zebranie tego typu danych pozwoliło na budowę własnego oprogramowania komputerowego, służącego do obliczania przepustowości rond.

### **THE COMPARATIVE ANALYSIS OF ALGORITHM OF CAPACITY CALCULATION USED ON THE WORLD**

**Summary.** The selected different existing on all over the world software for roundabouts capacity calculation and traffic flows simulation have been presented in the article. This kind of gathered data to permitted built own software for small roundabouts capacity calculation.

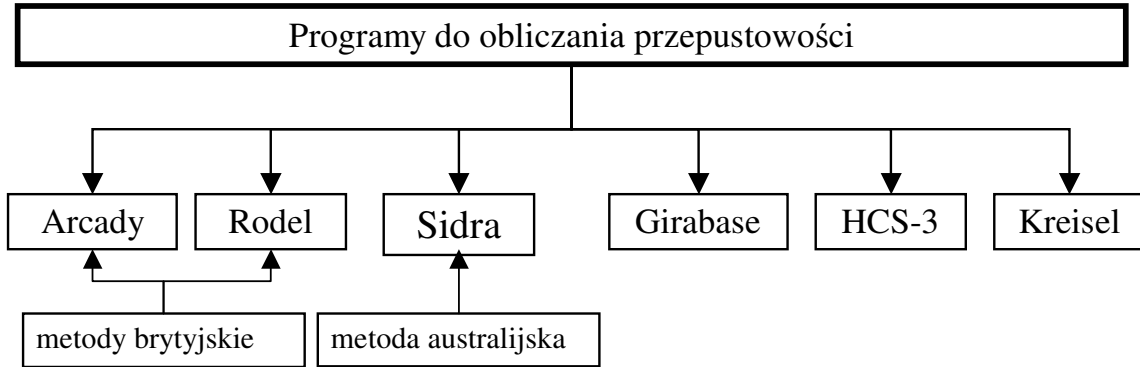
#### **1. WPROWADZENIE**

Rozpowszechnianiu się skrzyżowań typu rondo towarzyszy rozwój oprogramowania, służącego do obliczeń podstawowych charakterystyk ruchu na rondach. W ostatnich latach powstała znaczna liczba oprogramowania dla rond. Oprogramowanie to można podzielić na dwie zasadnicze grupy: programy służące do obliczeń i analiz przepustowości (rys. 1) oraz programy symulacyjne (rys. 2). Programy te oprócz obliczania przepustowości czy symulacji ruchu obliczają wiele dodatkowych wskaźników i parametrów, charakteryzujących jakość funkcjonowania skrzyżowań. Spośród programów służących do obliczania przepustowości najczęściej stosowane są: Arcady, Rodel, Sidra, Hcs-3, Kreisel, Girabase. Natomiast do najbardziej popularnych programów, które służą do symulacji ruchu na rondach można zaliczyć: Corsim, Integration, Simtraffic, Paramics, Vissim. Poniżej krótko scharakteryzowano wymienione programy, a następnie przedstawiono schemat działania własnej aplikacji komputerowej, służącej do obliczania przepustowości małych rond.

Program Arcady (Assesment of Roundabout Capacity and Delay), oparty jest na metodzie brytyjskiej. Stosowany w Anglii jako podstawowe narzędzie do oceny przepustowości i funkcjonowania rond. Program był rozwijany przez MVA Systematica na zlecenie Transport Road Research Laboratory (TRRL). W 1985 r. powstała druga wersja programu nazwana Arcady 2. Obliczanie przepustowości bazuje na formule Kimbera. Spośród cech i zastosowań Arcady 2 można przede wszystkim wymienić [10, s. 85 – 86]:

- uwzględnianie struktury kierunkowej ruchu,
- uwzględnianie struktury rodzajowej ruchu,

- zdolność modelowania wpływu natężenia ruchu pieszych na skrzyżowaniu,
- obliczanie opóźnienia pojazdów, wynikającego z geometrii ronda, tzw. opóźnienie geometryczne,
- obliczanie liczby oraz częstotliwości zdarzeń drogowych na rondzie,
- zdolność uwzględniania w obliczeniach przepustowości lokalnych warunków ruchu.

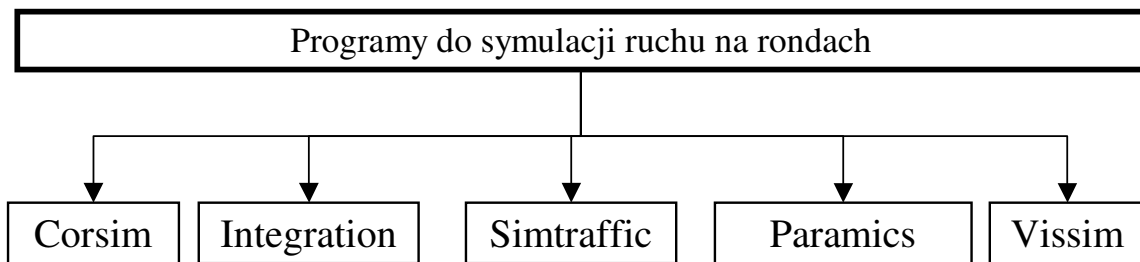


Rys. 1. Programy do obliczania przepustowości rond

Fig. 1. The scheme of software for roundabouts capacity calculation

Źródło: Opracowanie własne

Program Rodel (Roundabout Delay) to program służący do oceny i projektowania rond. Program utworzony został przez Highway Department of Staffordshire County Council w Wielkiej Brytanii. Bazuje na modelu empirycznym Kimbera, który jest podobny do modelu użytego w programie Arcady. Podstawową różnicą pomiędzy tymi programami jest fakt, że poziom ufności danych wyjściowych w programie Arcady ma konkretnie sprecyzowaną wartość, natomiast w programie Rodel poziom ufności jest określany przez sam program. Rodel ma dwa główne tryby działania: tryb I oraz tryb II [10, s. 86-87].



Rys. 2. Programy do symulacji ruchu na rondach

Fig. 2. The scheme of software for traffic flows simulation for roundabouts

Źródło: Opracowanie własne

Program Sidra (Signalized Intersection Design and Research Aid) to program oparty na metodzie australijskiej, utworzonej przez ARRB Transport Research (The Australian Road

Research Board). Służy do analizy, obliczania przepustowości, oceny funkcjonowania skrzyżowań oraz określania wielu innych parametrów ruchowych na skrzyżowaniach odosobnionych, zarówno bez sygnalizacji, jak i z sygnalizacją świetlną oraz na skrzyżowaniach typu rondo, o maksymalnie ośmiu wlotach [9, s. 9]. Podstawą metody użytej do analizy przepustowości i funkcjonowania rond w Sidra 4.07 oraz w wytycznych projektowania Austroad z 1993 r. jest specjalne opracowanie ARRB. Sidra jest jednym z trzech programów aktualnie stosowanych w Ameryce do obliczania przepustowości. Pozostałe dwa to brytyjskie programy Arcady i Rodel. Sidra uwzględnia losowe przybycia pojazdów, a także przybycia plutonów pojazdów generowanych przez skoordynowane sygnalizacje świetlne [1], również uwzględnia, wpływ sąsiedztwa ronda obok skrzyżowania z sygnalizacją świetlną. W programie Sidra akceptowany odstęp uzależniony jest między innymi od geometrii ronda, ruchu pojazdów wokół wyspy centralnej, ruchu pojazdów na wlotach.

Program Capcal utworzony został w latach 70. przez Swedish National Road Administration (SNRA). Najnowszą wersję programu, nazwaną Capcal 2, wprowadzono w 1996 r. Obydwie wersje zawierają podprogramy, służące do modelowania skrzyżowań zarówno z sygnalizacją świetlną, jak i bez niej oraz rond. Dane wejściowe do modelowania rond obejmują dane geometryczne oraz natężenia ruchu z okresu godziny szczytu. Ocena działania rond składa się z takich parametrów, jak: przepustowość, straty czasu, długości kolejek, koszty operacyjne oraz ocena emisji spalin. Procedura zastosowana do oceny działania ronda składa się z sześciu kolejnych kroków [10, s. 92]:

- określenie głównego potoku ruchu,
- określenie luk krytycznych oraz dodatkowych czasów,
- obliczenie czasów obsługi,
- rozdzielenie potoku ruchu na pasy ruchu, na wlocie,
- oszacowanie przepustowości krótkich pasów ruchu o niskiej wartości przepustowości,
- obliczenia i ocena funkcjonowania ronda.

Program HCS-3 jest pochodzenia amerykańskiego, rekomendowany przez HCM z 1997 r., służy do obliczania przepustowości rond jednopasowych bazując na natężeniach ruchu na wlotach oraz natężeniach ruchu na jezdni ronda.

Program Girabase – program francuski z 1992 r., stosowany do obliczania przepustowości rond jednopasowych i wielopasowych, zlokalizowanych na terenach zarówno miejskich, jak i pozamiejskich. Program ten uwzględniając takie elementy, jak: szerokości wlotów, szerokość jezdni wokół wyspy centralnej, promień wyspy centralnej, wymiary wysp dzielących na wlotach, szerokości wylotów, kąty zawarte pomiędzy kolejnymi wlotami, natężenia ruchu pojazdów i pieszych oraz lokalizację ronda, oblicza przepustowość wlotów na rondo, jako funkcję potoku wstrzymującego (utrudniającego wjazd na jezdnię ronda). Girabase szerzej opisany został w pracy Bareda i Courage'a [2, s. 35 - 36].

Program Kreisel - w 1996 r. W. Brilon z zespołem z Ruhr University w Bochum w Niemczech zbudował program Kreisel, służący do obliczania przepustowości i strat czasu na rondach, z uwzględnieniem ruchu pieszych. Jego cechą charakterystyczną jest to, że zawiera zbiór metod obliczania przepustowości rond, stosowanych w różnych krajach. Przepustowość wlotu na rondo w programie Kreisel można obliczyć metodami: niemiecką, brytyjską (autorstwa Kimbera), francuskimi metodami: Louaha, organizacji Cetur i Girabase, szwedzkimi: Emch + Berger oraz ETH Lausanne oraz metodą Troutbecka z 1989 r. Program Kreisel szerzej opisali Bared i Courage w pracy [2, s. 38] z 1998 r.

Program Corsim przeznaczony jest do modelowania potoku ruchu w sieciach drogowych. Uwzględnia wszystkie typy skrzyżowań zarówno z sygnalizacją, jak i bez sygnalizacji świetlnej. Ma możliwość modelowania każdego skrzyżowania oddzielnie, dlatego możliwe jest modelowanie rond jednopasowych, chociaż nie jest to główne zadanie programu [9, s. 15, 16]. Aplikacja rozbudowywana została w USA z poparciem USDOT. W 1997 r. Kenneth G.

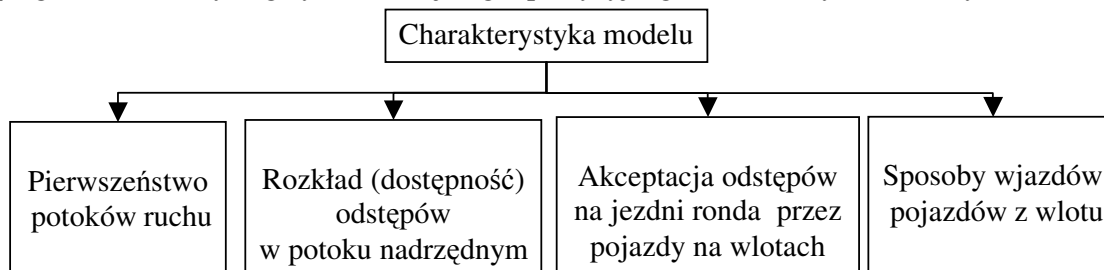
Courage wykazał, że po wprowadzeniu do programu Corsim konfiguracji ronda, jako ciągu połączonych ze sobą skrzyżowań typu „T”, w większości analizowanych przypadków, otrzymuje się wiarygodne wyniki. Aktualnie prowadzone są prace nad modyfikacją programu Corsim, w celu polepszenia i uwydatnienia modelowania przepustowości rond. Modyfikacja ta ma na celu uczynienie z programu Corsim narzędzia do oceny działania oraz wspomaganie modelowania rond jednopasowych [10, s. 92].

Program Transyt - metody: Transyt/7, Transyt/8, Transyt/9 opracowano w Anglii, natomiast Transyt/7F to amerykańska wersja tej metody [9, s. 12-13]. Transyt jest najczęściej stosowany do optymalizacji koordynacji sygnalizacji świetlnej w arteriach i w sieciach skrzyżowań, wykorzystuje deterministyczny makromodel przepływu potoków ruchu w arterii z sygnalizacją [10, s. 91]. Dwoma charakterystycznymi elementami metody są model ruchu i procedura optymalizacyjna. W procedurze optymalizacyjnej poszukuje się minimalnej wartości funkcji celu, do określenia której niezbędne jest ustalenie strat czasu i liczby zatrzymań [3]. Model odtwarza zachowanie się potoków ruchu w sieci skrzyżowań, z których większość jest sterowana sygnalizacją, ale uwzględnia także działanie skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej oraz rond. Ponieważ sama analiza funkcjonowania rond nie jest podstawowym celem działania programu, więc nie zaleca się go do modelowania przepustowości i innych parametrów ruchowych rond.

Program Netsim umożliwia symulację ruchu w sieciach skrzyżowań z sygnalizacją świetlną (do 50 skrzyżowań), z możliwością uwzględniania wpływu skrzyżowań z pierwszeństwem przejazdu, podporządkowanych znakiem stop (B-20) i ustęp pierwszeństwa przejazdu (A-7). Program został opracowany przez Federalną Administrację Drogową w USA (FHWA) [9, s. 15-16]. Próba przedstawienia rond połączonych w sieci ze skrzyżowaniami z pierwszeństwem przejazdu odniosła pewien sukces, ponieważ obliczone wartości przepustowości oraz wartości strat czasu mieściły się w tym samym zakresie wyników, co wyniki otrzymane z programów Sidra i Rodel, ale tylko przy dużym udziale pozostałych typów skrzyżowań. Natomiast przy małym udziale innych typów skrzyżowań (poniżej 30%) wyniki okazały się niewiarygodne [10, s. 91-92]. Trwają prace dotyczące uwzględnienia rond w programie Netsim. Aktualna wersja metody nie jest zalecana do stosowania w analizie funkcjonowania rond.

## 2. PAKIET PROGRAMÓW DO WYZNACZANIA PRZEPUSTOWOŚCI ROND

W celu usprawnienia obliczeń przepustowości, opierając się zarówno na znanych i zweryfikowanych w warunkach polskich metodach, jak i oryginalnych algorytmach, zbudowanych dla potrzeb analizowanego zagadnienia, opracowano pakiet aplikacji komputerowych, wspomagających wyznaczenie badanych parametrów. Elementy oprogramowania wymagały wcześniejszego, precyzyjnego scharakteryzowania (rys. 3).

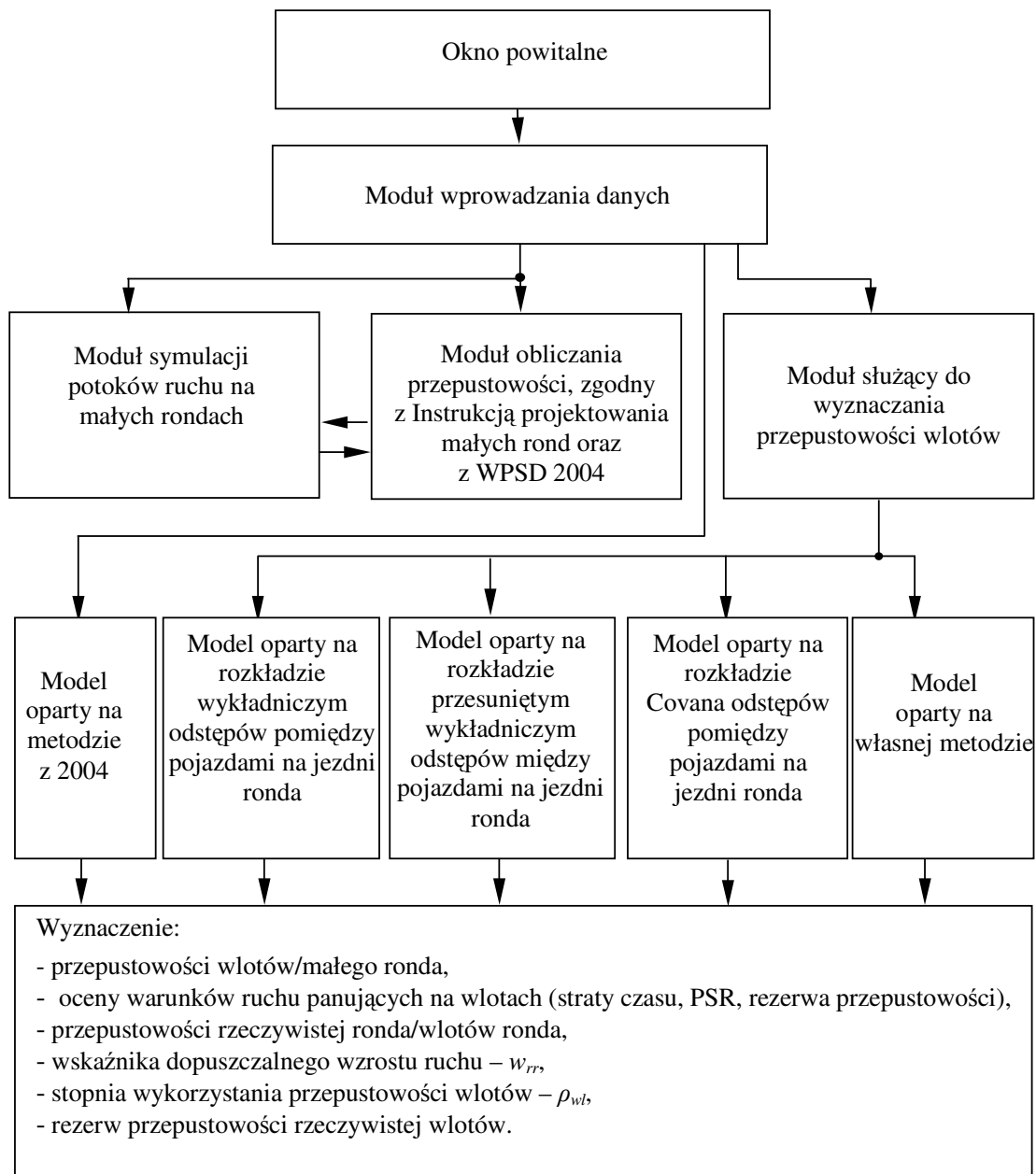


Rys. 3. Główne charakterystyki modelu szacowania przepustowości rond

Fig. 3. The main characteristics of roundabouts capacity calculations model

Źródło: Opracowanie własne

Bezpośrednią zaletą budowy nowych narzędzi jest możliwość dostosowania formatu danych wejściowych i wyjściowych oraz metod obliczeniowych do indywidualnych potrzeb, a także szybkie i sprawne dokonanie analizy przepustowości małych rond.



Rys. 4. Ogólny schemat pakietu programów do wyznaczania przepustowości  
 Fig. 4. The general scheme of software package for capacity calculations

Źródło: Opracowanie własne

W skład pakietu programów wchodzi następujące aplikacje wspomagające:

- moduł obliczania przepustowości zgodny z: Instrukcją projektowania małych rond z 1996 r. oraz z Wytycznymi projektowania skrzyżowań drogowych (część II Ronda) z 2001 r.,
- moduł obliczania przepustowości, zgodny z Metodą obliczania przepustowości rond z 2004 r.,
- moduł służący do wyznaczania przepustowości wlotów (z możliwością wyboru rozkładu odstępów pomiędzy pojazdami poruszającymi się po jezdni małego ronda).

Dwa pierwsze moduły stanowią komputerową wersję matematycznych modeli do obliczania przepustowości rond, wydanych przez Generalną Dyрекcyję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), natomiast trzeci jest programem autorskim. Na rys. 4 schematycznie przedstawiono wzajemny układ poszczególnych modułów.

Programy zbudowane zostały za pomocą narzędzia programowania typu Delphi, firmy Borland/Inprise Inc., umożliwiającego szybkie tworzenie aplikacji i wyposażonego w jeden z najlepszych kompilatorów optymalizujących kod wynikowy. Fundamentem Delphi jest język Pascal w wersji obiektowej (Object Pascal). Po wprowadzeniu niezbędnych danych do pierwszego z modułów (modułu wprowadzania danych), można alternatywnie wybierać kolejne moduły. Struktura programu oparta jest na tzw. zakładkach, które należy kolejno uzupełniać podając odpowiednie, wymagane do wprowadzenia wartości. Większość danych wpisuje się dla każdego wlotu oddzielnie.

## Bibliografia

1. Akcelik R., Besley M.: SIDRA 5, User Guide, 1998.
2. Bared J. G., Courage K. G. z zespołem: Modern Roundabout Practice in the United States. Synthesis of Highway Practice 264. Transportation Research Board. National Research Council. National Academy Press, Washington 1998.
3. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. WKŁ, Warszawa 1999.
4. Haging O.: Effects of OD (Origin - Destination) flows on roundabout entry capacity. Transportation Research Circular E-C018: 4<sup>th</sup> International Symposium on Highway Capacity.
5. Haging, O.: Vehicle-vehicle interactions at roundabouts and their implications for the entry capacity, 1998.
6. Instrukcja obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej. GDDP, Warszawa 1998.
7. Kimber R. M.: The traffic capacity of roundabouts. TRRL Report LR/942, Crowthorne 1980.
8. Krogscheepers J. C., Roebuck C. S.: Unbalanced traffic volumes at roundabouts, 1999.
9. Sabra Z., Wallace Ch., Lin F.: Traffic Analysis software tools. Transportation Research Board/National Research Council. Circular number E - CO14, september 2000.
10. Taekratok T.: Modern Roundabouts for Oregon. Oregon Department of Transportation. Research Unit, 200 Hawthorne SE, Suite B-240 Salem, OR 97310, June 1998.
11. Semmens M. C.: ARCADY 2, An enhanced program to model capacities, queues and delays at roundabout. TRRL Research Report 35, Crowthorne 1985.
12. VISSIM 3.70 Podręcznik użytkownika. PTV Planung Transport Verkehr AG, 01. 2003.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Romuald Szopa