ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: TRANSPORT z. 46 Nr kol. 1571

Renata ŻOCHOWSKA

INFORMATYCZNE NARZĘDZIA WSPOMAGANIA PLANOWANIA ZAMKNIĘĆ DROGOWYCH – PRZEPUSTOWOŚĆ SKRZYŻOWAŃ Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNĄ

Streszczenie. W artykule przedstawiono budowę programu SSS obliczającego parametry przepustowościowe skrzyżowań wyposażonych w sygnalizację świetlną. Program został opracowany jako narzędzie pomocnicze w systemie optymalizacji zamknięć drogowych w złożonych sieciach transportowych. Do obliczania przepustowości skrzyżowań wykorzystano metodę HCM-94.

COMPUTING AID IN ROAD CLOSURES PLANNING – SIGNALIZED INTERSECTIONS CAPACITY

Summary. The construction of SSS program has been presented in this article. The program computes signalized intersections capacity parameters and it has been built as an auxiliary tool in road closures optimization system. The capacity has been evaluated according to one of the most frquently used and best applied to Polish conditions methods – HCM-94.

1. WPROWADZENIE

Problem planowania zamknięć drogowych wobec stale rosnącej liczby pojazdów staje się jednym z istotnych zagadnień sprawnego funkcjonowania systemu miejskiego. Określenie czasu pojedynczego zamknięcia drogowego, jak również efektywne rozmieszczenie zamknięć na sieci wymagają budowy odpowiednich algorytmów optymalizacyjnych opartych na ocenie strat przewidywanego ruchu dla zadanego czasu zamknięcia [1, 2, 3].

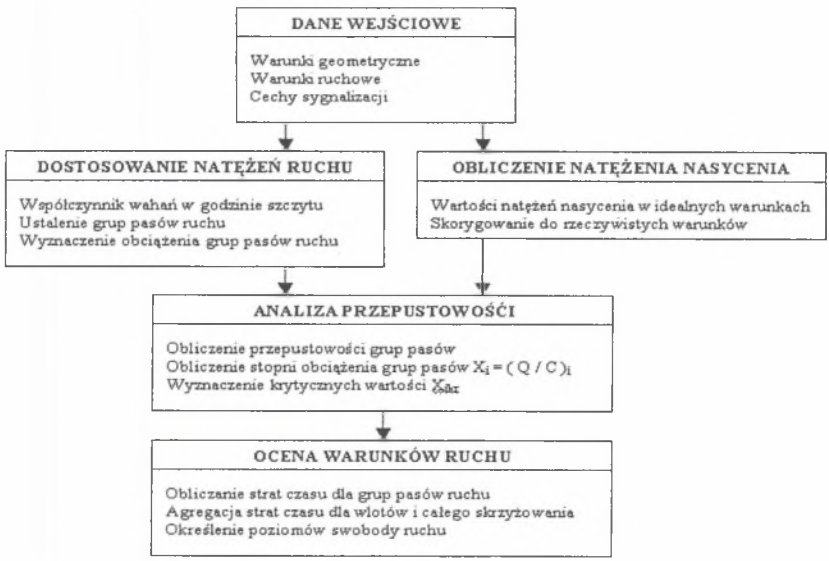
Efektem zagęszczenia ruchu są straty czasu stanowiące istotny składnik czasu przemieszczania pojazdów. Straty te są bezpośrednio zależne od wielkości i struktury obciążenia, a ponieważ w analizie planowania zamknięć drogowych obciążenie to jest zmienne i zależne od zmian organizacji ruchu podczas zamknięcia, parametry przepustowościowe również powinny być stale aktualizowane. W związku z tym dla usprawnienia obliczeń prowadzących do optymalnego rozmieszczenia zamknięć drogowych na sieci warto skorzystać ze zweryfikowanych i powszechnie stosowanych metod wyznaczania przepustowości.

2. WYZNACZANIE PRZEPUSTOWOŚCI SKRZYŻOWAŃ Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNĄ

W zagadnieniach wyznaczania przepustowości w sieciach często przyjmuje się założenie, że ograniczeniem przepustowości są węzły. Stąd w planowaniu zamknięć w złożonych sieciach drogowych istotną rolę odgrywa przepustowość relacji na skrzyżowaniu definiowana jako największa liczba pojazdów danej relacji, które mogą przejechać przez przekrój skrzyżowania w jednostce czasu przy określonych cechach drogi i potoku ruchu [4].

W bazie danych śródmieścia Katowic [5] skrzyżowania z sygnalizacją świetlną stanowią 13 procent wszystkich węzłów. W związku z tym zaistniała konieczność opracowania efektywnego narzędzia wyznaczającego zarówno przepustowość skrzyżowań tego typu, jak i współpracującego bezpośrednio z opracowaną wcześniej bazą danych.

Jedną z najlepiej zweryfikowanych i dostosowanych do krajowych warunków jest metoda HCM-94 [6, 7]. Stanowi ona zbiór procedur i metod analizujących przepustowość w zależności od natężenia ruchu oraz zapewnia znaczną elastyczność w dostosowaniu do rzeczywistych warunków. Metoda HCM-94 jest stale aktualizowana na podstawie wyników najnowszych badań [7]. Kolejne jej wersje zostały opracowane w latach: 1997 oraz 2000. Schemat metody przedstawiono na rys.1 [8].



Rys.1. Schemat blokowy metody HCM-94
Fig.1. Block diagram of HCM-94 method

W oparciu o założenia metody HCM-94 opracowano program pomocniczy „SSS" wyznaczający przepustowość skrzyżowań z sygnalizacją świetlną.

2.1. Czytanie danych

Analiza przepustowości wymaga dokładnych informacji dotyczących warunków geometrycznych i ruchowych oraz sygnalizacji. Dane te zawarte są w tablicach, wchodzących

w skład relacyjnej bazy danych. Czytanie danych odbywa się przez skojarzenie elementów obiektowych z odpowiednią tablicą.

Zasadniczym etapem jest ustalenie grup pasów ruchu, które mogą składać się z jednego lub kilku pasów. Rozróżnia się trzy rodzaje grup. Przynależność do grupy pasów określana jest w następujący sposób:

- grupa 1 : pasy dla ruchu na wprost lub wspólne z ruchem na wprost relacje skrętne,
- grupa 2 : wydzielone pasy dla relacji w lewo,
- grupa 3 : wydzielone pasy dla relacji w prawo.

2.2. Obliczenie natężenia nasycenia

W metodzie HCM-94 przepustowość grupy pasów C_i określona jest wzorem [8]:

$$C_i = S_i \cdot (G_e/T)_i$$

gdzie:

S_i - natężenie nasycenia grupy pasów,

$(G_e/T)_i$ - udział efektywnego sygnału zielonego G_e w cyklu T dla grupy pasów ruchu i.

Natężenie nasycenia grupy pasów S_i [p/hz] definiuje się jako maksymalną liczbę pojazdów, przejeżdżających przez przekrój grupy pasów ruchu w godzinie trwania efektywnego sygnału zielonego, przy określonych warunkach ruchowo-drogowych [8]. Przyjmuje się, że w idealnych warunkach wartość natężenia nasycenia pasa ruchu S_0 wynosi 1900 E/hz/pas. Aby skorygować tę wartość dla warunków rzeczywistych, należy zastosować szereg współczynników:

$$S = S_0 \cdot n \cdot f_w \cdot f_s \cdot f_{mp} \cdot f_a \cdot f_o \cdot f_p \cdot f_l$$

gdzie:

S_0 - natężenie nasycenia w idealnych warunkach na pas,

n - liczba pasów ruchu w grupie,

f_w - współczynnik uwzględniający szerokość pasa ruchu,

f_s - współczynnik uwzględniający pochylenie wlotu,

f_{mp} - współczynnik uwzględniający wpływ parkowania na pasie sąsiednim,

f_a - współczynnik uwzględniający blokowanie ruchu przez autobusy,

f_o - współczynnik uwzględniający wpływ lokalizacji skrzyżowania,

f_p - współczynnik uwzględniający wpływ relacji skrętnej w prawo,

f_l - współczynnik uwzględniający wpływ relacji skrętnej w lewo.

2.3. Współczynnik f_p

Wpływ relacji skrętnej w prawo na wartość natężenia nasycenia analizowany jest przez współczynnik f_p, który uwzględnia również kolizyjność z ruchem pieszych na przejściu. Wartość tego współczynnika jest zależna od takich czynników, jak [8]:

- istnienie wydzielonego lub wspólnego pasa ruchu,
- rodzaj dostępnej fazy sygnalizacyjnej: bezkolizyjna lub kolizyjna z ruchem pieszych na przejściu,
- natężenie ruchu pieszego QP [PS/h],
- udział pojazdów skręcających w prawo na wspólnym pasie.

2.4. Współczynnik f_l

Współczynnik f_l uwzględnia zarówno wpływ relacji skrętnej w lewo na wartość natężenia nasycenia, jak również kolizyjność z potokiem z wlotu przeciwnego. Wartość tego współczynnika zależy od takich czynników, jak [8]:

- istnienie wydzielonego lub wspólnego pasa ruchu,
- rodzaj dostępnej fazy sygnalizacyjnej: bezkolizyjna lub kolizyjna z potokiem z wlotu przeciwnego,
- natężenie ruchu z wlotu przeciwnego,
- udział pojazdów skręcających w lewo wykorzystujących wspólny pas.

Wpływ kolizyjnej relacji skrętnej w lewo z wydzielonego bądź wspólnego pasa na funkcjonowanie wlotów jest dość trudny do określenia. Współczynnik f_l należy w tych przypadkach obliczać przy użyciu złożonego zestawu równań (procedura SPECJALNA). Wzory aproksymują potoki w stanie równowagi, będącej wynikiem wzajemnego oddziaływania strumieni pojazdów skręcających w lewo, jadących na wprost i potoku kolidującego z przeciwnego wlotu.

W zależności od liczby pasów na analizowanym wlocie oraz wlocie przeciwnym wyróżniono cztery modele:

- model A: wloty przeciwne wielopasowe,
- model B: wloty przeciwne jednopasowe,
- model C: wlot jednopasowy z wielopasowym wlotem przeciwnym,
- model D: wlot wielopasowy z jednopasowym wlotem przeciwnym.

Schematyczny sposób wyznaczania współczynnika f_l dla wszystkich modeli zaprezentowano na rys.2. Szczegółowy opis wszystkich zmiennych przedstawiono w [8].

3. BUDOWA PROGRAMU POMOCNICZEGO „SSS"

Program pomocniczy „SSS" został zbudowany ze względu na konieczność wielokrotnego przeliczania parametrów przepustowościowych oraz dostosowania formatu danych wejściowych i wyjściowych do potrzeb relacyjnej bazy danych. Jest on integralnym elementem systemu optymalizującego planowanie zamknięć drogowych.

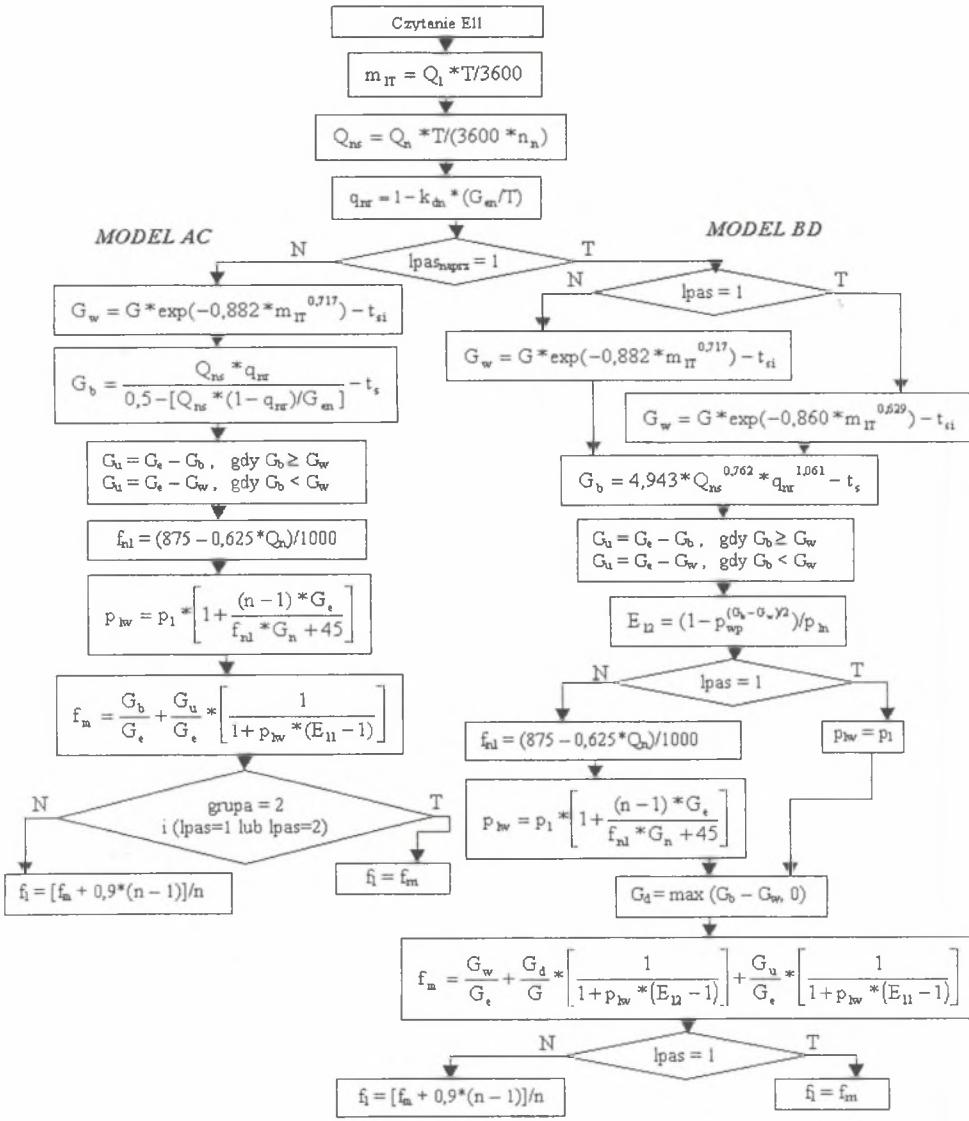
Projekt zawiera następujące podstawowe formularze: „Menu", „Parametry geometryczno-ruchowe", „Schemat skrzyżowania", „Sygnalizacja", „Wyniki". Oprócz wyznaczania przepustowości program umożliwia również wprowadzanie oraz korektę danych. Poszczególne formularze wymagają dokładniejszego omówienia.

3.1. Formularz „Menu"

Formularz główny programu umożliwia wprowadzenie numeru skrzyżowania, dla którego należy wyznaczyć parametry przepustowościowe. Każdy rejestrowany numer sprawdzany jest z zawartością bazy danych i odrzucany w przypadku niezgodności.

Wybór opcji „Obliczenia" powoduje automatyczne przeliczenie wszystkich niezbędnych parametrów, czego efektem wizualnym jest wyświetlenie na formularzu rozkładu dostosowanych natężeń relacji dla każdego pasa ruchu.

Opcja „Wprowadzanie danych" daje możliwość zmiany parametrów geometryczno-ruchowych i sygnalizacyjnych analizowanego skrzyżowania, co ułatwia porównanie różnych



Rys.2. Schemat blokowy procedury SPECJALNA
Fig.2. Block diagram of SPECJALNA procedure

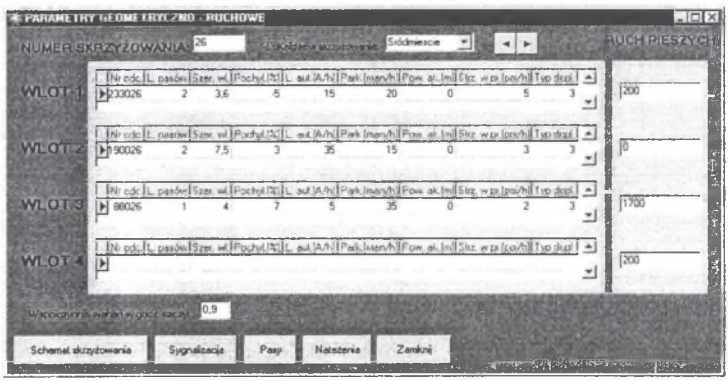
wariantów rozwiązań organizacyjnych. Dodatkowo, wybór każdej z pozostałych opcji ułatwia przejście do odpowiedniego formularza.

3.2. Formularz „Parametry geometryczno-ruchowe"

Do parametrów geometrycznych niezbędnych dla analizy należą: pochylenie wlotów, liczba i szerokość pasów ruchu, parkowanie i przystanki. Aktywność parkowania mierzy się

liczbą manewrów na godzinę w obrębie 75 m od skrzyżowania na pasie przeznaczonym do parkowania lub chodniku, sąsiadującym z analizowaną grupą pasów ruchu [8]. Wpływ komunikacji zbiorowej uwzględniany jest przez liczbę autobusów, których przystanki znajdują się w obrębie skrzyżowania. W przypadku wydzielonych pasów dla relacji skrętnej w lewo należy podać również długość powierzchni akumulacji. W obliczaniu przepustowości istotna jest także lokalizacja skrzyżowania (Śródmieście lub inne) oraz organizacja ruchu (relacje na poszczególnych pasach ruchu).

Parametry ruchowe to głównie wartości natężeń dla każdej relacji na wlocie. W przypadku możliwości wykonywania skrętu w prawo w okresie sygnału czerwonego (przejazd na zielonej strzałce) należy podać wartość natężenia pojazdów wykorzystujących tę możliwość. Do obliczeń określa się również natężenia ruchu pieszego na tych przejściach, które kolidują z dozwolonymi relacjami skrętnymi. Uwzględnienie wpływu koordynacji sygnalizacji wymaga ustalenia typu dopływów dla każdego wlotu. Do wyznaczenia dostosowanych natężeń ruchu niezbędny jest współczynnik wahań w godzinie szczytu, który wstępnie przyjmuje wartość: 0,9. Użytkownik ma możliwość zmiany tego parametru w zależności od specyfiki skrzyżowania. Przykładowy widok ekranu formularza „Parametry geometryczno-ruchowe" przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Widok ekranu formularza „Parametry geometryczno-ruchowe"
Fig.3. Screen of form "Parametry geometryczno-ruchowe"

3.3. Formularz „Schemat skrzyżowania"

Uproszczony schemat skrzyżowania można wywołać z każdego miejsca w programie. Jest on uaktualniany po każdorazowej zmianie numeru węzła i przedstawia liczbę pasów na każdym z wlotów oraz relacje na tych pasach. Formularz stanowi wizualizację danych dotyczących organizacji ruchu na skrzyżowaniu.

3.4. Formularz „Sygnalizacja"

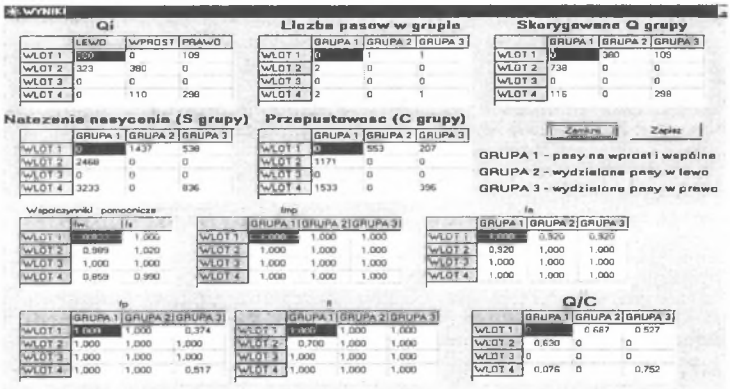
Cechy sygnalizacji charakteryzują: schemat faz, długości sygnałów zielonych oraz czasów międzyzielonych. Dodatkowo należy również określić aktywne przejścia dla pieszych w danej fazie ze względu na możliwość kolizji z relacjami skrętnymi. Czas międzyzielony zdefiniowano jako czas między chwilami zakończenia i rozpoczęcia sygnałów zielonych dla dwóch wzajemnie kolizyjnych strumieni ruchu, z których pierwszy jest strumieniem

ewakuującym się, a drugi wjeżdżającym [8]. Przyjęcie niniejszej definicji umożliwia w przypadku standardowych prostych (bez podfazy) programów sygnalizacyjnych wyznaczenie długości cyklu jako sumy długości sygnałów zielonych oraz czasów międzyzielonych.

3.5. Formularz „Wyniki"

Formularz wynikowy prezentuje zarówno końcowe wartości parametrów przepustowościowych, jak i współczynniki pomocnicze wyznaczane w poszczególnych krokach obliczeń. Umożliwia to szybką weryfikację i wykrycie błędów.

Wybór opcji „Zapisz" powoduje zapamiętanie obliczonych parametrów przepustowościowych w tablicy, która jest wykorzystywana przy wizualizacji bazy danych. Przykładowy widok ekranu formularza „Wyniki" przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Widok ekranu formularza „Wyniki"
Fig.4. Screen of form "Wyniki"

4. PODSUMOWANIE

W analizie rozmieszczenia zamknięć na sieci niezbędna jest ocena przepustowości elementów składowych układu komunikacyjnego. Umożliwia ona racjonalne planowanie i usprawnianie ruchu w sieciach drogowych podczas przeprowadzenia robót drogowych. Przepustowość pojedynczych skrzyżowań, ze względu na występujące w nich największe zaburzenia ruchu potoków pojazdów, ma decydujące znaczenie dla przepustowości sieci. Z tego powodu skrzyżowania są krytycznym elementem sieci ulicznej.

W dużych aglomeracjach miejskich skrzyżowania z sygnalizacją świetlną stanowią od 10 do 30 procent wszystkich węzłów. W związku z tym optymalizacja zamknięć w sieci drogowej wymaga zbudowania efektywnego narzędzia wyznaczającego zarówno przepustowość skrzyżowań tego typu, jak i współpracującego bezpośrednio z opracowaną wcześniej bazą danych.

Najistotniejszym kryterium w wyborze metody wyznaczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną jest zbieżność z warunkami rzeczywistymi. Obok brytyjskiej metody TRRL w Polsce stosuje się również metodę HCM-85 uwzględniającą zmiany wprowadzone w 1994 roku. Na jej podstawie zbudowano aplikację komputerową „SSS", służącą do wyznaczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną.

Konieczność stałego uaktualniania parametrów przepustowościowych sieci wymaga zastosowania odpowiednich narzędzi umożliwiających bezpośrednie korzystanie z bazy danych. Program „SSS" dostosowany jest do współpracy z bazą danych wykorzystywaną w zamknięciach drogowych. Stanowi on pomocne narzędzie w budowanym systemie optymalizacyjnym. Praca nad programem ma charakter otwarty. Jest on poddawany ciągłym uzupełnieniom i weryfikacjom.

Literatura

1. Woch J., Heinrich L., Baron K.: Temat nr 3144/16. Metody i narzędzia informatyczne planowania i organizacji zamknięć torowych - prace naukowo-badawcze i rozwojowe Centralnego Ośrodka Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa. Katowice 1984.
2. Żochowska R.: Koordynacja zamknięć w gęstych sieciach drogowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Transport, Zeszyt nr 41. Gliwice 2000.
3. Żochowska R.: Optymalizacja zamknięć w złożonych sieciach drogowych. Materiały konferencji nt. Telematyka Systemów Transportowych, Ustroń 2001.
4. Komar Z., Wolek Cz.: Inżynieria ruchu drogowego – wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1994.
5. Żochowska R., Karoń G.: Informatyczne narzędzia wspomagania planowania zamknięć w sieciach transportowych – wizualizacja bazy danych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, Zeszyt nr 42, Gliwice 2001.
6. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board Special Report 209. Washington, D.C. 1994.
7. http://nationalacademies.org/trb/ - internetowa witryna Transportation Research Board.
8. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. WKiŁ, Warszawa 1999.

Recenzent: Dr hab. Tomasz Ambroziak, prof. Pol. Warszawskiej

Abstract

Estimation of traffic component capacity makes rational planning and traffic improving possible. It is essential in analysis of road closures placing during road works. The capacity of single intersection is of great importance for the network capacity and for this reason intersections are critical component of the road network.

In large centres of agglomerations the rate of signalized intersections amounts from 10 to 30 percent. In this connection the necessity to design efficient tool for evaluating capacity parameters of such intersections occurs. The application should also be interactive with database worked out earlier.

The most essential criterion of selection of method calculating signalized intersections capacity is similarity to real polish conditions. The "SSS" program has been built on the base of HCM-85 method as a helpful tool for the road closures optimization system. The program is adapted for cooperation with the database used in the road closures system. It also enables continuous updating of road network capacity parameters. The work on the program has not been finished. It has been still developing and verifying.