

Renata ŻOCHOWSKA

WYZNACZANIE OPÓŹNIEŃ DLA RÓŻNYCH WARIANTÓW ORGANIZACJI RUCHU W CZASIE ZAJĘCIA PASA DROGOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono różne warianty organizacji ruchu w czasie zajęcia pasa drogowego oraz algorytmy wyznaczania opóźnień w przypadku utrzymania ruchu oraz przeniesienia obciążenia zamykanego odcinka na drogi okrężne. W celu usprawnienia obliczeń opracowano aplikację komputerową, która jest istotnym elementem systemu optymalizacji zamknięć drogowych.

DELAY EVALUATION FOR TRAFFIC ORGANIZATION VARIANTS DURING ROAD LANE OCCUPATION

Summary. The traffic organization variants during road lane occupation have been presented in the article. The algorithms of delay evaluation for traffic providing situation and closed section volume diversion into other roads have been performed either. To make the calculation more efficient the software application has been designed. The application is an essential component of road closure optimisation system.

1. WPROWADZENIE

W złożonych sieciach drogowych [1] czynnikiem decydującym o wyborze danej trasy jest czas podróży. Częściowe lub całkowite zajęcie pasa drogowego zwykle prowadzi do znacznych opóźnień doświadczanych przez poszczególnych użytkowników drogi oraz zmiany dotychczasowego rozkładu potoków ruchu.

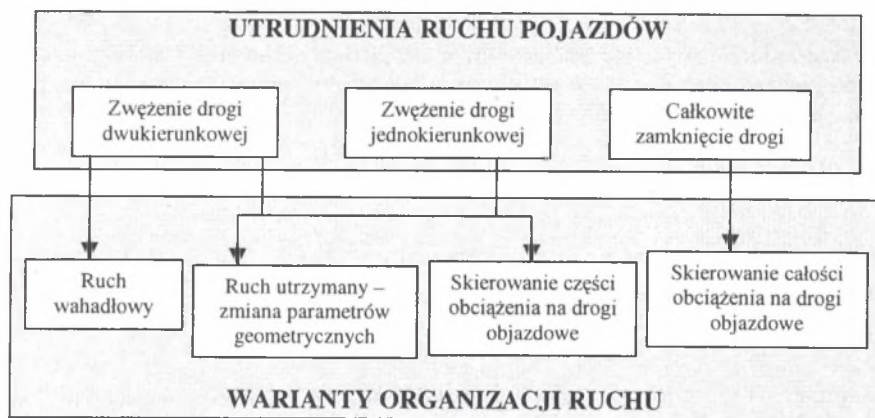
Opóźnienia w okresie zamknięcia wyrażają dodatkowy czas zużyty przez pojedynczy pojazd na przejazd z węzła wyjazdowego do węzła docelowego po wprowadzeniu zamknięcia pewnego fragmentu sieci w stosunku do czasu przejazdu pomiędzy tymi dwoma węzłami w sytuacji, gdy w sieci nie występuje analizowane zamknięcie [2]. Ponieważ jest to miernik bezpośrednio odczuwalny przez kierowców, na nim opiera się ocena jakości proponowanego projektu.

Problem wyznaczania opóźnień dla różnych wariantów organizacyjnych ma charakter złożony. Stąd korzystne jest rozłożenie sieci drogowej na pewną liczbę mniejszych części o możliwych do przyjęcia rozmiarach. Wprowadzie „dzisiejsza technika komputerowa osłabiła dążenie do minimalizacji kosztów obliczeń”, jednak ze względu na to, że analizy przepustowości podstawowych elementów sieci oraz proces rozkładu potoków ruchu na sieć

mają charakter iteracyjny, w którym niezbędne jest sprawdzenie wielu pośrednich wariantów ruchu i sieci, „nie można lekceważyć możliwości uproszczenia modeli” [1].

2. WARIANTY ORGANIZACJI RUCHU W CZASIE ZAJĘCIA PASA DROGOWEGO

Wprowadzenie zamknięcia powoduje pewne zmiany struktury i parametrów sieci. Na podstawie „Instrukcji oznakowania robót prowadzonych w pasie drogowym” [3] opracowano schemat zależności wariantów organizacji ruchu w czasie zajęcia pasa drogowego od utrudnień ruchu pojazdów, który przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Schemat zależności wariantów organizacji ruchu od utrudnień ruchu pojazdów
Fig.1. The scheme of relationship of traffic organization variants to traffic difficulties

W zależności od utrudnienia spowodowanego przez wprowadzane zamknięcie, analiza obejmuje następujące rozwiązania organizacyjne:

- utrzymanie ruchu przy zwężonym odcinku jezdni,
- wprowadzenie jednego lub kilku objazdów,
- wprowadzenie ruchu wahadłowego.

Dla każdego z wariantów wyznaczane są globalne czasy podróży ze wzoru [2]:

$$F_{GCP} = \sum_{(i,k) \in L} q_{ik} \cdot t_{ik} \quad (1)$$

gdzie:

- L - zbiór relacji kierunkowych pomiędzy węzłami elementarnymi wszystkich węzłów podstawowych (1, ..., m) analizowanej sieci,
- q_{ik} - natężenie k -tej relacji i -tego wlotu węzła należącego do zbioru L ,
- t_{ik} - czas podróży jednostki ruchowej korzystającej z k -tej relacji na odcinku łączącym poprzedni węzeł podstawowy z i -tym wlotem węzła należącego do zbioru L .

Dla r -tego wariantu organizacji ruchu wyznaczane są globalne opóźnienia D_r , jako:

$$D_r = F_{GCr} - F_{GCP_0} \quad (2)$$

gdzie:

- F_{GCr} - globalny czas podróży po wprowadzeniu r -tego wariantu,
- F_{GCP_0} - globalny czas podróży przed wprowadzeniem ograniczenia ruchu.

Ponieważ istotą optymalizacji sieci transportowych jest minimalizacja globalnych opóźnień sieci transportowych [1], optymalny wariant organizacji ruchu powinien zapewnić odpowiednią przepustowość oraz najmniejsze opóźnienia pojazdów. Rozwiązanie o minimalnych globalnych opóźnieniach:

$$D^* = \min_r D_r, \quad (3)$$

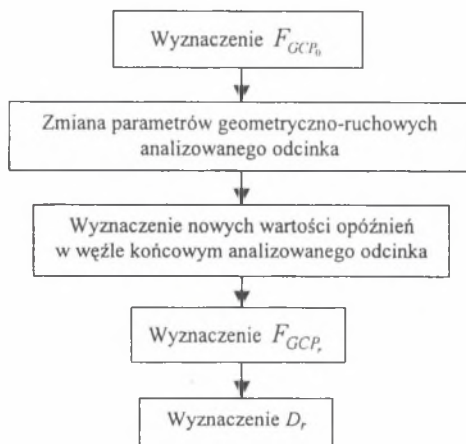
gdzie:

- D^* - optymalne globalne opóźnienie,
- r - numer analizowanego wariantu organizacji ruchu,
- D_r - globalne opóźnienie dla r -tego wariantu organizacyjnego

staje się tymczasowym rozwiązaniem optymalnym wykorzystywanym w dalszych obliczeniach i analizach.

3. UTRZYMANIE RUCHU PRZY ZWĘŻONYM ODCINKU JEZDNI

Na ulicach w małym stopniu obciążonych ruchem, na drogach lokalnych lub podporządkowanych często występuje sytuacja, kiedy przy zwężeniu obszaru drogi lub zmianie liczby pasów ruchu w dalszym ciągu jest utrzymany bez konieczności wprowadzania ruchu wahadłowego. Zakładając, że zmiana parametrów geometryczno-ruchowych analizowanego odcinka nie wpływa na wartości opóźnień i czasy podróży dla innych odcinków w sieci, można wyznaczać globalne opóźnienie w sieci opierając się na schemacie przedstawionym na rys.2.

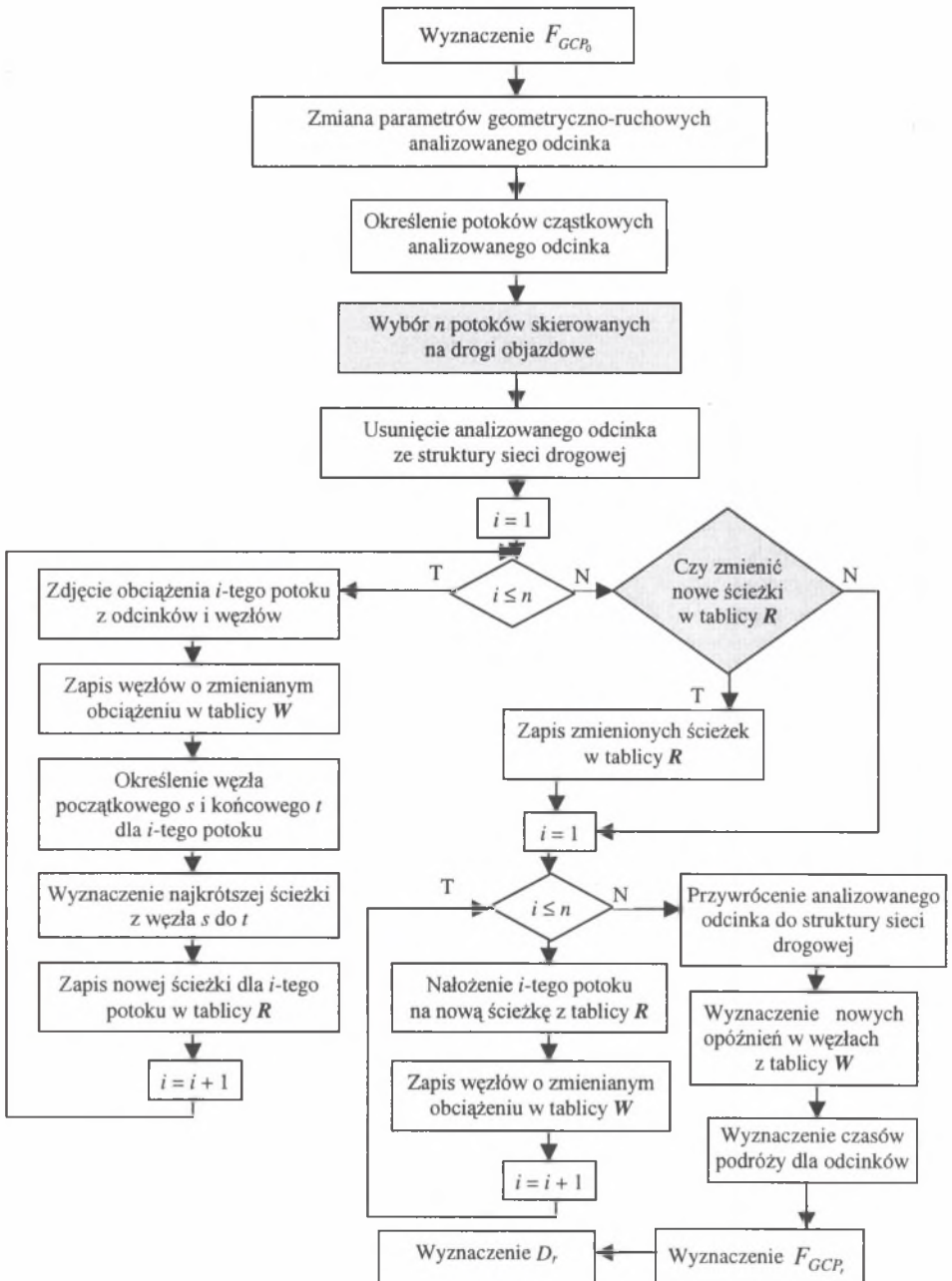


Rys.2. Schemat wyznaczania globalnego opóźnienia przy utrzymaniu ruchu

Fig.2. The scheme of total delay evaluation for traffic-kept situation

4. WPROWADZENIE JEDNEGO LUB KILKU OBJAZDÓW

W sytuacji, gdy zwężenie pasa drogowego powoduje znaczne opóźnienia, lepszym rozwiązaniem organizacyjnym może się okazać przeniesienie jednego lub kilku potoków cząstkowych zwężanego odcinka na drogi objazdowe. Schemat wyznaczania globalnego opóźnienia przy wprowadzeniu jednego lub kilku objazdów przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Schemat wyznaczania globalnych opóźnień przy wprowadzeniu objazdów
 Fig.3. The scheme of total delay evaluation for transferring the volume into diversions

W przypadku większej liczby potoków przejeżdżających przez analizowany odcinek korzystne może się okazać skierowanie kilku z nich na częściowo pokrywające się lub zupełnie rozbieżne nowe ścieżki. Dla każdej konfiguracji należy przeprowadzić oddzielną analizę.

W przedstawionym na rys.3 schemacie wykorzystano dwie macierze pomocnicze:

- *R* - w której zapisywane są nowe ścieżki, na jakie zostają przeniesione potoki cząstkowe analizowanego odcinka sieci,
- *W* - w której zapisywane są numery węzłów, gdzie nastąpiła zmiana parametrów ruchowych. Dzięki wprowadzeniu tej macierzy przy wyznaczaniu globalnych opóźnień nie ma konieczności przeliczania opóźnień we wszystkich węzłach sieci, ale tylko w tych, których numery są umieszczone w macierzy *W*.

Na rys.3 szarym kolorem zaznaczono bloki uwzględniające decyzje użytkownika. Jest to konieczne ze względu na złożoność problemu, gdzie często o wyborze optymalnej drogi objazdowej mogą decydować inne czynniki niż minimalne opóźnienia w sieci, np. bezpieczeństwo ruchu.

5. NARZĘDZIA INFORMATYCZNE WSPOMAGAJĄCE WYZNACZANIE OPÓŹNIEŃ W CZASIE ZAJĘCIA PASA DROGOWEGO

Ze względu na to, że wyznaczanie globalnych opóźnień w okresie zamknięcia wymaga w niektórych przypadkach przeliczenia parametrów przepustowości całej sieci drogowej, opracowano aplikację komputerową OZ_D (Optymalizacja Zamknięć – opóźnienie D), która pomaga wybrać optymalne rozwiązanie organizacji ruchu w czasie zamknięcia lub ograniczania ruchu. Aktualna wersja programu składa się z następujących formularzy podstawowych:

- „Wyznaczanie opóźnień”,
- „Zamknięcie”,
- „Dane”,
- „Drogi objazdowe”,
- „Ruch utrzymany”.

Przy wyznaczaniu parametrów przepustowości elementów sieci, aplikacja korzysta z procedur obliczeniowych stosowanych powszechnie metod:

- HCM-94 - do wyznaczania przepustowości i opóźnień na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną [4],
- metodę polską - do wyznaczania przepustowości i opóźnień na skrzyżowaniach bez sygnalizacji świetlnej [5, 6],
- BPR-64 - do wyznaczania czasów podróży dla odcinków międzywęzłowych [7].

Najkrótsze ścieżki pomiędzy dowolnymi węzłami wyznaczono metodą Dijkstry [8].

Po uruchomieniu aplikacji na ekranie monitora wyświetlony zostaje formularz główny „Wyznaczanie opóźnień”, przedstawiony na rys.4. Pierwszym etapem pracy jest obliczenie globalnego czasu podróży w sieci w czasie godziny szczytowej przy założonej prędkości ruchu. Dopiero po wyznaczeniu tego czasu można przejść do dalszych opcji.

Wybór opcji WPROWADZENIE OGRANICZENIA powoduje przejście do formularza pomocniczego umożliwiającego określenie rodzaju utrudnienia w ruchu oraz numeru zamykanego odcinka drogi. Następnie zostają wyświetlone opcje umożliwiające wybór dopuszczalnego rozwiązania organizacyjnego na podstawie schematu przedstawionego na rys.1. Widok formularza „Zamknięcie” po wyborze opcji „Zwężenie drogi” przedstawiono na rys.5.

Wybór opcji „Ruch utrzymany” powoduje przejście do procedury opisanej w rozdz.3. Po wprowadzeniu odpowiednich zmian należy wybrać opcję OBLICZENIA, aby wyznaczyć globalny czas podróży po wprowadzeniu ograniczenia ruchu oraz globalne opóźnienie. Widok formularza „Ruch utrzymany” po przeprowadzeniu obliczeń przedstawiono na rys.6.

Rys.4. Widok formularza „Wyznaczanie opóźnień”
 Fig.4. The screen of form „Wyznaczanie opóźnień”

Rys.5. Widok formularza „Zamknięcie” po wyborze opcji „Zwężenie drogi”
 Fig.5. The screen of form „Zamknięcie” after choice “Zwężenie drogi”

Rys.6. Widok formularza „Ruch utrzymany”
 Fig.6. The screen of form „Ruch utrzymany”

Wybór opcji „Skierowanie części obciążenia na drogi objazdowe” powoduje przejście do obliczeń zgodnie z algorytmem przedstawionym na rys.3. Po wprowadzeniu odpowiednich zmian należy wybrać opcję OBLICZENIA, aby wyświetlić dane dotyczące potoków cząstkowych zamykanego odcinka ulicy: numer, węzeł początkowy i końcowy, ścieżka, natężenie oraz prawdopodobieństwo wystąpienia określonego potoku cząstkowego w natężeniu analizowanego odcinka.

Po wyborze przez użytkownika odpowiedniej konfiguracji potoków skierowanych na drogi objazdowe, program wyznacza najkrótsze ścieżki dla wybranych potoków cząstkowych bez uwzględniania zamykanego odcinka. Użytkownik ma możliwość akceptacji lub zmiany proponowanych ścieżek.

Po zatwierdzeniu nowych ścieżek program wykonuje dalsze obliczenia konieczne do wyznaczenia globalnego czasu podróży w sieci w przypadku przeniesienia części obciążenia na wybrane drogi objazdowe. Widok formularza „Drogi objazdowe” po przeprowadzeniu obliczeń przedstawiono na rys.7.

ODCINEK nr: 15007

SZEROKOŚĆ ODCINKA: 4 m LICZBA PASÓW: 1

RELACJE KIERUNKOWE NA POSZCZEGÓLNYCH PASACH:

PAS 1 PAS 2 PAS 3 PAS 4

lewo.wprost

POTOKI Zamknij

Zaznacz potoki skierowane na drogi objazdowe:

NR	POTOK	ŚCIEŻKA	Q	z
32	19.7	19.2p-20.1w-21.1w-22.1w-23.11-15.2w-7.2w	20	0.02
36	20.7	20.2p-21.1w-22.1w-23.11-15.2w-7.2w	26	0.03
38	23.1	23.3p-15.2w-7.2-6.3w-5.3w-4.3w-3.3w-2.3w-1.3p	236	0.21
39	23.4	23.2w-15.2w-7.2-6.3w-5.3w-4.3p	32	0.03
40	23.7	23.2w-15.2w-7.2w	299	0.27
41	23.9	3p-15.2w-7.2-6.3w-5.3w-4.3-12.4p-11.3w-10.3w-5	15	0.01

GLOBALNY CZAS PODRÓŻY: 476286 s

GLOBALNE OPÓŹNIENIE: 122712 s

Rys.7. Formularz „Drogi objazdowe” po przeprowadzonych obliczeniach
Fig.7. The form „Drogi objazdowe” after evaluations

6. PODSUMOWANIE

Podczas planowania zamknięć drogowych należy przeanalizować różne rozwiązania organizacyjne w czasie ograniczania ruchu na odcinku drogi. Dopuszczalne warianty zależne są od utrudnień w ruchu pojazdów. W artykule jako kryterium wyboru optymalnego rozwiązania przyjęto minimalizację globalnych opóźnień doświadczanych przez użytkowników sieci drogowej.

W przypadku możliwości utrzymania ruchu przy zwężonym odcinku jezdni zmianie ulegają jedynie parametry geometryczno-ruchowe analizowanego odcinka. Uproszczone wyznaczanie globalnych opóźnień polega na obliczeniu nowych wartości opóźnień w węźle końcowym analizowanego odcinka sieci.

Przy przeniesieniu jednego lub kilku potoków cząstkowych zamykanego odcinka na drogi objazdowe, wyznaczanie globalnych opóźnień ma charakter bardziej złożony. Algorytm obliczeniowy zawiera bloki decyzyjne związane z wyborem potoków kierowanych na drogi objazdowe oraz propozycjami nowych objazdów. Problemy te należy rozwiązać na etapie planowania.

Opierając się na opracowanych algorytmach wyznaczania opóźnień zbudowano aplikację komputerową OZ_D, która umożliwia analizę różnych wariantów organizacyjnych w czasie zamknięcia drogi. Stanowi ona również istotny element systemu optymalizującego zamknięcia drogowe pod względem koordynacji zamknięć jednoczesnych projektowanego w Zakładzie Inżynierii Ruchu Politechniki Śląskiej.

Literatura

1. Woch J.: Kształtowanie płynności ruchu w gęstych sieciach transportowych. Polska Akademia Nauk – Oddział w Katowicach. Komisja Transportu. Wydawnictwo Szumacher, Kielce 1998.
2. Żochowska R.: Organizacja ruchu w czasie zamknięć drogowych. Materiały Konferencyjne I Konferencji naukowo-technicznej nt. „Systemy transportowe”. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
3. Instrukcja oznakowania robót prowadzonych w pasie drogowym. Monitor Polski, załącznik do nru 24, poz.184 z dn. 18 czerwca 1990.
4. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board Special Report 209. Washington, D.C. 1994.
5. Instrukcja obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej. Politechnika Krakowska – GDDP, Warszawa 1988.
6. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. WKiŁ, Warszawa 1999.
7. Traffic Assignment Manual. Bureau of Public Road. U.S. Dept. of Commerce. Urban Planning Division, Washington, D.C. 1964.
8. Dijkstra E.W.: Umiejętność programowania. WNT, Warszawa 1985.

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

Abstract

The analysis of the organization variants during traffic limits on the section is necessary during road closure planning. The acceptable variants are dependant on impediments in traffic. In the article the user total delay minimization is used as optimal solution criterion.

When the ability of traffic providing on narrowed road section occurs only geometric and traffic parameters of analysed section change. The simplified total delay evaluation depends on the delays in destination node.

When one or several flows of closed section is divided into other roads, the total delay evaluation is more complex. The algorithm includes decision elements connected with divided flows choice and new detours propositions. The problems should be solved on planning stage.

On the basis of the delay evaluation algorithms the software application “OZ_D” has been constructed. It makes the analysis of organization variants during road closure possible. It is important part of road closure optimisation system compiled Traffic Engineering Department of Silesian Technical University.