ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 50 Nr kol. 1607

Elżbieta DUDA

ANALIZA STRUMIENI RUCHU DROGOWEGO NA WLOCIE MAŁEGO RONDA NA PODSTAWIE ODSTĘPÓW CZASU POMIĘDZY NADJEŻDŻAJĄCYMI NA WLOT POJAZDAMI

Streszczenie. W artykule opisano aplikację komputerową składającą się z dwóch modułów: pierwszy moduł to procedura obliczania przepustowości małych rond wraz z oceną warunków ruchu. Drugi to symulacja zachowania się potoków ruchu na małym rondzie, który jest programem rozwojowym. Dla utworzonego generatora natężeń na wlotach (z modułu symulatora) zgodnego z przesuniętym rozkładem wykładniczym wykonano pomiary odstępów czasu pomiędzy pojazdami zgłaszającymi się na wlotach małego ronda, a otrzymane wyniki zweryfikowano algorytmem J. Węgierskiego do poszukiwania strumieni Poissona w potokach ruchu. Budowa generatora odstępów czasowych zgodnego z przesuniętym rozkładem wykładniczym związana jest z zapewnieniem pojazdom bezpiecznego odstępu.

ANALYSIS OF THE TRAFFIC FLOWS AT THE SMALL TRAFFIC CIRCLE INLET DUE TO OFFSETS BETWEEN VEHICLES APPEARING AT THE INLET

Summary. The article deals with the description of computer application that contains two modules. The firs one is a procedure of capacity calculations for the small traffic circles along with evaluation of the traffic conditions. And the second one is a simulation of the traffic flow at the small traffic circle. The measurements of the offset between vehicles registered on the small traffic circle inlets had been made for a created generator (from the simulator module) compatible with the shifted exponential distribution. The results had been verified with the Wegierski algorithm for locating Poisson flows for the traffic flow. Architecture of the generator compatible with the shifted exponential distribution is correlated with providing the vehicle safety distance.

1. SYMULACJA KOMPUTEROWA JAKO METODA BADAWCZA - WADY I ZALETY SYMULACJI

Ten sam system może być przedstawiony przez kilka różnych modeli symulacyjnych, istnieje więc możliwość, że wyniki otrzymane za pomocą jednego modelu będą lepsze od wyników uzyskanych za pomocą innego modelu. Jest też możliwe, iż żaden z dostępnych

modeli nie będzie dawać zadowalających wyników. Bardzo ważne jest odpowiednie dobranie i dostosowanie modelu symulacyjnego do systemu, który ma być reprezentowany.

Dyskretna symulacja komputerowa jest jedną z wielu metod badania systemów. Może być stosowana w odniesieniu do systemów hipotetycznych, rzeczywistych, a także w wielu różnych celach, dlatego okazała się skuteczną metodą badawczą. Istnieje wiele metod zakładających alternatywne podejście do badania danego systemu. Niektóre z tych metod nie wymagają symulacji. Czasami struktura systemu i zachowanie się elementów składowych oraz związki i wzajemne oddziaływania między nimi mogą być matematycznie sformułowane w taki sposób, że rozwiązania dotyczące modelu matematycznego nie wymagają chronologicznego generowania historii stanów. Inne metody wymagają bezpośredniej obserwacji. Jeszcze inne metody zakładają konstruowanie i odpowiednie pomiary modeli fizycznych i fizycznych analogów systemu. W warunkach laboratoryjnych często można stosować modele fizyczne lub analogi, które mogą dostarczyć wystarczających, informacji o badanym systemie. Jest możliwe, iż żadna z alternatywnych metod nie da się zastosować w badaniach danego systemu i symulacja jest jedyną metodą, za pomocą której można przeprowadzić systematyczne badania ilościowe. Symulacja komputerowa ma wiele oczywistych zalet, które mogą ją czynić metodą pożądaną. Z drugiej strony dyskretne modele symulujące mają również pewne wady. W szczególności są w pewnym sensie:
- sztuczne - ponieważ naturalne zjawiska są przez nie wyrażane w sposób czysto symboliczny i logiczny,
- nieelastyczne - ponieważ nawet małe zmiany ideowe w jakimkolwiek aspekcie badań mogą pociągnąć za sobą drastyczne zmiany modelu oraz programu symulacyjnego,
- rozwlekłe - ponieważ program symulacyjny wymaga danych oraz procedur obliczeniowych, które muszą być określone bardzo szczegółowo i wyczerpująco.

Dyskretne metody symulacyjne mają jednak wiele istotnych zalet. W szczególności są one:
- całkowicie powtarzalne - ponieważ użytkownik w pełni steruje rozwojem modelu oraz wykorzystaniem programu symulacyjnego,
- idealne przy zbieraniu i przetwarzaniu danych ilościowych - ponieważ system liczący, który realizuje program symulacyjny, jest jednocześnie potężnym systemem przetwarzania danych,
- wolne od ograniczeń fizycznych właściwych dla badanego systemu - ponieważ jest on przedstawiony w czysto symbolicznej i logicznej formie.

Cel lub zbiór celów, któremu mają służyć badania symulacyjne, może mieć duże znaczenie przy ocenie celowości takich badań oraz ich formy. Jeżeli nawet dla osiągnięcia jakiegoś celu jest pożądane badanie symulacyjne, to może ono być niepożądane, jeżeli chodzi o jakiś inny cel. Chociaż przy jednym celu badanie symulacyjne ma daną formę, to przy innym celu forma badania może być zupełnie inna. Badania symulacyjne mogą służyć wielu różnym celom, przy czym niektóre z nich można scharakteryzować następująco:
- Ustalenie ocen oraz wytycznych. Względnie prosty model i program symulacyjny mogą niekiedy służyć do określenia ocen i wytycznych takich parametrów, jak wymagana lub oczekiwana wydajność systemu, wymagany lub oczekiwany czas odpowiedzi systemu, słabe punkty systemu, podatność systemu na uszkodzenia itp.
- Eksperymentalne projektowanie systemu. Można symulować system w celu wskazania sposobów jego ulepszenia. W takim przypadku można sukcesywnie powtarzać cykl składający się z kolejnych etapów symulowania systemu, analizowania wyników i modyfikowania systemu w sposób zgodny z tymi wynikami dopóki nie uzyska się zadowalającego projektu systemu.
- Szczegółowa ocena wydajności. W celu dokonania wyczerpującej oceny systemu rzeczywistego lub hipotetycznego w różnych warunkach, można czasami zastosować stosunkowo pełne i szczegółowe badanie symulacyjne [1].

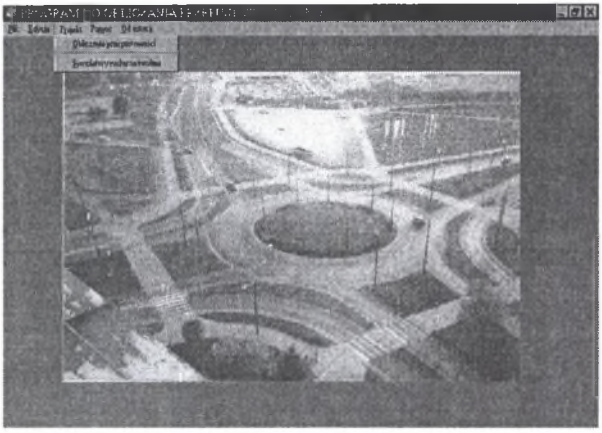
Bardzo ważna jest budowa modelu bądź metodą stałego kroku, bądź metodą kolejnych zdarzeń. Symulacja przejazdu pojazdów przez małe rondo będzie oparta na metodzie kolejnych zdarzeń.

2. PROGRAM

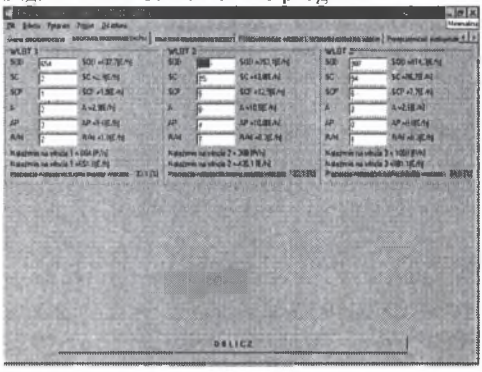
Program napisany został w języku programowania Delphi 6,0, cieszącym się dużym uznaniem użytkowników

2.1. Moduł obliczający przepustowość małych rond

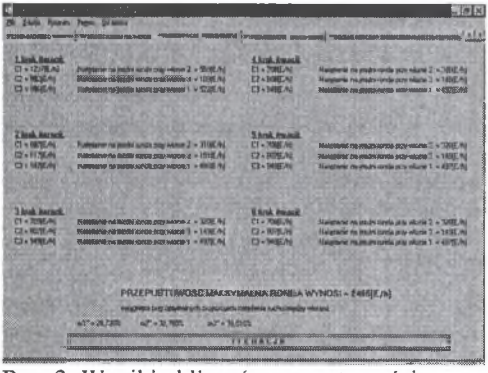
Działanie programu zakłada dialog z użytkownikiem poprzez kolejno wyświetlane przez program zakładki, które należy kolejno uzupełniać podając odpowiednie, wymagane do wprowadzenia wartości. Zakładki o podanych poniżej nazwach są ułożone w następującej kolejności: Dane geometryczne, Struktura rodzajowa 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



Rys. 1. Powitalne okno programu
Fig. 1. Main screen of the program



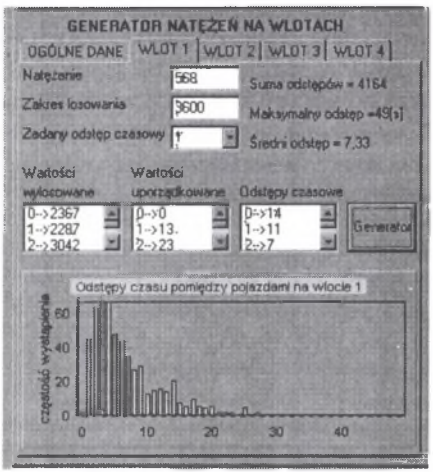
Rys. 2. Zakładka struktura kierunkowa ruchu – ustawienia dla ronda trójwlotowego
Fig. 2. Direction traffic structure lap – settings for three-inlet traffic circle



Rys. 3. Wyniki obliczeń przepustowości maksymalnej małego trójwlotowego ronda o średnicy zewnętrznej 33 m.
Fig. 3. Results of calculations (max capacity); three-inlet traffic circle with 33 m diameter

ronda. Obliczenia przepustowości ronda dokonywane są zgodnie z procedurą iteracyjną zalecaną przez Instrukcję projektowania małych rond. Na rysunku 1 przedstawiono powitalne okno programu, za pomocą którego dokonuje się wyboru jednego z dwóch modułów. Natomiast na rysunkach 2 i 3 pokazano przykładowe dwa inne okna programu:
- struktura rodzajowa ruchu – okno dialogowe, dane wpisywane są przez użytkownika oraz
- przepustowość maksymalna – czyli wyniki iteracji.

2.2. Moduł symulacyjny

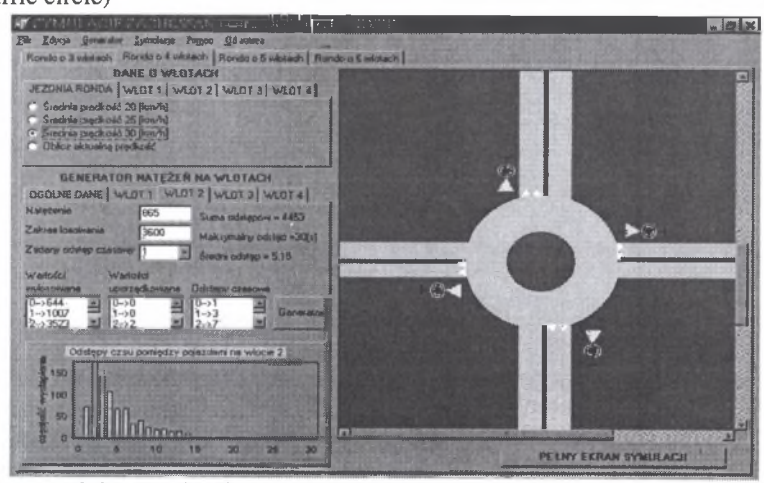


Rys. 4. Okno modułu symulacyjnego z generatorem natężeń na wlotach (aktualnie wygenerowane wartości dla wlotu 1 ronda czterowlotowego)

Fig. 4. Screen of the simulation module with a generator of the traffic flow at inlets (results for the first inlet of the four - inlet traffic circle)

Liczby generatora jednostajnego dają sumę niezależnych zmiennych wykładniczych o tym samym rozkładzie i stałej wartości średniej. Po dodaniu do rozkładu wykładniczego stałej wartości tzw. przesunięcia otrzymujemy przesunięty rozkład wykładniczy.

W powstającej symulacji komputerowej obrazującej zachowanie się pojazdów na małym rondzie zbudowano generator liczb pseudolosowych, w którym odstępy pomiędzy pojazdami dojeżdżającymi na wloty małego ronda mają przesunięty rozkład wykładniczy. Na rysunku 4 pokazano generator odstępów między pojazdami o rozkładzie przesuniętym wykładniczym wbudowany w moduł symulacyjny z przykładowymi wygenerowanymi wartościami odstępów czasu pomiędzy pojazdami z wlotu 1 ronda czterowlotowego, dla przykładowego natężenia zadanego przez użytkownika i wynoszącego 568 P/h i zadanym odstę-



Rys. 5. Okno modułu symulacyjnego

Fig. 5. Screen of the simulation module

pie czasowym wynoszącym 1 s (do wyboru odstępy: 1 sekunda, 0,5 sekundy). Dla każdego wlotu przedstawiona jest w postaci histogramu liczba powtórzeń każdego wylosowanego odstępu czasu pomiędzy pojazdami. W programie istnieje możliwość podglądu wylosowanych wartości odstępów. Dodatkowe dane otrzymane po generacji to: maksymalny wylosowany odstęp, średni odstęp i suma wszystkich odstępów. Pełne okno programu symulacyjnego przedstawiono na rysunku 5.

3. ANALIZA STRUMIENI RUCHU DROGOWEGO NA WLOCIE MAŁEGO RONDA

W celu określenia własności strumieni ruchu drogowego na wlotach małych rond przeprowadzono analizę strumieni dopływających na wloty pojazdów na podstawie pomierzonych ręcznie za pomocą stopera odstępów czasu pomiędzy nadjeżdżającymi pojazdami. Pomiary dokonano na jednym z wlotów małego ronda ulic: Nałkowskiej, Sikorskiego, Kużaja, Artura w Radzionkowie k. Bytomia. Jest to rondo zlokalizowane w śródmieściu, na którym można zaobserwować znaczne natężenie ruchu. Odstępy między pojazdami mierzono między tymi samymi punktami pojazdów, tzn. pomiędzy przodami a lukami pomiędzy tyłem i przodem kolejnych pojazdów przez trzy godziny przez dziesięć kolejnych dni. Odstępy czasowe analizuje się oddzielnie dla każdego pasa ruchu lub wszystkich pasów ruchu w jednym kierunku. Zaobserwowane wartości odstępów czasu różnią się od siebie znacznie, a ich wielkości zależą od panujących warunków ruchu.

Aby stwierdzić, czy w zaobserwowanych przedziałach czasowych potok ruchu był strumieniem Poissona, zebrane dane zweryfikowano algorytmem J. Węgierskiego wg [3]. Zebrane dane przedstawiono w tablicy 1, a wyniki podano w tablicy 2. Algorytm J. Węgierskiego można przedstawić następująco:

- przygotowanie uporządkowanego zestawienia danych o strumieniu zgłoszeń odstępów czasowych pomiędzy nadjeżdżającymi pojazdami,
- obliczenie średniego odstępu czasu pomiędzy zgłoszeniami zgodnie ze wzorem:

$$i_{średnie} = \frac{T}{N} \quad [\text{min}] \tag{1}$$

gdzie:
T – badany okres czasu,
N – liczba zgłoszeń w okresie T,

- obliczenie empirycznej wartości wariancji zgodnie ze wzorem (2) lub (3):

$$s^2 = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\left(i_j - i_{średnie}\right)^2 \quad [\text{min}^2] \tag{2}$$

$$s^2 = \frac{N\sum_{j=1}^{N} i_j^{\,2} - \left(\sum_{j=1}^{N} i_j\right)^2}{N^2} \quad [\text{min}^2] \tag{3}$$

- obliczenie empirycznej wartości parametru k zgodnie ze wzorem:

$$k = \frac{i_{średnie}^{\;2}}{s^2} \tag{4}$$

gdzie: s^2 - wartość wariancji.

Tablica 1

Wyniki pomiarów odstępów czasowych na wlocie małego ronda ulic: Nałkowskiej, Sikorskiego, Kużaja, Artura w Radzionkowie

Lp.	Data pomiaru (dzień tygodnia)	Całkowity czas pomiaru w [min]	Godziny prowadzenia pomiarów	Pomierzone odstępy czasowe pomiędzy momentami zgłoszeń w odległości 30 m od linii podporządkowania wlotu małego ronda
1.	15. 09. 2003 (poniedziałek)	174	13.00 – 15.54	1, 2, 0, 4, 8, 12, 7, 3, 6, 5, 0, 2, 9, 5, 2, 0, 2, 1, 1, 3, 6, 2, 1, 21, 11, 16, 14, 13, 10, 9, 2, 3.
2.	16. 09. 2003 (wtorek)	182	13.00 – 16.02	3, 6, 2, 1, 3, 2, 6, 7, 12, 17, 21, 19, 1, 7, 3, 1, 9, 1, 4, 3, 1, 4, 2, 12, 2, 22, 10, 1.
3.	17. 09. 2003 (środa)	175	13.00 – 15.55	3, 0, 1, 2, 0, 7, 9, 0, 18, 1, 16, 0, 19, 12, 1, 5, 3, 0, 1, 3, 2, 6, 9, 14, 2, 7, 8, 6, 13, 7, 4.
4.	18. 09. 2003 (czwartek)	249	13.00 – 17.09	11, 5, 6, 3, 2, 4, 5, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 3, 2, 6, 5, 9, 10, 15, 16, 4, 3, 15, 16, 10, 2, 6, 8, 9, 7, 30, 26.
5.	19. 09. 2003 (piątek)	255	13.00 – 17.15	2, 1, 5, 3, 2, 6, 4, 7, 6, 9, 4, 3, 5, 11, 8, 14, 10, 12, 5, 6, 2, 3, 1, 2, 4, 5, 3, 2, 3, 16, 19, 21, 32, 19.
6.	20. 09. 2003 (sobota)	278	13.00 – 17.38	4, 3, 5, 2, 0, 5, 1, 5, 3, 2, 1, 6, 2, 1, 5, 4, 9, 18, 16, 10, 21, 14, 12, 17, 11, 21, 29, 35, 2, 14.
7.	21. 09. 2003 (niedziela)	223	13.00 – 16.43	0, 0, 3, 2, 6, 3, 2, 1, 1, 1, 2, 5, 4, 6, 3, 2, 11, 2, 3, 2, 6, 5, 7, 3, 9, 8, 3, 5, 9, 23, 15, 12, 24, 19, 16.
8.	22. 09. 2003 (poniedziałek)	286	13. 00 – 17.46	1, 0, 2, 6, 2, 3, 1, 5, 9, 4, 7, 6, 2, 1, 6, 0, 3, 2, 8, 12, 4, 17, 9, 22, 29, 18, 13, 7, 2, 0, 31, 26, 12, 14, 2.
9.	23. 09. 2003 (wtorek)	229	13.00 – 16.49	2, 0, 0, 3, 5, 1, 1, 4, 0, 3, 2, 5, 6, 5, 11, 9, 5, 7, 15, 8, 18, 11, 8, 3, 2, 0, 0, 5, 9, 27, 17, 26, 11.
10.	24. 09. 2003 (środa)	266	13.00 – 17.26	7, 0, 1, 6, 2, 0, 3, 0, 2, 5, 2, 1, 0, 0, 2, 6, 4, 9, 3, 11, 9, 8, 17, 13, 16, 20, 15, 26, 14, 29, 35.
*wartość „0" – występuje wtedy, gdy czas przejazdu następnego pojazdu jest mniejszy niż 1 minuta.				

Źródło: Badania własne.

Dla wszystkich k bliskich jedności (zobacz wzór nr 1) przyjęto hipotezę statystyczną o strumieniu zgłoszeń Poissona, a więc o rozkładzie wykładniczym odstępów czasowych między zgłoszeniami pojazdów (patrz tablica 2). Następnie sformułowaną hipotezę statystyczną sprawdzono za pomocą testów χ^2 i Kołmogorowa – Smirnowa przy użyciu oprogramowania komputerowego, tj. pakietu Statgraphics. Dla otrzymanych wyników wykonano hipotezę o niezależności wartości odstępów czasowych pomiędzy zgłoszeniami przy wykorzystaniu testu χ^2, także dostępnego oprogramowania. Wszystkie z badanych i przeanalizowanych strumieni ruchu na wlocie małego ronda są strumieniami Poissona (zobacz tablica 2).

Tablica 2

Wyniki poszczególnych kroków algorytmu J. Węgierskiego

Lp.	Średni odstęp czasowy pomiędzy zgłoszeniami	Empiryczna wartość wariancji	Empiryczna wartość parametru k rozkładu:	Czy strumień zgłoszeń jest strumieniem Poissona?
1.	5,4375	27,27344	1,084073	tak
2.	6,5	40,03571	1,055308	tak
3.	5,645161	30,51405	1,044366	tak
4.	7,114286	46,67265	1,084426	tak
5.	7,5	47,30882	1,188996	tak
6.	9,266667	76,12889	1,12797	tak
7.	6,371429	38,46204	1,055459	tak
8.	8,171429	69,2849	0,963734	tak
9.	6,939394	47,6933	1,009685	tak
10.	8,580645	81,92092	0,898763	tak

Źródło: Badania własne.

Jedną z cech strumienia zgłoszeń Poissona jest rozkład wykładniczy odstępów czasowych pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami. Pomimo że wyniki badań odstępów czasowych na wlocie małego ronda wykazały zgłoszenia pojazdów zgodne z rozkładem Poissona, to w utworzonym module symulacyjnym odstępy czasu pomiędzy zgłaszającymi się pojazdami scharakteryzowano wykorzystując przesunięty rozkład wykładniczy. Budowa generatora zgodnego z przesuniętym rozkładem wykładniczym związana jest z tzw. bezpiecznym odstępem pomiędzy pojazdami – stąd przesuniecie w rozkładzie, które zapewnia pojazdom dojeżdżającym na wlot zachowanie bezpiecznego odstępu pomiędzy sobą.

Dla swobodnego ruchu na wlotach małych rond, gdy nie występują kolejki pojazdów i nie ma przeszkód ruchowych, można stosować przesunięty rozkład wykładniczy jako charakteryzujący odstępy czasowe pomiędzy dopływającymi pojazdami. Potwierdza to zarówno literatura o tej tematyce, jak i bezpieczeństwo ruchu drogowego związane z koniecznością zachowania bezpiecznego odstępu pomiędzy pojazdami.

Literatura

1. Evans G.W., Wallace G. F., Sutherland G. L: Symulacja na maszynach cyfrowych. WNT, Warszawa 1973.
2. Woch J.: Teoria potoków ruchu. Katowice, 2001 – w druku.
3. Węgierski J.: Metody probabilistyczne w projektowaniu transportu szynowego. WKiŁ, Warszawa 1973.
4. Mardoń L.: Rachunek probabilistyczny. Poradnik. MON, Warszawa 1973.
5. Pluciński A. E.: Elementy probabilistyki. PWN, Warszawa 1979.
6. Bartoszewicz J. i inni: Poradnik niezawodności, podstawy matematyczne. WPM, Warszawa 1982.
7. Praca zbiorowa pod redakcją Krawca S.: Laboratorium podstaw programowania w języku Turbo Pascal. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.

8. Jakubowski A.: Delphi 4. Tworzenie systemów baz danych. Helion, Gliwice 1999.
9. Praca zbiorowa pod redakcją Janeckiego R. i Pawlickiego J.: Laboratorium statystyki systemów i procesów transportowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 1997.

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

Abstract

The computer simulation is one of the methods of systems' testing. It may be applied to the hypothetical and real systems as well as many other issues. That is why it is a good testing method.

The analysis of the traffic flow at the inlet of a small traffic circle that had been manually registered due to the vehicles appearing at the inlet is clarified in this article. The traffic circle is located downtown and the flow is noticeable. Offsets had been recorded between the front of the first vehicle and the gap between backside of the car and the front of the next one. Measurements had been done for three hours during the next following days. All of the flows noticed at the inlet are the Poisson flows.