

**MAREK STAWOWY\*, PAWEŁ CHROBOT**

Warsaw University of Technology

Faculty of Transport

Politechniki 1, 00-662 Warszawa, Poland

\*Corresponding author. E-mail: mst@it.pw.edu.pl

## CALIBRATION OF TRAFFIC SIMULATION ON MOTORWAY

**Summary.** In the paper introduced method of calibration of traffic simulation on motorway using exemplar. The exemplar was other, recognized universally simulation programme. Described rules of activity calibrated of simulation programme. Put such oneself, sorted, exercise for both programmes. Introduced results of comparison both programmes operating on same streams of notifications at the beginning simulated of motorway section.

## KALIBRACJA SYMULACJI RUCHU POJAZDÓW NA AUTOSTRADZIE

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono metodę kalibracji symulacji ruchu pojazdów na autostradzie za pomocą wzorca. Wzorcem był inny, uznany powszechnie programu symulacji ruchu pojazdów. Opisane zostały zasady działania kalibrowanego programu symulacji. Postawiono takie same, wyselekcjonowane, zadanie przed oboma programami. Przedstawiono wyniki porównania obu programów operujących na tych samych strumieniach zgłoszeń na początku symulowanego odcinka autostrady.

### 1. WSTĘP

Sterowanie ruchem na autostradach sprowadza się zasadniczo do ograniczania prędkości, którego szczególnym przypadkiem jest nakaz zatrzymania. Taki przypadek występuje zwykle jako konsekwencja zdarzeń/wypadków drogowych lub innych wydarzeń spowodowanych przez np. zablokowanie pasa ruchu. W referacie zaprezentowano oprogramowanie, które jest rozwijane w celu symulacji tego typu nadzwyczajnych sytuacji. Tworzone oprogramowanie jest kalibrowane za pomocą innego uznanego programu symulacyjnego. Dla potrzeb kalibracji funkcjonalność kalibrowanego programu została ograniczona do oprogramowania wykonywalnego (opisanego poniżej), które zostało użyte jako wzór.

Implementacja symulacji ruchu na autostradzie za pomocą języka wysokiego poziomu została stworzona w celu przebadania wpływu urządzeń telematycznych na ruch pojazdów. Program ten został napisany w Delphi dla Windows w wersji 4.0. Zaimplementowano dwa elementy telematyki, a mianowicie znaki o zmiennej treści z ograniczeniem prędkości oraz blokadę pasów ruchu, np.: z powodu wypadku, na poprzedzającym ten wypadek odcinku autostrady. Oba te elementy telematyki autostradowej można łączyć symulując takie mechanizmy jak automatyczne zatrzymanie ruchu na poprzedzającym zdarzenie drogowe odcinku autostrady czy ograniczenie prędkości zależne od wielkości ruchu na następnym odcinku autostrady a także ograniczenie prędkości na odcinku poprzedzającym zdarzenie drogowe.

Program rejestruje czasy zgłoszeń pojazdów na każdym pasie ruchu w zdefiniowanych punktach kontrolnych oraz mierzy czasy obsługi pojazdów między tymi punktami kontrolnymi. Dodatkowo identyfikuje pojazdy na każdym z punktów kontrolnych co umożliwi rozróżnienie tych pojazdów, które nie jadą pasem, od którego rozpoczęły przemieszczanie się na symulowanym fragmencie autostrady.

W samej symulacji ruchu pojazdów na autostradzie zaimplementowano szereg elementów, które powodują takie a nie inne zachowanie się kierowców na autostradzie. Za szczególnym uwzględnieniem taki elementów jak:

- 1) Niezależne rozkłady czasów zgłaszania się pojazdów na każdym z pasów ruchu.
- 2) Niezależne rozkłady wielkości pojazdów na każdym z pasów ruchu
- 3) Podążanie pojazdów wg modelu Wiedemann'a [1]. Z uwzględnieniem hamowania krytycznego w czasie zbliżania się do poprzedzającego pojazdu.
- 4) Przypisywanie prędkość, którą chce osiągnąć kierowca, niezależnie dla każdego pasa ruchu wg rozkładu normalnego lub równomiernego.
- 5) Obowiązek jazdy prawym pasem oraz pierwszeństwo przy zmianie pasa ruchu.
- 6) Wyprzedzanie tylko z lewej strony.
- 7) Uwzględnienie predyspozycji kierowcy i pojazdu przy reakcji na znaki telematyczne.
- 8) Możliwość zmiany na inny rodzaj wszystkich rozkładów użytych w symulacji.

Na samym końcu porównane zostały wyniki symulacji z opisywanego tu programu z innym, uznanym tego typu programem VISSIM.

Założenia do programu były następujące:

- 1) Symulacja odcinka autostrady bez zjazdów i wjazdów.
- 2) Pojazdy pojawiają się na pasach w niezależnych rozkładach normalnych (lub innych) o różnych parametrach. Rozkład ten jest ograniczony minimalną odległością między pojazdami dlatego.
- 3) Każdy pojazd ma określoną długość. Długość ta jest przypisywana dla każdego pojazdu na podstawie rozkładu normalnego o różnych parametrach dla każdego pasa.
- 4) Program symuluje ruch na ograniczonej liczbie pasów od dwóch do pięciu.
- 5) Pojazdy podążają za sobą wg modelu Wiedemann'a [1]. Na rys. 1 przedstawiono odległości, przy których kierowcy reagują na pojazd poprzedzający. Pierwsze zwalnianie następuje w odległości  $S_{0AB}$ . Drugie, mocniejsze zwalnianie lub hamowanie następuje w odległości  $S_{1AB}$ . W odległości  $S_{2AB}$  następuje awaryjne hamowanie.

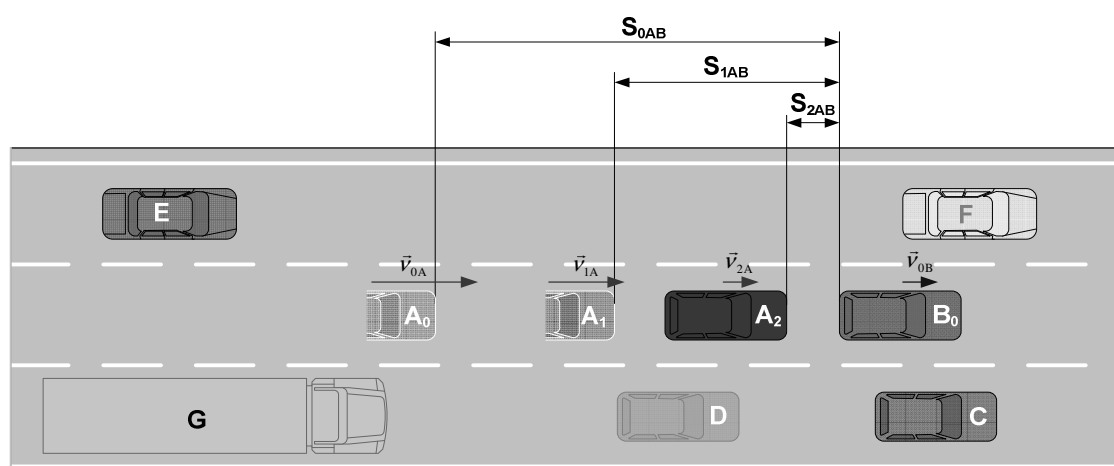


Fig. 1. Distances at which vehicles are slow down when became close to precede vehicle.

Rys. 1. Odległość przy której pojazdy zwalniają, kiedy znajdują się blisko poprzedzającego pojazdu

- 6) Każdy pojazd dąży do poruszania się zadaną prędkością. Prędkość ta jest przypisywana dla każdego pojazdu indywidualnie na podstawie rozkładu (np.: normalnego) o różnych parametrach dla każdego pasa.

- 7) Symulowane pojazdy dążą do poruszania się prawym skrajnym pasem. Gdy prawy pas (w stosunku do tego, którym pojazd aktualnie się porusza) jest wolny na określonym odcinku przed pojazdem to pojazd zmienia pas ruchu na ten prawy ( $S_{3EF}$  na rys. 2).

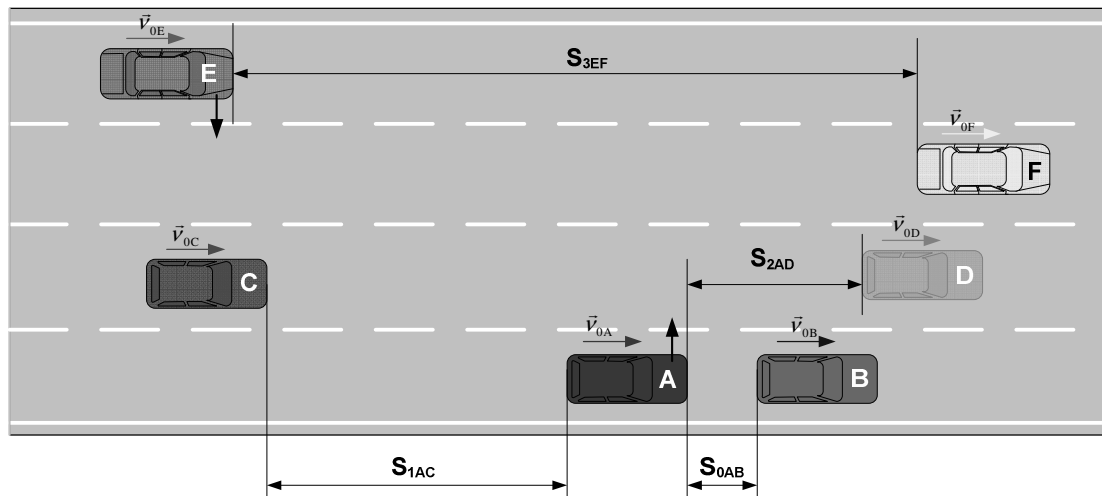


Fig. 2. Changing lane, if right lane is not occupied (situation above, green color vehicle E) and changing lane to left - overtaking (red vehicle A).

Rys. 2. Zmiana pasa ruchu, jeżeli prawy pas jest wolny (sytuacja powyżej, zielony pojazd E) i zmiana pasa na lewy - wyprzedzanie (czerwony pojazd A)

- 8) Zanim pojazd (A na rys. 2) zacznie wyprzedzać zrównuje prędkość z pojazdem poprzedzającym (B na rys. 2). Pojazd A będzie wyprzedzał jeżeli jego prędkość będzie mniejsza od prędkości zadanej.
- 9) Wyprzedzanie następuje tylko z lewej strony. Zanim pojazd zacznie wyprzedzać jest sprawdzana odległość między poprzednikiem (D na rys. 2) na pasie lewym (tym, który zostanie wykorzystany do wyprzedzania). Jest to odległość  $S_{2AD}$  na rys. 2. Jest sprawdzana też odległość następnego pojazdu (C na rys. 2) na tym pasie. Jest to odległość  $S_{1AC}$  na rys. 2.
- 10) Pierwszeństwo ma zawsze pojazd zmieniający pas na prawy. Gdy zdarzy się, że jednocześnie dwa pojazdy chcą zmienić pas na ten sam (jeden z lewej a drugi z prawej strony) to pierwszeństwo ma ten zmieniający pas na prawy.
- 11) Symulowane pojazdy reagują w różny sposób na znaki telematyczne na autostradzie:
- Zmieniają swoją zadaną prędkość na wartość, na którą wpływ mają:
    - rozkład normalny (np. określający odchylenie od wartości ograniczenia prędkości);
    - wielkość pojazdu;
    - aktualna prędkość zadana;
    - predyspozycji pojazdu;
    - predyspozycji kierowcy.
  - Chwila zamiany prędkości pojazdu jest zależna od predyspozycji kierowcy oraz prędkości aktualnej pojazdu.
  - Szybkość zmiany prędkości w celu osiągnięcia nowej prędkości zadanej jest zależna od predyspozycji kierowcy i pojazdu.
  - Omijają zablokowane pasy ruchu.
- Na rys. 3. zostały przedstawione odległości, który są brane pod uwagę w trakcie symulacji:
- $S_{0B}$  i  $S_{0A}$  – odległość przy której kierowca zauważa znak telematyczny.
  - $S_{1B}$  i  $S_{1A}$  – odległość przy której kierowca rozpoznaje znak telematyczny.
  - $S_{2B}$  i  $S_{2A}$  – podejmuje decyzję o reakcji na ten znak telematyczny.
  - $S_{3B}$  i  $S_{3A}$  – reaguje na znak telematyczny.

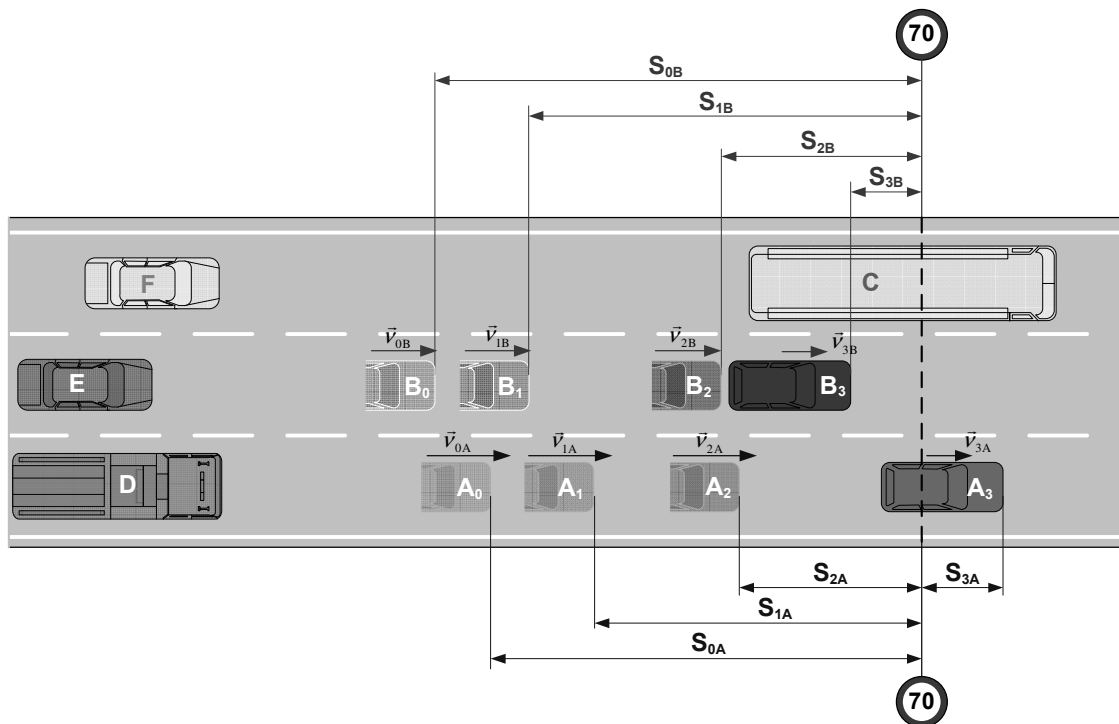


Fig. 3. Reaction on speed limit restriction sign.  
Rys. 3. Reakcja na znak ograniczenia prędkości

- 12) Program rejestruje czasy zgłoszeń poszczególnych pojazdów (z identyfikacją tych pojazdów) na pięciu punktach kontrolnych. Dzięki czemu jest możliwe wyznaczanie rozkładów zgłoszeń pojazdów w ww. punktach oraz śledzenie każdego z pojazdu na ww. pięciu punktach kontrolnych.

## 2. PORÓWNANIE STWORZONEGO PROGRAMU SYMULACJI Z INNYMI, UZNANYMI TEGO TYPU PROGRAMAMI

Program został porównany z ogólnie znanym w Polsce programem VISSIM. Postawiona przed oboma programami następujące zadanie o założeniach:

- 1) Długość badanego odcinka drogi 6 km,
- 2) 2 pasy po 3,5 m.
- 3) Nakaz ruchu prawostronnego
- 4) Wielkość strumienia pojazdów na początku badanego odcinka 2000 pojazdów/h (łącznie dla obu pasów)
- 5) Struktura rodzajowa: Osobowe – 90% Ciężarowe- 10%
- 6) Prędkości pożądane: - rozkłady wg dystrybuant w przedziałach: Osobowe – 80-170 Ciężarowe – 88-130
- 7) Na prawym pasie została zasymulowana kolizja, która zablokowała ten właśnie pas na przekroju 5570 m od początku symulowanego odcinka.
- 8) W obu programach użyto tego samego zestawu danych opisujących strumień wejściowy (czyli rozkład zgłoszeń, typ oraz prędkości pojazdów).

W drugim etapie wykonane zostały symulacje z wykorzystaniem elementów telematki. Zasymulowano kolizję aut na prawym pasie (pas nr 1), która spowodowała uaktywnienie się systemu sterowania sygnalizacją świetlną rozmieszczoną co 1000 m oraz ograniczeniem prędkości. Oba programy symulowały te same elementy sterownia. Algorytm opisujący zachowanie się pojazdów w programie przedstawiony został na rys 12.

Na rys. 13 przedstawione zostały czasy zgłoszeń w różnych przekrojach na oby pasach ruchu w wyniku symulacji wykonanej w opisywanym tu programie.

Na rys. 14 przedstawione zostały czasy zgłoszeń na końcu badanego odcinka na prawym pasie w programie VISSIM.

Na rys. 15 przedstawione zostały czasy obsługi poszczególnych pojazdów oddzielnie na obu pasach ruchu symulacji wykonanej w opisywanym tu programie.

Na rys. 16 przedstawione zostały czasy obsługi poszczególnych pojazdów na końcu badanego odcinka na obu pasach ruchu w programie VISSIM.

Na rys. 17 przedstawione zostały czasy obsługi pojazdów na badanym odcinku autostrady z dodatkowym sterowaniem (sygnalizacją świetlną i ograniczeniem prędkości) w opisywanym tu programie.

Na rys. 18 przedstawione zostały czasy obsługi pojazdów na badanym odcinku autostrady z dodatkowym sterowaniem (sygnalizacją świetlną i ograniczeniem prędkości) w programie VISSIM.

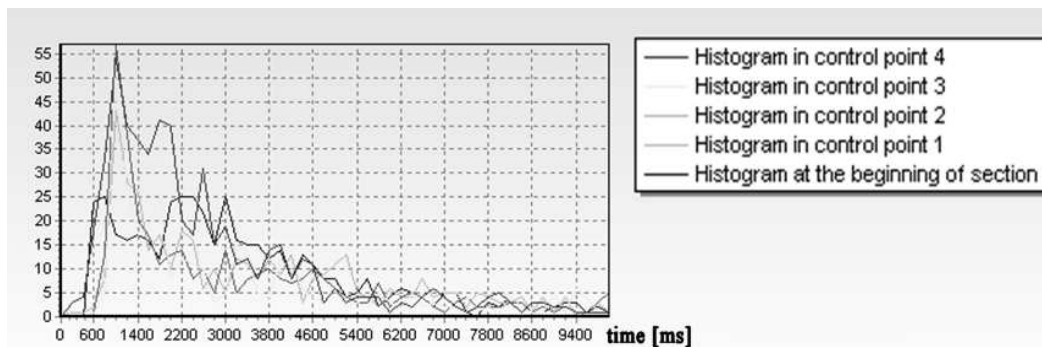


Fig. 4. Results of calculations in form of quasi-histograms<sup>1</sup> at subsequent checking points with free flow. The simulated road accident blocked first lane (right lane)

Rys. 4. Wyniki obliczeń w formie quasi-histogramów w kolejnych punktach kontrolnych ze swobodnym przepływem. Symulowany wypadek drogowy blokuje pierwszy pas (prawy pas)

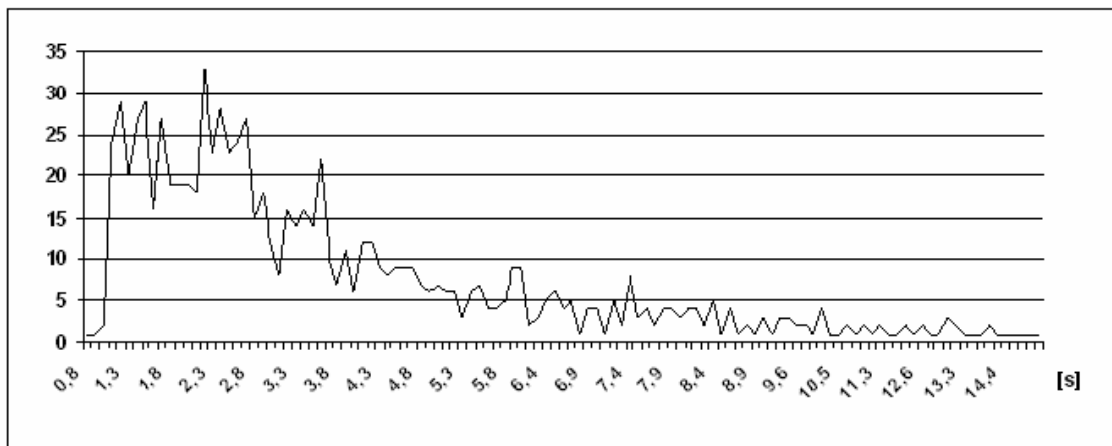
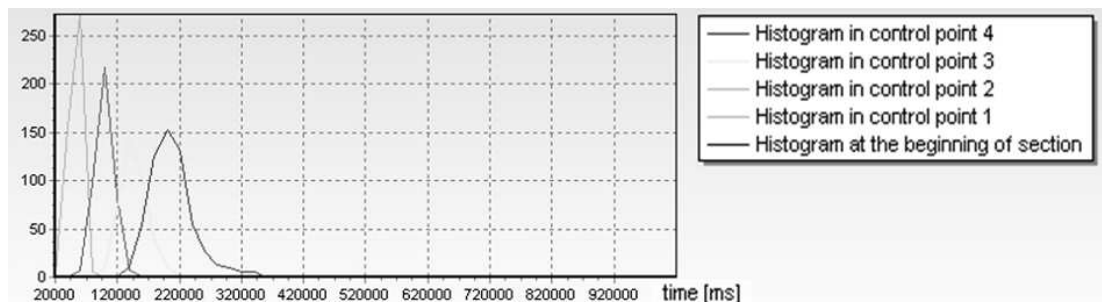


Fig. 5. Results of calculation in form of quasi-histogram of registration times at the end of tested segment on right lane performed by program VISSIM.

Rys. 5. Wyniki obliczeń w formie quasi-histogramów czasów rejestracji na końcu odcinka testowego na prawym pasie, wykonane przez program VISSIM

<sup>1</sup> Na osi pionowej zaznaczono liczbę zgłoszeń w danym przedziale czasu. Z powodu niejednoznacznie określonych parametrów rozkładu, nie możemy tutaj mówić o histogramie. Nazywamy je quasi-histogramami. Do wizualnego porównania wykresy zostały ukształtowane tak, że przedziały czasowe zostały określone i wymuszone przez program.

a)



b)

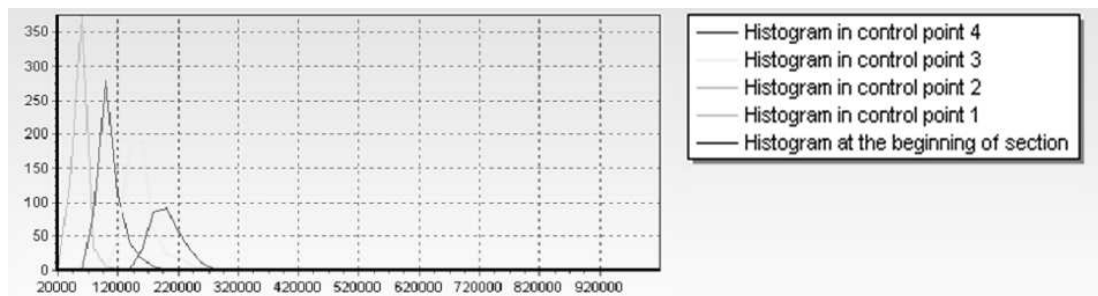


Fig. 6. Results of calculations in form of quasi-histograms of service times at subsequent checking points.. The simulated road accident blocked first lane (right lane). a) left lane, b) right lane.

Rys. 6. Wyniki obliczeń, w formie quasi-histogramów, czasów obsługi w kolejnych punktach kontrolnych. Symulowany wypadek drogowy blokuje pierwszy pas (prawy pas). a) lewy pas, b) prawy pas

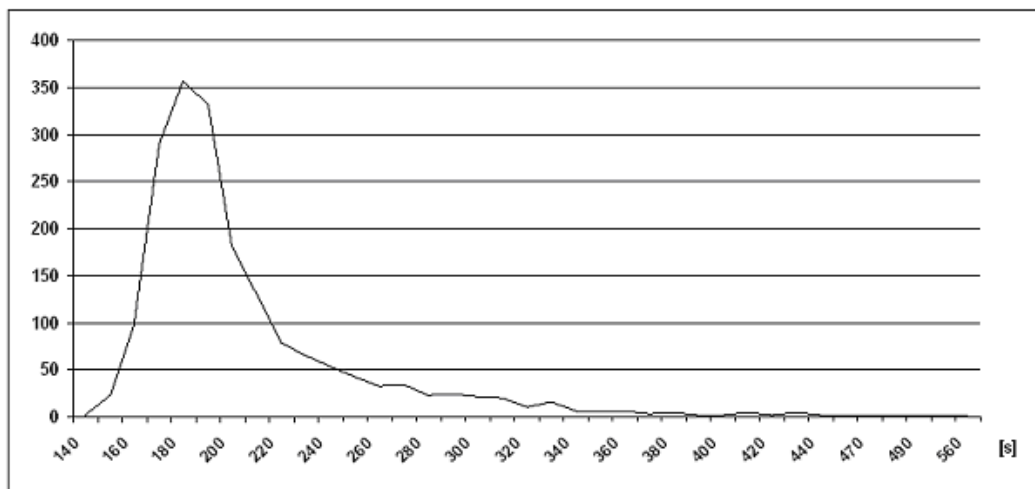


Fig. 7. Results of calculations in form of quasi-histograms of service times at end of right lane segment performed by program VISSIM.

Rys. 7. Wyniki obliczeń w formie quasi-histogramów czasów obsługi na końcu odcinka prawego pasa, wykonane przez program VISSIM

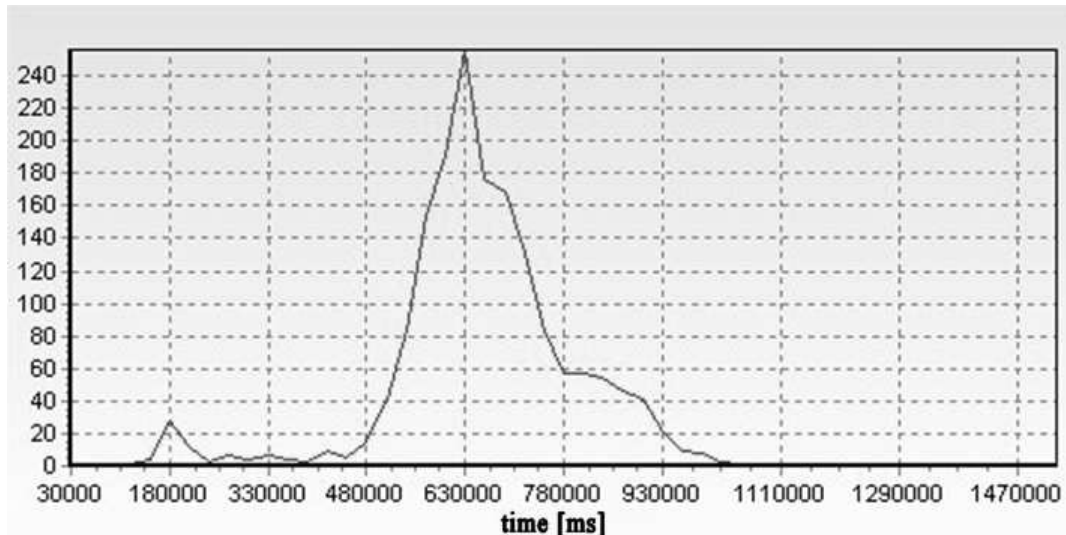


Fig. 8. Results of calculations in form of quasi-histogram of service time simulated segment with control system.  
Rys. 8. Wyniki obliczeń w formie quasi-histogramów czasów obsługi symulowanego odcinka z systemem sterowania.

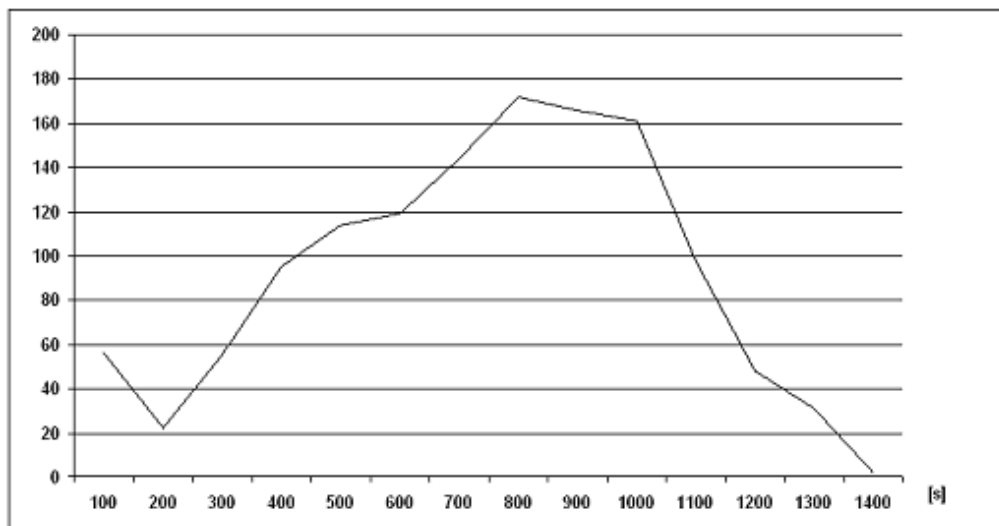


Fig. 9. Results of calculations in form of quasi-histograms of service times at end of right lane segment with control system performed by program VISSIM.  
Rys. 9. Wyniki obliczeń w formie quasi-histogramów czasów obsługi na końcu odcinka prawego pasa z systemem kontroli (nadzoru), wykonane przez program VISSIM

Po wizualnym porównaniu wykresów na rys. 12 i 13 (czerwony wykres na rys 12a z wykresem 13) można stwierdzić, że rozkłady przedstawionych powyżej wyników symulacji są do siebie bardzo podobne.

Po wizualnym porównaniu wykresów na rys. 12 i 13 (suma wykresów czerwonych rys 14a i 14b z wykresem 15) można stwierdzić, że rozkłady przedstawionych powyżej wyników symulacji są zbliżone do siebie.

Po wizualnym porównaniu wykresów na rys. 16 i 17 można stwierdzić, że rozkłady przedstawionych powyżej wyników symulacji są zbliżone do siebie. Różnice w kształcie rozkładów wynikają z tego, że utworzona na potrzeby tego projektu implementacja w języku wysokiego poziomu, miała zdefiniowane inne parametry przyspieszeń aut i w rezultacie więcej pojazdów przebywało na badanym odcinku w przybliżonym do siebie czasie. Mimo to tendencja była oczywista. Ponieważ przepustowość symulowanego odcinka autostrady przy sterowaniu znacznie się zmniejszyła i wynosiła mniej niż częstość pojawiających się na początku badanego odcinka pojazdów. Spowodowało to narastanie zatorów. Na wykresach objawia się taka sytuacja zwiększaniem średniego czasu obsługi (przejazdu pojazdów przez symulowany odcinek) proporcjonalnie do czasu symulacji.

### 3. WNIOSKI

Otrzymane wyniki z przedstawionego programu są bardzo zbliżone do rezultatów uzyskiwanych z programu VISSIM. Wynika to zapewne z tego, że w kalibrowanym programie został użyty taki model ruchu jak w standardowym programie. Również otrzymane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że kalibracja programu symulacyjnego za pomocą innego, uznanego programu symulacji jest możliwa, a koszty kalibracji symulacji można znacznie zredukować.

### Literatura

1. Wiedemann R.: *Simulation des Straßenverkehrsflusses*. "Schriftenreihe des IfV", Vol. 8 (Institut für Verkehrswesen, University of Karlsruhe, Germany, 1974).
2. Hoyer R., Fellendorf M.: *Parametrization of microscopic Traffic Flow Models through Image Processing* 8th IFAC Symposium on Transport, Chania, Crete, June 1997.
3. Hoogendoorn P., Bovy H.L.: *Vehicular Traffic Flow Modelling Special Issue on Road Traffic Modelling and Control of the Journal of Systems and Control Engineering* 2001.
4. Kosonen I.: *Traffic performance on major arterials final report part d 1*. The bosch-tests Royal Institute of Technology Centre for Traffic Simulation Research 2000.
5. Nagel K., Wolf D. E., Wagner P., Simon P.: *Two-lane traffic rules for cellular automata: A systematic approach* LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY May 19, 2006.
6. Van Arem B., Hogema J. H., Verheul C. H.: *The microscopic traffic simulation model MIXIC 1.2*, TNO Institute for Policy Studies, Delft. Publication Year: 1996.
7. Lieu H.: *Revised Monograph on Traffic Flow Theory*, This publication is an update and expansion of the Transportation Research Board (TRB) Special Report 165, "Traffic Flow Theory," published in 1975. This updating was undertaken on recommendation of the TRB's Committee on Traffic Flow Theory and Characteristics. <http://www.tfhrc.gov/its/tft/tft.htm> may 2006.
8. Zhizhou W., Jian S., Xiaoguang Y.: *Calibration of VISSIM for shanghai expressway using genetic algorithm*. 2005 Winter Simulation Conference.
9. Chu L., Liu H. X., Oh J.; Recker W.: *A Calibration Procedure for Microscopic Traffic Simulation*, 2004 Transportation Research Board.