

Rafał KROEMEKE,
Franciszek PIETRUCHA

STOCHASTYCZNY MODEL WĘZŁA PRZESIADKOWEGO W AGLOMERACJI

Streszczenie. W artykule podano sposób konstrukcji modelu stochastycznego dla potrzeb symulacji węzła przesiadkowego w systemie transportu zbiorowego w aglomeracji. Celem modelowania jest uzyskanie urządzenia przydatnego do optymalizacji wyposażenia węzła przy określonym obciążeniu ruchowym i podanej jakości obsługi pasażerów.

1. WSTĘP

Warunkiem pełnego zaspokojenia potrzeb w zakresie przewozów pasażerskich jest zorganizowanie racjonalnej współpracy pomiędzy wszystkimi środkami transportu zbiorowego aglomeracji, co prowadzi w konsekwencji do tworenia zintegrowanych systemów publicznej komunikacji pasażerskiej. Realizacja takiego systemu wymaga zastosowania dla potoków o wysokiej intensywności, jako środka podstawowego, systemu szybkiej kolei typu SKR/SKM. Pozostałe rejonu muszą być obsługiwane lokalnymi środkami komunikacji zbiorowej, jak tramwaje i autobusy (dł. linii 10-15 km). Pasażerowie podróżyjący w relacjach dłuższych zmuszeni są do korzystania z komunikacji łamanej, np.: środek lokalny, szybka kolej. Warunkiem powodzenia takiego systemu jest zorganizowanie sprawnych węzłów przesiadkowych. Ponieważ w dużych aglomeracjach udział pasażerów korzystających z komunikacji łamanej jest znaczny i sięga 40% i więcej, węzeł przesiadkowy stanowi ważny i znaczący element systemu, zaś jego prawidłowa praca przesądza o warunkach podróżyowania pasażerów w całym zintegrowanym systemie publicznej komunikacji zbiorowej.

W niniejszym artykule podane zostaną podstawy konstruowania modelu węzła przesiadkowego w aglomeracji, umożliwiającego przesiadanie się pasażerów z autobusów miejskich na pociągi szybkiej kolei typu SKR i w relacji odwrotnej.

2. CEL MODELOWANIA

Model zbudowano w celu prześledzenia pracy węzła przesiadkowego pod kątem możliwości zmniejszenia strat czasu pasażerów przesiadających się przy założeniu stałej średniej intensywności strumienia przybyć pasażerów korzystających z węzła oraz określonego poziomu jakości ruchu pieszego.

Naturalną miarą płynności ruchu jest prawdopodobieństwo przejścia przez układ n kolejnych (niezależnie zgłoszonych) pasażerów bez zakłóceń. Prawdopodobieństwo to jest funkcją wyposażenia układu oraz jego obciążenia. Funkcją - kryterium - dla kształtowania układu jest miara efektywności układu [1] wyrażona wzorem

$$E_n = [1 - p(w, r)]^n \frac{m(r)}{m(w)},$$

gdzie:

- w, r - wektory opisujące straty spowodowane wyposażeniem i ruchem,
- $p(w, r)$ - prawdopodobieństwo całkowite zakłóceń,
- $m(r)$ - miara układu ruchowego,
- $m(w)$ - miara układu wyposażenia,
- n - wykładnik strat.

Poszukujemy optimum wyposażenia węzła przy ustalonym średnim obciążeniu ruchowym i maksymalnej jakości ruchu ($m(r) = \text{const.}$). Zadanie sprowadza się więc do minimalizacji funkcji

$$K_n = \frac{m(r)}{E_n} = \frac{m(w)}{[1 - p(w)]^n}.$$

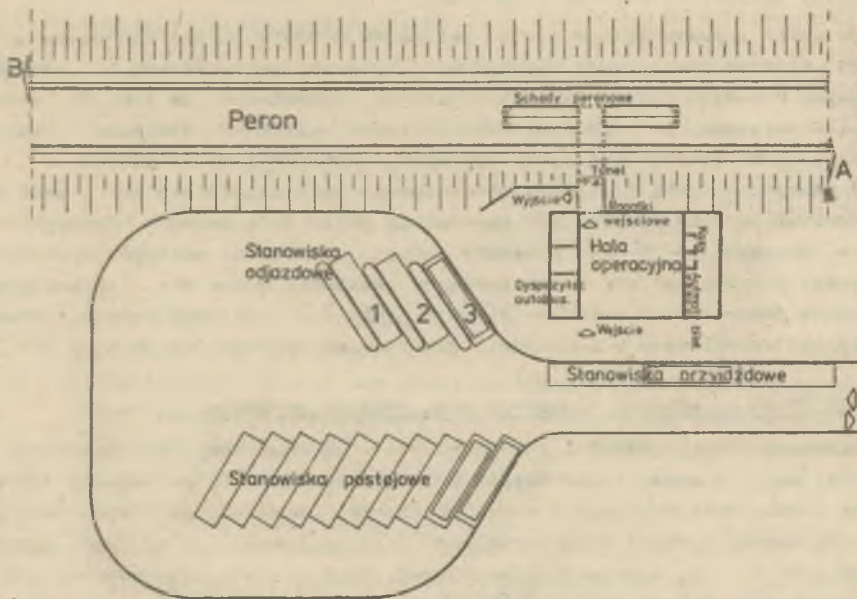
3. OPIS FIZYCZNY SYSTEMU

Węzeł przesiadkowy, jaki tworzy przystanek szybkiej kolei współpracującej z przystankiem autobusów miejskich, jest złożony z trzech ściśle współpracujących ze sobą stref:

- strefy przystanku autobusowego,
- strefy budynku stacyjnego,
- strefy peronu wraz z dojściem do niego.

Działanie złożonego obiektu, jaki stanowi węzeł przesiadkowy, można opisać następująco:

Strumień pasażerów przybywających autobusami u wejścia do hali operacyjnej miesza się ze strumieniem pasażerów przybywających indywidualnie. Większość pasażerów kieruje się bezpośrednio na peron, pozostali udają się do kas względnie automatów biletowych. Następnie poprzez rogatki wejściowe, tunel i schody docierają na peron, gdzie oczekują na przybycie pociągu. Po przybyciu pociągu zajmują w nim miejsca i odjeżdżają. Podobnie w odwrotnym kierunku. Po wyjściu z pociągu i przejściu przez schody, tunel i rogatki wyjściowe część pasażerów udaje się indywidualnie w dalszą drogę, pozostali zaś przechodzą do stanowisk odjazdowych autobusów. Po przybyciu autobusu wsiadają do niego i następnie odjeżdżają.



Rys. 1. Schemat sytuacyjny węzła

4. KONSTRUKCJA MODELU

Działanie węzła przesiadkowego, traktowanego jako system, jest funkcją kilku głównych charakterystyk:

- zmienności potoków pasażerów, pociągów i autobusów,
- zmienności zdolności przepustowej urządzeń, które ograniczają przepustowość (drzwi, rogatek itd.),
- zmienności czasu wsiadania i wysiadania z pojazdów oraz możliwości odjazdu,
- sposobu obsługi pasażerów (dyscypliny kolejek).

4.1. Zgłoszenia przybyć autobusów, pasażerów indywidualnych i pociągów

Założono, że przystanek autobusowy jest przystankiem końcowym trzech linii autobusów miejskich. Linia o największej częstotliwości obsługiwana jest autobusami o dużej pojemności, zaś dwie pozostałe autobusami o małej pojemności.

Na podstawie badań własnych [2] przyjęto, że rozkład odstępów czasowych pomiędzy przybyciami kolejnych autobusów jest rozkładem Erlanga z parametrem $k = 2$. Jednocześnie zadając rozkład procentowy autobusów poszczegól-

nych linii, w całości potoku autobusów, losujemy przy użyciu rozkładu równomiernego numer linii autobusu oraz przypisujemy mu odpowiednią pojemność.

Do węzła przesiadkowego oprócz pasażerów przybywających autobusami przybywają również pasażerowie indywidualni (pieszo, taksówką etc.). Badając strumień zgłoszeń pasażerów indywidualnych stwierdzono, że jest on strumieniem Poissona, co odpowiada wykładniczemu rozkładowi odstępów czasowych pomiędzy przybyciami poszczególnych pasażerów indywidualnych.

W przypadku linii kolejowej wydzielonego systemu SKR możliwa jest do osiągnięcia wysoka regularność kursowania pociągów z zadaniem odstępem czasowym. Szczegółowe badania wykazały, jednak, że rozkład odstępów czasowych pomiędzy przybyciami kolejnych pociągów traktować można dla określonego kierunku jako rozkład normalny $N(m, s)$; gdzie m - jest praktycznie równe odstępowi określone w rozkładzie jazdy, a odchylenie standardowe $s=0,3m$.

4.2. Procesy wymiany pasażerów oraz postojów pojazdów

Autobusy mają pojemność: 150 pasażerów - autobus duży, 80 pasażerów - autobus mały. W momencie przybycia autobusu zależnie od pojemności określamy liczbę wysiadających z niego pasażerów. Założono, że liczba ta jest zmienną losową o rozkładzie normalnym (funkcja gęstości $f(x)$ jest ucięta w punktach 0 i x_p - pojemność autobusu). Czas postoju t_{pa} autobusu jest zdeterminowany liczbą wysiadających pasażerów x i wyraża się następującą zależnością [4,5]

$$t_{pa} = 10 + 0,65 x \quad [s]$$

Przyjęcie tej zależności oznacza także, że nie popełnimy większego błędu, jeżeli założymy, że średnia intensywność wysiadania pasażerów z autobusu jest stała i wynosi 2 pasażerów na sekundę. Średni odstęp między kolejnymi pasażerami wynosi więc 0,5 s.

Proces wsiadania pasażerów do pociągu określonego kierunku uzależniony jest od takich wielkości, jak: liczba dostępnych miejsc w pociągu w momencie jego przybycia na peron, liczba pasażerów wysiadających oraz liczba pasażerów oczekujących na pociąg.

Liczbę pasażerów oczekujących na pociąg określamy sumując pasażerów przybyłych na peron od momentu odjazdu poprzedniego pociągu. Liczbę dostępnych miejsc określamy ze znajomości pojemności pociągu oraz zapelnienia pociągu w momencie przybycia na peron. Zapelnienie oraz liczbę pasażerów wysiadających losujemy przy użyciu rozkładu normalnego o parametrach określonych w oparciu o badania rzeczywistego systemu.

Czas postoju pociągu na peronie zależy od liczby wymieniających się (wsiadających i wysiadających) pasażerów, przypadających na najbardziej obciążoną wymianą drzwi wagonowe:

$$t_{pp} = 0,56y + 18,4, \quad [s]$$

gdzie:

t_{PP} - czas postoju pociągu,

y - liczba wymieniających się pasażerów przypadających na najbardziej obciążone wymianą drzwi.

Wielkość y wyznaczać będziemy z następującego wzoru:

$$y = \begin{cases} \frac{w + LPO}{D} \cdot A, & \text{gdy } LPO < LWM, \\ \frac{w + LWM}{D} \cdot A, & \text{gdy } LPO \geq LWM, \end{cases}$$

gdzie:

w - liczba pasażerów wysiadających,

D - liczba drzwi wagonowych,

A - współczynnik empiryczny uwzględniający stosunek liczby wymieniających pasażerów, przypadających na najbardziej obciążone wymianą drzwi do średniej wielkości obciążenia drzwi w pociągu,

LPO - liczba pasażerów oczekujących na pociąg,

LWM - liczba wolnych miejsc w pociągu.

Średni odstęp czasowy między wysiadającymi pasażerami wyznacza się na podstawie stosunku liczby pasażerów wsiadających do całości wymieniających pasażerów oraz przyjętej liczby pasażerów wymieniających się w czasie 1 sekundy postoju pociągu.

4.3. Przepustowość urządzeń i pojemność elementów systemu

W modelu założono, że czas obsługi (przebywania pasażera w obrębie drzwi rogatki, schodów) jest zmienną losową o rozkładzie zdeterminowanym wartością przepustowości. Wobec braku własnych badań przepustowości urządzeń, posłużono się wielkościami uzyskanymi przez innych autorów [6,7].

Czas sprzedaży biletu w kasie oraz czas zakupu biletu w automacie założono stały i równy średniemu czasowi sprzedaży (zakupu). W istocie należałoby przyjąć, że czas obsługi jest zmienną losową o rozkładzie wykładniczym przesuniętym o wartość t_0 - najkrótszego możliwego czasu obsługi.

Pojemność hali operacyjnej, tunelu, schodów i peronu określono na podstawie powierzchni tych elementów oraz przyjętej powierzchni użytkowej dla jednego pasażera.

5. KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA UŻYTYCH TECHNIK NUMERYCZNYCH

Dla przetworzenia modelu w postać numeryczną posłużono się językiem symulacyjnym GPSS (General Purpose Simulation System) oraz ułożono program na maszynie cyfrową IBM 360/370.

Poszczególne urządzenia i obiekty modelowanego węzła, takie jak: drzwi, kasy, tunel etc., przedstawiono w programie jako urządzenia (FACILITY) lub magazyny (STORAGE) o określonej pojemności. Strumienie zgłoszeń o charakterze stochastycznym realizowane są w ten sposób, że równocześnie z kreowaniem zgłoszenia jednostki podawany jest odstęp czasowy do kreowania następnego zgłoszenia.

W wyniku działania standardowych procedur generowania danych wyjściowych języka GPSS otrzymuje się wszystkie niezbędne informacje o stanie kolejek (QUEUES), urządzeń (FACILITIES) i magazynów (STORAGES). Ponadto posługując się specjalnymi blokami MARK i TABULATE otrzymuje się dane o czasie przejścia jednostek przez system.

6. UWAGI KOŃCOWE

W zakończeniu należy podać, że w artykule nie sposób przekazać wszystkich problemów, z którymi spotykamy się, modelując tak złożony system, jak tu zaprezentowany. Pominięto całą sferę zagadnień, które wiążą się z symulacją, takich jak: usuwanie wpływu warunków początkowych w systemie, testowanie modelu, doboru liczby koniecznych eksperymentów i ich układu.

Autorzy mają jednak nadzieję, że przynajmniej w pewnym stopniu przybliżyli odbiorcy problematykę związaną z budową modelu stochastycznego przeznaczonego do badań symulacyjnych.

LITERATURA

- [1] Woch J.: Ocena układów torowych i organizacji ruchu pociągów przy użyciu symulacji komputerowej. Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1975.
- [2] Badania przesiadania na przystanku SKM Gdańsk-Przymorze. Materiały z obozu naukowo-badawczego studentów Pol. Śl. 1976.
- [3] Bauer H.: Studie über den Fahrgastwechsel im Eisenbahn-nahverkehr. ETR nr 8/1968.
- [4] Rudnioki A.: Stochastyczny model ruchu miejskiej komunikacji autobusowej. Rozprawa doktorska. Polit. Krak. 1972.
- [5] Tarozewska A.: Analiza funkcjonalno-ruchowa dworca autobusowego WPK w Gliwioach. Praca magisterska. Polit. Śląska 1977.
- [6] Traffic Engineering Handbook. Institute of Traffic Engineers, Washington 1965.
- [7] Romanowicz A.: Dworce i przystanki kolejowe. Arkady, Warszawa 1975.
- [8] Westphal J.: Bewegungsabläufe an starkbelasteten Bahnsteigtrepfen von Nahverkehrsbahnhöfen. ZEV, Glas. Ann. 96 nr 10/1972.

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЗЛА ПЕРЕСАДКИ В ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Р е з ю м е

В статье представлен способ конструкции стохастической модели для нужд симуляции узла пересадки в системе совместного транспорта в больших агломерациях. Цель моделирования - получить пригодное для оптимализации оборудования узла устройство при определенной нагрузке движения и указанном качестве обслуживания пассажиров.

THE STOCHASTIC MODEL
OF INTERCHANGE STATION IN AN AGGLOMERATION

S u m m a r y

The paper presents the way of constructing the public transport interchange station stochastic model. The model of an interchange station in an agglomeration was constructed for the purpose of simulation. The aim of the modelling was to gain a useful instrument for optimisation of interchange node equipment, with the fixed pedestrian traffic rate, and the given customers' service quality.