ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: TRANSPORT z. 61 Nr kol. 1704

Adam MOLECKI

OKREŚLENIE ROZKŁADU CZASU PRZEJAZDU ODCINKA SWOBODNEGO TRASY TRAMWAJU KONWECJONALNEGO

Streszczenie. Artykuł omawia badania, mające na celu wyznaczenie rozkładów prawdopodobieństwa dla czasów przejazdu tramwaju konwencjonalnego przez odcinek swobodny. Przez odcinek swobodny należy rozumieć fragment trasy ograniczony z dwóch stron miejscem wymagającym zatrzymania oraz pozbawiony jakichkolwiek przeszkód pośrednich.

Uzyskanie danych dotyczących omawianego rozkładu jest jedną z najistotniejszych informacji służących tworzeniu symulacji ruchu tramwaju konwencjonalnego.

THE DEFINITION OF THE DISTRIBUTION OF TRAM FREEWAY PASSING TIME

Summary. The article presents defining a tram freeway passing time distribution researches. Tram freeway should be understood as the part of tramway ended at both sides by places where tram has to stop, and without limiters inside.

This distribution is one of the most important information to build tram traffic simulators.

1. WPROWADZENIE

Symulacje ruchu tramwajów mogą dotyczyć:

- w podejściu punktowym – wybranych miejsc (najczęściej węzłów),
- w podejściu ogólnym – wybranych fragmentów bądź całej sieci.

Pierwsze podejście często jest korzystne głównie ze względu na szybkość uzyskania efektów. Można dzięki takim symulacjom optymalizować systemy sygnalizacji świetlnej, organizację przystanków, układ torów węzła itp. Wykorzystano je m.in. przy badaniu rozwiązań optymalizacyjnych Centralnego Węzła Komunikacyjnego w Sosnowcu [2]. Symulacje te są jednak z definicji w wielu przypadkach niedokładne. Nie mając powiązania z sąsiadującymi ogranicznikami symulowany proces pozbawia się wpływu wielu czynników determinujących. Wpływ takich czynników został opisany m.in. w pracy [3]. Oznacza to, że symulacje takie dają w pełni poprawne wyniki, w ograniczonej liczbie przypadków.

Najczęstszym przypadkiem, który może całkowicie wykluczać zastosowanie symulacji punktowych jest fragment sieci tramwajowej na ciągu z zainstalowaną „zieloną falą". Dotyczy to oczywiście również sytuacji, gdy korzyści „zielonej fali" nie odnoszą się do tramwaju.

Symulacje punktowe są całkowicie nieprzydatne, np. dla oceny wpływu wprowadzenia dodatkowych przystanków, konieczności budowy drugich torów bądź lokalizacji dodatkowych mijanek. W takich przypadkach jedyną celową symulacją jest symulacja ogólna.

Symulowanie ruchu tramwaju konwencjonalnego na fragmencie sieci składa się z:
- inicjowania zgłoszeń kolejnych pociągów tramwajowych dla każdego z początków symulowanego fragmentu sieci,
- określania czasu przejazdu przez odcinki między ogranicznikami ruchu,
- określania czasu obsługi przystanków,
- określania czasu oczekiwania na możliwość przejazdu w miejscach, gdzie tramwaj jest pozbawiony pierwszeństwa nad wszelkimi innymi uczestnikami ruchu,
- podsumowania wyników określających punktualność na poszczególnych miejscach trasy.

Jak widać, jednym z podstawowych elementów symulacji jest określenie czasu przejazdu odcinka swobodnego. W przypadku krótkich odcinków można założyć wielkość z góry zdeterminowaną. Tak postąpiono we wspomnianym badaniu Centralnego Węzła Komunikacyjnego w Sosnowcu, gdzie długości odcinków nie przekraczały 30 m. Przy odległościach sięgających kilkuset metrów, a niekiedy nawet ponad kilometra konieczne jest wykorzystanie wielkości określonej probabilistycznie.

2. PRZEDMIOT BADANIA

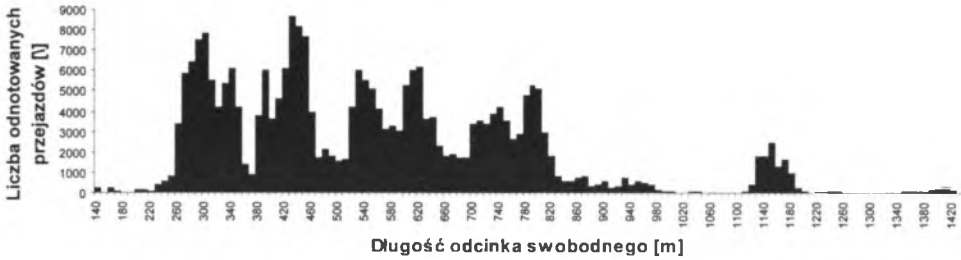
Określenie rozkładu prawdopodobieństwa dla czasu przejazdu przez odcinek swobodny uzyskano na podstawie danych z komputerów pokładowych, zainstalowanych w 98 tramwajach kursujących po sieci tramwajowej Zagłębia Dąbrowskiego. Pozyskane dane zawierały między innymi [1]:
- czas przejazdu między przystankami,
- rzeczywistą długość przejechanego odcinka,
- numery przystanków, których przejazd dotyczył,
- znacznik obecności i zatrzymania na przystanku.

Pozwoliły one na odseparowanie danych dotyczących przejazdów spełniających warunki przejazdu odcinka swobodnego od pozostałych. Podstawowym kryterium było zatrzymanie się na przystankach rozpoczynających i kończących odcinek. Na podstawie numerów przystanków wykluczono odcinki zawierające:
- przejazd przez skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, niezapewniający pełnej płynności ruchu tramwaju,
- przejazd przez rozjazd wymuszający ograniczenie prędkości,
- przekraczanie ciągu nadrzędnego,
- włączanie się do ruchu ciągu nadrzędnego.

W ten sposób określono 58 odcinków, których badanie mogło dotyczyć. Należy zaznaczyć, że w wielu przypadkach z pary odcinków dwukierunkowych został zakwalifikowany do badania tylko jeden kierunek. Uzyskane wyniki pomiarów (spełniające już warunki przejazdu przez odcinek swobodny) posegregowano według ich długości odcinka. W zakresie 140-1450 m utworzono przedziały o długości 10 m. Ze względu na aktualną sytuację ruchową tramwaj mógł zatrzymywać się z określoną dokładnością na przystankach. W rzeczywistości rozrzut tych miejsc był stosunkowo duży. Stąd brano pod uwagę rzeczywistą, zmierzoną, a nie nominalną odległość.

Oczywiście liczba odnotowanych przejazdów była bardzo zróżnicowana, ze względu na czynniki determinujące, takie jak:
- wspomniane nominalne odległości między przystankami,
- natężenie ruchu na poszczególnych fragmentach sieci.

W kolejnych przedziałach liczba odnotowanych przejazdów zawierała się miedzy 20 (dla zakresu 180-189 m) a 8675 (430-439 m) (rys. 1).

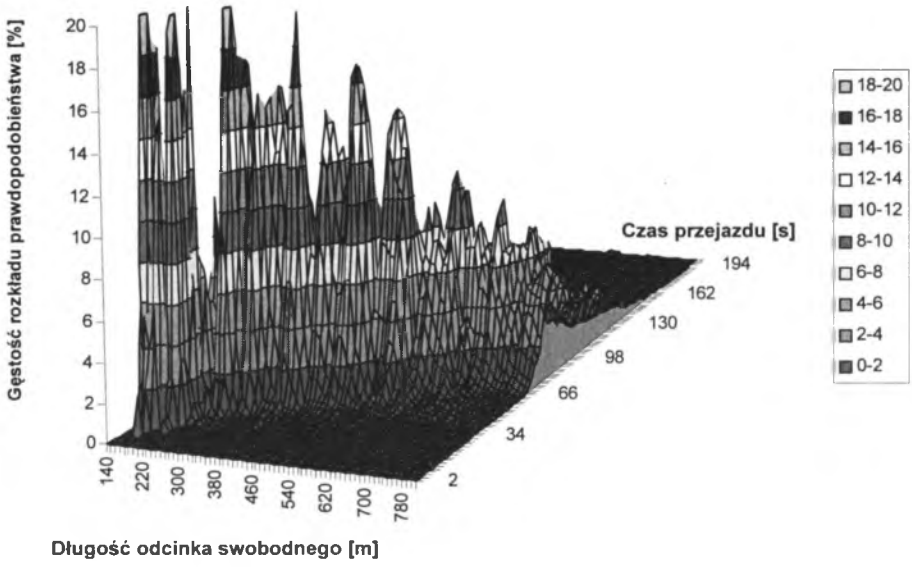


Rys. 1. Wykres zależności liczby odnotowanych przejazdów od długości odcinków
Fig. 1. Length of tramway – size of empire population diagram

Wszelkie opisane wyżej czynności wykonano za pomocą specjalnie zaprojektowanych i wykonanych we własnym zakresie aplikacji komputerowych.

3. OKREŚLENIE RODZAJU ROZKŁADU

Pierwszym krokiem, w celu określenia rozkładu prawdopodobieństwa dla czasu przejazdu odcinka swobodnego, było sprawdzenie czy w poszczególnych przedziałach istnieją podobieństwa odnotowanych rozkładów. Jak widać na rys. 2, podobieństwo istnieje, ale niemożliwy do pominięcia jest znaczny rozrzut parametrów.



Rys. 2. Wykres przekrojowy obrazujący prawdopodobieństwo odnotowania czasów przejazdu w poszczególnych zakresach długości
Fig. 2. Distribution of tram freeway passing time diagram for different length of tramway

Rozrzut ten można tłumaczyć znacznymi różnicami w liczebności próbek. Mała liczebność powodowała oczywiście znaczące odstępstwa od faktycznego rozkładu.

W dalszych etapach badań brano pod uwagę wyniki z przedziałów, którym odpowiadało więcej niż 200 pomiarów. Sprawdzając próbki odpowiadające kolejnym przedziałom określono znaczącą zbieżność z rozkładem logarytmiczno-normalnym. W rozkładzie tym funkcję gęstości określa wzór (1):

$$f_s(t) = \frac{1}{t \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\Pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln(t)-\ln(m))^2}{2\sigma^2}}, \qquad (1)$$

gdzie:

$f_s(t)$ – funkcja gęstości prawdopodobieństwa przejazdu odcinka o długości s w czasie t;

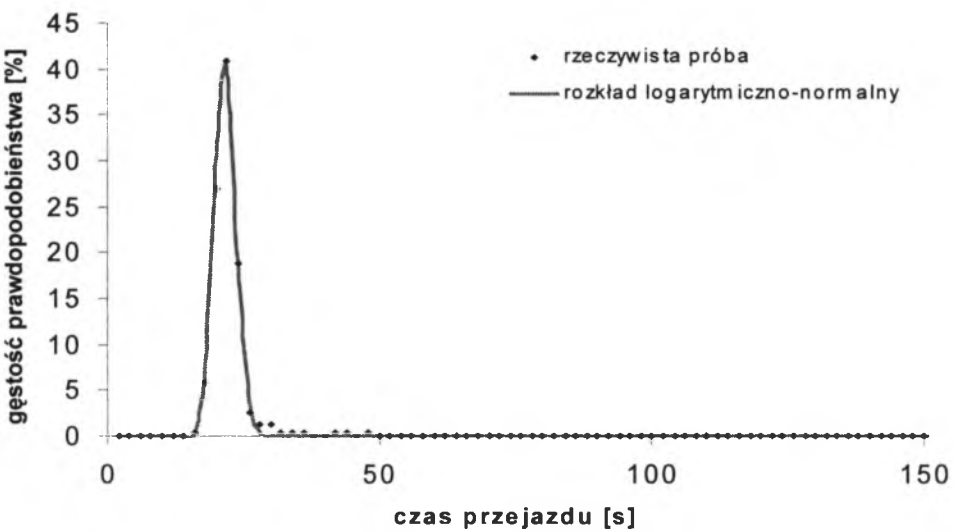
t – czas przejazdu [s];

m – średni czas przejazdu odcinka [s] (parametr rozkładu);

σ – parametr rozkładu odpowiadający odchyleniu standardowemu czasu przejazdu odcinka [s].

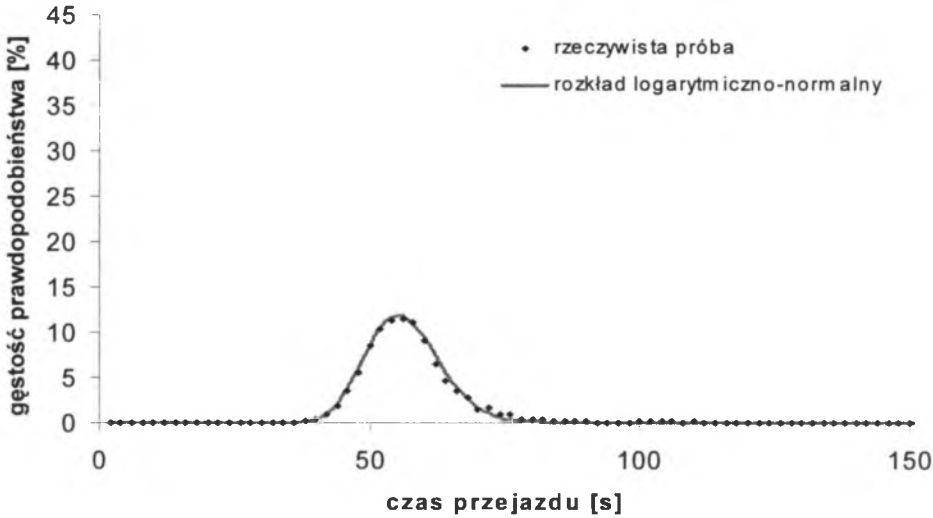
Na rysunkach przedstawiono przykładowe wyniki porównania dla odległości małej (rys. 3) i średniej (rys. 4). W niektórych zakresach odnotowano mniejszą zgodność (rys. 5), co można wyjaśnić niebranymi pod uwagę czynnikami zakłócającymi. Można do nich zaliczyć czynniki ruchowe, takie jak np. dojeżdżanie do zajętego przez inny tramwaj przystanku, a także incydentalne – okresowo prowadzone prace torowe, o czym spółka Tramwaje Śląskie nie poinformowała autora opracowania.

Ten etap analizy wykonano za pomocą standardowego arkusza kalkulacyjnego.



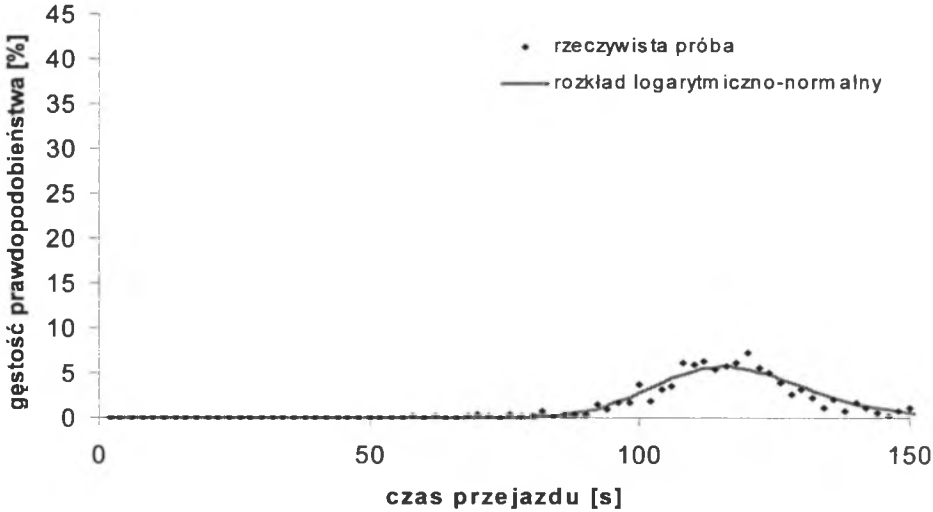
Rys. 3. Przykładowe wykresy porównawcze odnotowanych prawdopodobieństw dla czasów przejazdu przez odcinek swobodny i rozkładu logarytmiczno-normalnego – zakres 140-149 m

Fig. 3. Examples of distribution of tram freeway passing time distribution compared with log-normal distribution – tramway length 140-149 m



Rys. 4. Przykładowe wykresy porównawcze odnotowanych prawdopodobieństw dla czasów przejazdu przez odcinek swobodny i rozkładu logarytmiczno-normalnego – zakres 460-469 m

Fig. 4. Examples of distribution of tram freeway passing time distribution compared with log-normal distribution – tramway length 460-469 m



Rys. 5. Przykładowe wykresy porównawcze odnotowanych prawdopodobieństw dla czasów przejazdu przez odcinek swobodny i rozkładu logarytmiczno-normalnego – zakres 860-869 m

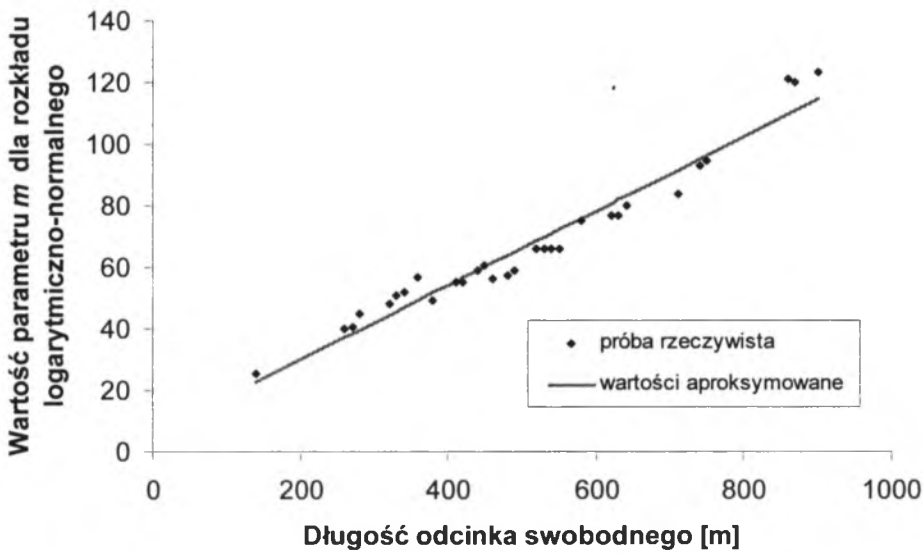
Fig. 5. Examples of distribution of tram freeway passing time distribution compared with log-normal distribution – tramway length 860-869 m

4. OKREŚLENIE PARAMETRÓW ROZKŁADU

Po stwierdzeniu rodzaju rozkładu prawdopodobieństwa, kolejnym naturalnym etapem jest określenie zależności parametrów rozkładu od długości odcinka swobodnego. Do tego etapu badania wybrano próbki najbardziej zgodne z wybranym rozkładem. Porównując uzyskane w poszczególnych przypadkach parametry rozkładu stwierdzono, że średnią w rozkładzie logarytmiczno-normalnym najwłaściwiej opisuje zależność 2 (rys. 6).

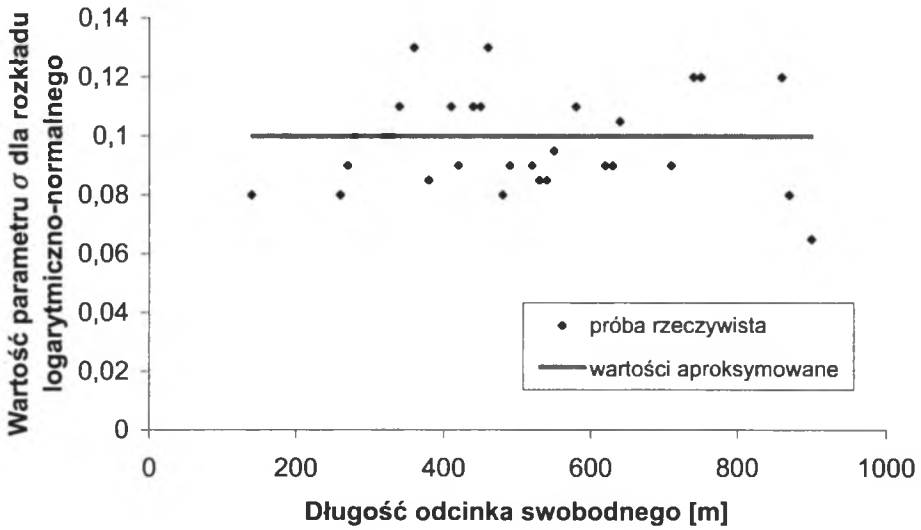
$$m = 0{,}121 * s + 5{,}5 \text{ [s]}, \tag{2}$$

gdzie:
m – średni czas przejazdu odcinka [s];
s – długość odcinka [m].



Rys. 6. Zależność średniej w rozkładzie logarytmiczno-normalnym odpowiadającym czasowi przejazdu przez odcinek swobodny od długości tego odcinka
Fig. 6. Mean value of log-normal distribution corresponding to tram freeway passing time for different tramway length

Porównanie określonych wcześniej odchyleń standardowych wskazywało na zawieranie się ich w zakresie 0,08-0,12. Nie odnotowano natomiast zależności od odległości, tym samym założono, że właściwą (w typowym przypadku) jest wartość 0,1 (rys. 7).



Rys. 7. Zależność parametru σ w rozkładzie logarytmiczno-normalnym odpowiadającym czasowi przejazdu przez odcinek swobodny od długości tego odcinka

Fig. 7. Parameter σ of log-normal distribution corresponding to tram freeway passing time for different tramway length

5. WNIOSKI

Badanie pozwoliło na określenie rodzaju rozkładu prawdopodobieństwa występowania poszczególnych czasów przejazdu przez odcinek swobodny dla tramwaju konwencjonalnego. Ponadto, określone zostały zależności parametrów tegoż rozkładu od długości odcinka. W przyszłości pozwoli to budować z łożone symulacje ruchu na sieciach tramwaju konwencjonalnego, które posłużą optymalizacji rozwiązań z zakresu inżynierii ruchu, a także wydatków z nimi związanych.

Literatura

1. Molecki A.: Analiza wykorzystania przystanków sieci tramwajowej Zagłębia Dąbrowskiego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport, nr 57 (1675), Gliwice 2005.
2. Molecki A.: Wpływ ograniczeń zewnętrznych na przepustowość przystanku. TTS – technika transportu szynowego, nr 9, 2007.
3. Molecki A.: Znaczenie powiązania różnych ograniczników dla określania przepustowości tras komunikacyjnych. Problemy Transportu, t. 2, nr 1, Gliwice 2007.

Recenzent: Dr hab. inż. Romuald Szopa
Prof. Politechniki Częstochowskiej