

RYMARZ Joanna¹
STOKŁOSA Józef²
NIEWCZAS Andrzej²

Wybrane problemy efektywności funkcjonowania publicznego transportu zbiorowego

WSTĘP

Rozwój terytorialny miast od lat stoi w sprzeczności z potrzebami szybkiego przemieszczania się mieszkańców z obszarów zamieszkałych do miejsc chwilowego pobytu (praca, szkoła, urzędy itp.). Nieodwracalne tendencje związane z urbanizacją wymuszają stałe zwiększanie poziomu rozwoju, stopnia rozgałęzienia, gęstości sieci komunikacji zbiorowej. Wzrastają oczekiwania w stosunku do jakościowych i ilościowych charakterystyk publicznego transportu zbiorowego wpływających na czasy podróży, jakie mieszkańcy miast muszą poświęcić na przemieszczanie się.

Szczególnie w dużych aglomeracjach miejskich naziemny transport publiczny, staje wobec ogromnego wyzwania, jakim jest wzrost zatłoczenia ulic i jego negatywny wpływ na efektywność i niezawodność jego funkcjonowania. Badania prowadzone w wielu państwach dowiodły, że przewóz osób regularnym transportem publicznym jest częściej wykorzystywany nie tylko ze względu na krótszy przeciętny czas podróży, ale także przez jego wyższą niezawodność i efektywność [3], [4], [12], [21]. Transport publiczny ma porównywalny, bądź nawet krótszy czas podróży w stosunku do transportu prywatnego.

Jednakże transport naziemny w porównaniu z systemem np. kolejki podziemnej, jest narażony na szereg czynników, których wystąpienie powoduje naruszenie rytmiczności i punktualności kursowania, co postrzegane jest przez użytkowników jako obniżenie jakości usług przewozowych.

Drugi istotny problem publicznego transportu zbiorowego, to niezawodność środków transportu i jakość systemu obsługiwanego pojazdów [14].

Poziom niezawodności środków transportu zwiększa koszty eksploatacyjne przewoźnika i obniża efektywne wykorzystanie floty. Dlatego też, wiele przedsiębiorstw transportowych, jako jedno z kluczowych zadań stawia sobie za cel doskonalenie procesów zarządzania publicznym transportem zbiorowym. Należy dążyć do połączenia dwóch celów zarządzania publicznym transportem zbiorowym: sterowania eksploatacją środków transportu i zarządzania procesem przewozowym w celu zapewnienia maksymalnie wysokiego poziomu niezawodności funkcjonowania transportu zbiorowego przy akceptowalnym poziomie kosztów przedsiębiorstw przewozowych. Na rys.1. przedstawiono uproszczony system zarządzania procesem realizacji zadań przewozowych w czasie rzeczywistym w oparciu o szeroko rozumiane systemy telematyki.

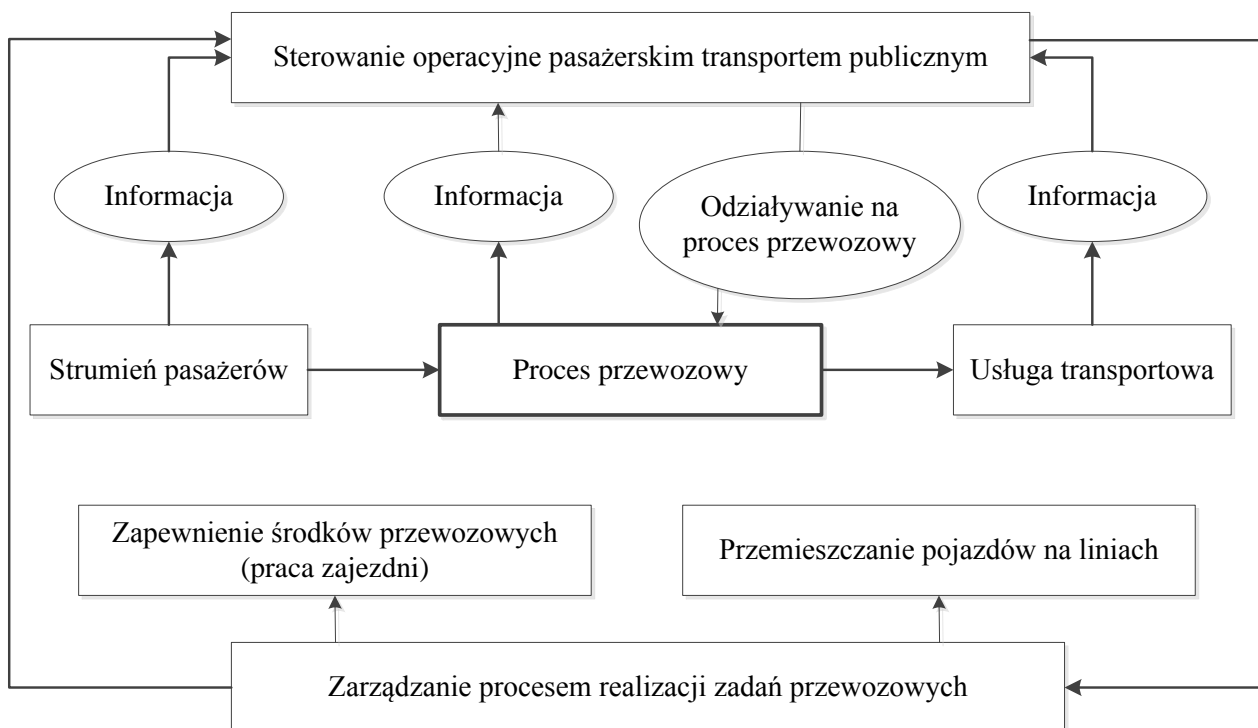
Podstawowy cel procesu zarządzania to [15]:

- zapewnienie punktualności i regularności,
- utrzymanie ciągłości ruchu i wysokiej niezawodności działania,
- zmniejszenie czasów podróży, a zwłaszcza jej najbardziej uciążliwych składników jak oczekiwanie i przesiadka.

Niezawodność jest ważnym elementem publicznego transportu zbiorowego. Firmy transportowe poświęcają dużo czasu i wysiłku by zapewnić jak najwyższy poziom niezawodności swoich pojazdów oraz zapewnić wysoką jakość świadczonych usług.

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Instytut Transportu, Silników Spalinowych i Ekologii, 20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36, e-mail: j.rymarz@pollub.pl

² Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, Wydział Transportu i Informatyki, 20-209 Lublin, ul. Projektowa 4, e-mail: jozef.stoklosa@wsei.lublin.pl; andrzej.niewczas@wsei.lublin.pl



Rys. 1. Uproszczony schemat systemu funkcjonowania publicznego transportu zbiorowego

Usprawnienia związane z niezawodnością transportu publicznego przynoszą korzyść nie tylko ich użytkownikom, ale i samym przewoźnikom, ponieważ poprawnie wykonane usługi skracają czas oczekiwania pasażerów na przystankach i pozwalają przewoźnikowi na efektywne użycie pojazdów.

1. EFEKTYWNOŚĆ I NIEZAWODNOŚĆ W TRANSPORCIE PUBLICZNYM

Efektywność systemu transportu publicznego odnosi się do tego, jak dobrze system osiąga swoje założone cele. Pomiar efektywności jest niezwykle istotny, ponieważ dostarcza informacji o tym jak efektywnie działa system, a to skutkuje we wcześniejszym diagnozowaniu problemów i znalezieniu możliwych rozwiązań.

Niezawodność to termin, który może być definiowany różnorodnie, w zależności od kontekstu i dyscypliny, w której jest użyty. Synonimy słowa "niezawodność" to: trwałość, sprawność, pewność i bezpieczeństwo [7], [9], [19]. Użytkownicy miejskiego transportu publicznego oceniają niezawodność głównie poprzez jego punktualność. Parametr ten związany jest bezpośrednio z takimi parametrami jak czas oczekiwania na przystanku oraz czas podróży.

Dokładna definicja niezawodności to "jeden minus prawdopodobieństwo zawodności" [20]. Jednakże, w systemach transportu publicznego „uszkodzenie” jest wieloaspektowe i trudne do zdefiniowania. Może odnosić się do różnych elementów i typów uszkodzeń. Zazwyczaj, niezawodność mierzona jest za pomocą liczby uszkodzeń, np. liczba osób poszkodowanych, utracony czas/kurs, czas poprawnej pracy pomiędzy awariami, czas przywrócenia pojazdu do pracy, itp.

Niezawodność usług przewozowych w literaturze przedmiotu definiowana jest jako zdolność przewozu osób i przestrzegania rozkładów jazdy, lub utrzymania stałych odstępów czasowych pomiędzy pojazdami na linii, zapewnienia dokładnych czasów podróży zgodnie z przyjętym rozkładem jazdy. Innymi słowy niezawodność może być zdefiniowana jako punktualność wykonania przewozu, czyli jako zależność pomiędzy planowym, a rzeczywistym czasem jazdy, mierzona różnicą pomiędzy planowym a rzeczywistym czasem przybycia na przystanki.

Warunki, w jakich funkcjonuje obecnie publiczny transport zbiorowy, najczęściej współdzieląc drogi przejazdu z innymi użytkownikami, takimi jak samochody osobowe i pojazdy użytkowe realizujące procesy zaopatrzeniowe, powoduje, że spełnienie oczekiwań pasażerów opisanych wyżej stanowi ogromne wyzwanie dla systemu zarządzania procesem przewozowym. W tabeli 1 zestawiono wybrane problemy powodujące naruszenie rytmiczności i punktualności procesu przewozowego.

Tab. 1. Wybrane czynniki mające wpływ na realizację procesu przewozowego

Rodzaj oddziaływania	Charakter zewnętrznego oddziaływania	Naruszenie procesu przewozowego
Wymuszenia zewnętrzne	Nieprzewidzialne zwiększenie strumienia pasażerów (imprezy masowe)	Spóźnienie na przystankach i przystanku końcowym wskutek wydłużenia czasu postoju na przystankach (zwiększony strumień)
	Nieprzewidzialne zwiększenie strumienia pasażerów (imprezy masowe)	Przekroczenie dopuszczalnych norm napelnienia pojazdu
	Pogorszenie warunków meteorologicznych (intensywne opady deszczu lub śniegu, gołoledź)	Spóźnione przybycie na przystanki i pętlę końcową
	Opóźnienia spowodowane przez inne środki transportu	Spóźnione przybycie na przystanki i pętlę końcową
	Wypadki drogowe nie związane z pojazdem komunikacji miejskiej	Spóźnione przybycie na przystanki i pętlę końcową
	Prace drogowe: - krótkoterminowe (awarie sieci wodociągowej, ciepłowniczej itp.) - długoterminowe (zmiana organizacji ruchu)	Znaczące spóźnienia na przystankach i pętli końcowej
Wymuszenia wewnętrzne w systemie transportu zbiorowego	Awaria pojazdu w zajezdni (przed wyjazdem na linię)	Wydłużony czas pomiędzy kolejnymi pojazdami na linii
	Brak kierowców w zajezdni	Wydłużony czas pomiędzy kolejnymi pojazdami na linii
	Brak zastępczych pojazdów w zajezdni (wyczerpana rezerwa)	Wydłużony czas pomiędzy kolejnymi pojazdami na linii
	Spóźnienia (z powodów technicznych) wysłania pojazdu na linię	Wydłużony czas pomiędzy kolejnymi pojazdami na linii
	Awarie trakcji elektrycznej w zajezdni (dotyczy trolejbusów i tramwajów)	Wydłużony czas pomiędzy kolejnymi pojazdami na linii
	Naruszenie przez kierowcę przyjętej prędkości przejazdowej	opóźnione (w stosunku do rozkładu) przybycie pojazdu na przystanki
	Krótkotrwała niesprawność trakcji trolejbusowej	opóźnione (w stosunku do rozkładu) przybycie pojazdu na przystanki
	Wydłużenie czasu postoju na przystankach (z winy kierowcy np. sprzedaż biletów)	opóźnione (w stosunku do rozkładu) przybycie pojazdu na przystanki
	Słabe kwalifikacje kierowcy	opóźnione (w stosunku do rozkładu) przybycie pojazdu na przystanki
	Awaria pojazdu	Wydłużony czas pomiędzy kolejnymi pojazdami na linii wskutek wyeliminowania uszkodzonego pojazdu
	Nagle pogorszenie stanu zdrowia kierowcy	Wydłużony czas pomiędzy kolejnymi pojazdami na linii wskutek wyeliminowania uszkodzonego pojazdu
	Awaria trakcji trolejbusowej	Znaczące opóźnienia na poszczególnych przystankach
Brak zasilania trakcji elektrycznej	Znaczące opóźnienia na poszczególnych przystankach	

W tabeli 1 wydzielono dwie grupy czynników decydujących o niezawodności realizacji procesu przewozowego:

- czynniki zewnętrzne mające charakter stochastyczny i nie wynikające z winy organizatora procesu przewozowego oraz bezpośrednio przewoźnika. Można te czynniki zaliczyć do grupy ryzyka zakłócającego prawidłowy przebieg procesu przewozowego
- czynniki wewnętrzne to jest takie, które mają swoje źródło w organizacji pracy przewoźnika.

Realizacja wiarygodnej usługi transportowej, zgodnie z oczekiwaniami pasażerów, wymaga, aby przewoźnik monitorował niezawodność środków transportu i infrastruktury dedykowanej do tych środków (trakcja tramwajowa, trakcja trolejbusowa, torowisko, system zasilania energią elektryczną) oraz analizował i przewidywał, z dokładnością rozkładu prawdopodobieństwa wystąpienia ryzyka związanego z funkcjonowaniem sieci publicznego transportu zbiorowego w przestrzeni urbanistycznej miasta.

2. ZNACZENIE NIEZAWODNOŚCI W TRANSPORCIE PUBLICZNYM

Charakterystyki systemu transportu publicznego (częstotliwość, czas podróży, itp.) oraz poziom niezawodności usług transportu publicznego wpływają na wybór sposobu podróżowania. Wieloletnie badania wykazały, że niezawodność, pod pewnymi względami jest najważniejszą cechą usług transportu publicznego dla wszystkich podróżnych [2], [3], [9], [11], [15], [17], [21].

Niezawodność uznaje się za czynnik ważniejszy niż średni czas podróży oraz koszty związane z podróżowaniem do pracy jak i w innych celach. Co więcej, niepunktualność usług prowadzi do wyższych kosztów operacyjnych usługodawcy z jednej strony, jak również do spadku liczby przejazdów przez niezadowolonych pasażerów z drugiej.

Zmniejszenie czasu oczekiwania na przystanku i zmniejszenie całkowitego czasu jazdy zwiększa atrakcyjność transportu publicznego. Co więcej, poziom niezawodności wpływa na decyzje, które podróżujący zamierzają podjąć, związane głównie z czasem przejazdu. Jest to szczególnie istotne dla osób podróżujących w celach zarobkowych, w których zwłoka czasowa jest traktowana priorytetowo. Przy podejmowaniu decyzji w sprawie wyjazdu pasażera do miejsca pracy, podróżny dąży do zminimalizowania swojego czasu jazdy związanego z ewentualnymi opóźnieniami. Zmienność w czasie podróży oznacza, że musi zostać zaplanowany dodatkowy czas (podróżujący musi wyjść wcześniej) aby uwzględnić ewentualne opóźnienia. Dodatkowy czas jazdy musi zostać dodany przez podróżującego i można uznać go, jako dodatkowy koszt osób podróżujących.

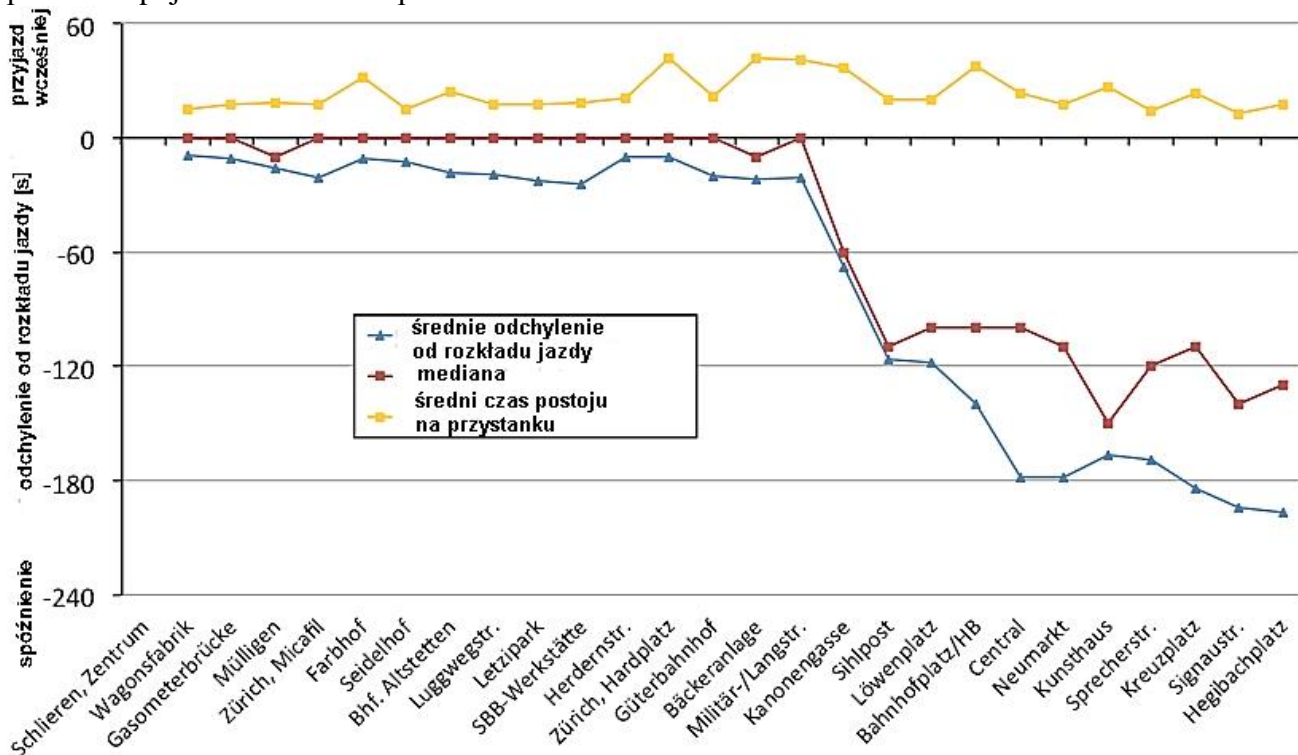
Powyższe rozważania pokazują, jak niezawodność wpływa na zachowania podróżnych. Jednakże, niezawodność jest nie tylko problemem dla podróżujących, ale jest również bardzo ważnym czynnikiem dla przewoźników. Muszą oni poświęcić część swoich środków na negatywne konsekwencje związane z zawodnością pojazdów. Zawodny system transportowy może mieć znaczny wpływ na zwiększenie kosztów transportowych w przedsiębiorstwie, a tym samym zmniejszyć ich przychody spowodowane zmniejszeniem liczby osób podróżujących transportem miejskim. Zwiększenie poziomu niezawodności pozwala przewoźnikowi na optymalizację wykorzystania zasobów. Przez poprawnie zaplanowany czas jazdy poszczególnych linii, przewoźnicy mogą zwiększyć dostępność swoich kierowców, jak i samych pojazdów. Zmniejszenie liczby awarii w pojazdach oraz przestrzeganie rozkładów jazdy umożliwia przewoźnikowi zmniejszenie liczby pojazdów potrzebnych w trasie oraz kierowców utrzymywanych w stanie gotowości pracy. Poprawa regularności czasu jazdy zmniejsza również prawdopodobieństwo zgrupowania pojazdów na danej linii, obniżenia średniego czasu oczekiwania pasażerów i poprawę wskaźników wypełnienia pojazdów.

Podsumowując, jak wskazano w pracy [4], niezawodność systemu transportu publicznego jest ważnym parametrem charakteryzującym jakość usług i wpływa bezpośrednio zarówno na popyt pasażerów oraz poziom usług transportowych.

3. WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI USŁUG TRANSPORTOWYCH

W większości miast pojazdy komunikacji miejskiej kursują według ściśle określonego rozkładu przypisanego do każdego przystanku. Niezawodność z punktu widzenia pasażerów, oznacza dokładne przestrzeganie czasów odjazdów z poszczególnych przystanków z powodów opisanych wyżej. Badanie przeprowadzone m.in. w Zurychu [3] pokazują, że w miarę jak pojazd przemieszcza się od

przystanku do przystanku jego opóźnienie narasta. Autorzy analizowali linię nr 31 przebiegającą m.in. w okolicach głównego dworca kolejowego ulicami starego miasta. Wzmógłony ruch pieszych na przejściach przez jezdnię wymuszał częste zatrzymania pojazdu. W efekcie na kolejnych przystankach opóźnienie pojazdu wzrosło do ponad dwóch minut.



Rys.2. Przykład analizy spóźnień autobusu komunikacji miejskiej na poszczególnych przystankach jednej linii [3]

Zdaniem autorów należy przeprowadzić szczegółowe badania w celu oszacowania niezawodności kursowania pojazdów transportu publicznego aby dostosować rozkład jazdy do rzeczywistych czasów przejazdu między przystankami. Szczególnie odnosi się to do linii autobusowych i trolejbusowych przebiegających przez zatłoczone skrzyżowania, wzdłuż ulic, na których należy się spodziewać wzmógłonego ruchu pieszych przechodzących przez jezdnie w dowolnym miejscu (godziny szczytu w pobliżu dworców autobusowych i kolejowych). Należy również przeanalizować linie z przystankami usytuowanymi w pobliżu sklepów wielkopowierzchniowych. Duża liczba pasażerów wsiadających lub wysiadających wydłuża czas postoju na przystanku w stosunku do czasu planowanego.

Do oszacowania niezawodności w aspekcie rozumianym jak w niniejszym artykule można zastosować wskaźnik punktualności [4].

Wskaźnik punktualności linii WPL określony jest jako prawdopodobieństwo zdarzenia, że pojazd publicznego transportu zbiorowego może przyjechać na dany przystanek z określonym rozkładem jazdy w czasie z dopuszczalnym odchyleniem δ_1 , i δ_2 w sekundach.

Jeżeli przyjmujemy, że pojazd przemieszcza się po trasie L, to WPL opisuje się następującym równaniem [2]:

$$WPL_L = P\{T_{Arr,N} \in [T_{Sch,N} + \delta_1, T_{Sch,N} + \delta_2]\} = P\{T_{Arr,N} - T_{Sch,N} \in [\delta_1, \delta_2]\} \quad (1)$$

gdzie:

$T_{Arr,N}$ - rzeczywisty czas przyjazdu pojazdu na przystanek, na trasie L,

$T_{Sch,N}$ - planowany czas przyjazdu pojazdu na przystanek, na trasie L.

WNIOSKI

Planując rozkład jazdy pojazdów publicznego transportu zbiorowego należy uwzględnić ryzyko związane z wystąpieniem czynników naruszających niezawodność procesu przewozowego zarówno tych zewnętrznych w stosunku do systemu transportu zbiorowego, jak również i czynników wewnętrznych odnoszących się do funkcjonowania całego systemu transportu zbiorowego łącznie z jego specyficzną infrastrukturą. Pasażerowie korzystający z transportu zbiorowego, jak również jego potencjalni użytkownicy jako jeden z podstawowych parametrów jakościowych funkcjonowania transportu zbiorowego wskazują na niezawodność rozumianą jako regularność kursowania bez opóźnień. Oczekują, że znając rozkład jazdy mogą tak planować przybycie pojazdu na przystanek, że z wysokim prawdopodobieństwem czas oczekiwania na pojazd skrócony będzie do minimum. Wprowadzane w wielu miastach systemy informacji pasażerskiej na przystankach on-line, pozwala na wyświetlenie prognozowanego przyjazdu autobusu na przystanku w oparciu o system GPS śledzenia pojazdów transportu zbiorowego. Jest to jednakże informacja, którą pasażer otrzymuje po dojeździe na przystanek. Dla pasażera ważniejsza jest informacja, że pojazd przyjedzie zgodnie z rozkładem jazdy, bo wtedy czas oczekiwania jest zgodny z jego założonym. Należy zatem, naszym zdaniem, w dalszym ciągu doskonalić system transportu zbiorowego pod kątem jego niezawodności.

Streszczenie

Poprawa efektywności funkcjonowania transportu miejskiego może zwiększyć atrakcyjność jego korzystania przez mieszkańców miasta. Zrozumienie wskaźników niezawodności jest konieczne, aby osiągnąć nową wiedzę i informacje, które poprawią usługi transportowe w danym mieście. Na świecie przeprowadzanych zostało wiele badań, które rozważają nad efektywnością transportu miejskiego. Artykuł ten prezentuje problemy efektywności funkcjonowania publicznego transportu miejskiego. Wskaźnik efektywności, wskaźnik punktualności linii (WPL) został zaproponowany do oceny niezawodności usług transportowych. W artykule przedstawiono również efekty długości trasy, czasu przejazdu autobusu, odległości pomiędzy przystankami oraz wykorzystanie tzw. bus-pasów.

Selected problems in the efficiency of public transport

Abstract

Improving the reliability of bus service has the prospective to enhance the attractiveness of public transit to city inhabitants. An understanding of reliability parameters is necessary to develop strategies that help transit agencies provide better services in current city. Many studies all over the world, have been conducted analyzing bus efficiency. This paper presents an in-depth analysis of service efficiency based on public transport bus characteristics. A performance parameter, punctuality index based on routes (WPL), is recommended for the assessment of bus service reliability. The effects of route length, headway, the distance from one stop to the other, and the use of selected bus lanes are also analyzed.

BIBLIOGRAFIA

1. Badia H., Estrada M., Robusté F., Competitive transit network design in cities with radial street patterns, *Transportation Research Part B* 59 (2014) 161–181
2. Börjesson M., Eliasson J., Franklin J.P., Valuations of travel time variability in scheduling versus mean–variance models, *Transportation Research Part B* 46 (2012) p. 855–873
3. Carrasco N., Quantifying public transport reliability in Zurich, 11th Swiss Transport Research Conference 2011, Zurich
4. Chen X., Yu L., Zhang Y., Guo J., Analyzing urban bus service reliability at the stop, route, and network levels, *Transportation Research Part A* 43, 2009: p. 722-734.
5. El-Geneidy, A.M., J. Horning, and K. Krizek, Analyzing transit service reliability using detailed data from AVL systems, 2008.
6. Guihaire V., Hao J.K., Transit network design and scheduling: A global review, *Transportation Research Part A* 42 (2008) 1251–1273

7. Islam M.K., Vandebona U., Reliability Analysis of Public Transit Systems Using Stochastic Simulation, Australasian Transport Research Forum 2010 Proceedings, 2010 Canberra, Australii
8. Kimpel, T.J., et al., Time Point-Level Analysis of Passenger Demand and Transit Service Reliability, 2000, Portland.
9. Levinson, H.S., Supervision strategies for improved reliability of bus routes. Synthesis of transit practice NCTRP 15. 1991, Washington, DC: Transportation Research Board.
10. Lin J., Wang P., Barnum D.T., A quality control framework for bus schedule reliability, Transportation Research Part E 44 (2008) 1086–1098
11. Liu, R., Sinha, Sh. (2007). Modelling Urban Bus service and Passenger Reliability. In The Third International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR), July 2007. The Hague, the Netherlands. Available from <http://eprints.whiterose.ac.uk/3686/>
12. Nelson J.D., Mulley C., The impact of the application of new technology on public transport service provision and the passenger experience: A focus on implementation in Australia, Research in Transportation Economics 39 (2013) p. 300-308
13. Rohani M.Md., Wijeyesekera D.C., Karim A. T. A., Bus Operation, Quality Service and The Role of Bus Provider and Driver, Proceeding Engineering 53 (2013) 167 – 178
14. Rymarz J. Niewczas A., Stokłosa J. Analiza usterek i niezawodności autobusów użytkowanych w miejskim przedsiębiorstwie komunikacyjnym. Materiały XLII Szkoły Niezawodności 2014. 12-18 stycznia 2014
15. Suda J. Zarządzanie ruchem pojazdów transportu publicznego obsługujących miasta i regiony. V Konferencja Naukowo-Techniczna "Zintegrowany transport publiczny w obsłudze miast i regionów" PublicTrans 2010, Zakopane 24 - 26 listopada 2010
16. Teng J., Yang X., Study on the Optimization of Bus Coordination Holding Control for Transit Hub, Systems Engineering — Theory & Practice 2008, 28(5): s. 156–163
17. Turnquist, M. A., and L. A. Bowman (1980). The Effects of Network Structure on Reliability of Transit Service. Transportation Research B, 14, 79–86.
18. Wall G., McDonald M., Improving bus service quality and information in Winchester, Transport Policy 14 (2007) s. 165–179
19. Weiya C., Zhiya C., Service Reliability Analysis of High Frequency Transit Using Stochastic Simulation, Journal of transportation systems engineering and information technology, 2009, 9(5), p. 130-134.
20. Vuchic, V.R., Urban transit operations, planning and economics 2005, Hoboken: Wiley.
21. Yatskiv I., Pticina I., Savrasovs M., Urban public transport system's reliability estimation using microscopic simulation, Transport and Telecommunication, Vol. 13, No 3, 2012, s. 219–228