

Jerzy KWAŚNIKOWSKI¹
Grzegorz GRAMZA²

WYBRANE ZAGADNIENIA ZWIĄZANE Z OCENĄ JAKOŚCI RUCHU TRAMWAJÓW

Praca dotyczy zagadnień związanych z oceną jakości ruchu tramwajów z punktu widzenia elementów systemu transportowego i jego otoczenia. Ukazano wymagania poszczególnych elementów odnośnie jakości ruchu tramwajów i kryteriów jej oceny. Przedstawiono wyniki własnych badań związanych z analizą symulacyjną ruchu tramwaju wykonaną z wykorzystaniem symulatora cyfrowego RSEL.

SELECTED ISSUES RELATING TO THE ASSESSMENT OF QUALITY TRAFFIC TRAM

This paper concerns issues related to the evaluation of the quality movement of trams from the perspective of the transport system and its environment. The requirements of various elements regarding the quality of trams' motion and criteria for its evaluation are presented. The results of own investigations related to analysis of the tram traffic simulation performed using a digital simulator RSEL are shown.

1. WSTĘP

Tramwaje są ważnym elementem publicznego transportu zbiorowego wielu aglomeracji miejskich. Sprawnie funkcjonująca sieć połączeń tramwajowych pozwala na szybkie przemieszczanie się dużych potoków pasażerów w obrębie aglomeracji. Nowoczesne rozwiązania pozwalają na uniknięcie wielu zagrożeń współczesnych miast związanych z wypadkami komunikacyjnymi i stratami czasu z powodu kongestii, stanowią konkurencję dla transportu indywidualnego. Tylko takie rozwiązania mogą stać się konkurencyjne i na tyle atrakcyjne aby mogły zostać wdrożone do realizacji, które pozwolą na spełnienie określonych wymagań odnośnie jakości ruchu.

Jakość traktuje się jako właściwość zbiorczą, niemianowaną, niemierzalną lecz dającą się opisywać i wyznaczać ilościowo jako wynikowe natężenie oddziaływających na nią

¹Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel: (61) 665 2612, e-mail: jerzy.kwasnikowski@put.poznan.pl,

²Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel: (61) 665 2017, e-mail: grzegorz.gramza@put.poznan.pl,

najistotniejszych czynników [7]. Określenie wymagań dotyczących jakości ruchu tramwajów nie jest łatwe, gdyż związane są one z różnymi aspektami oceny funkcjonowania systemu transportowego z punktu widzenia jego elementów jak i otoczenia. Inne kryteria dotyczące oceny jakości ruchu tramwajów określi pasażer, miejskie przedsiębiorstwo komunikacyjne – przewoźnik oraz osoba mieszkająca w sąsiedztwie linii tramwajowej.

Nie zawsze możliwe jest spełnienie wymagań jakościowych dotyczących ruchu tramwajów w równym stopniu ze względu na czynniki społeczne, środowiskowe, techniczne i ekonomiczne. Można stwierdzić z dużym uogólnieniem, że funkcjonowanie miejskiego systemu transportowego oparte jest na pewnym kompromisie między tym co trzeba, można i opłaca się spełnić.

2. JAKOŚĆ RUCHU TRAMWAJÓW PUBLICZNYM TRANSPORCIE ZBIOROWYM

2.1 Jakość ruchu tramwajów dla pasażera

Zadaniem przedsiębiorstw komunikacyjnych jest świadczenie usług przewozowych. Tylko atrakcyjna oferta przewozowa może być przedmiotem zainteresowania klienta – pasażera. W przewozie osób w transporcie zbiorowym ocena jakości ruchu związana jest ściśle z preferencjami pasażerów. Preferencje te przedstawić można w postaci uporządkowanego zbioru kryteriów. Decydują one o wyborze konkretnego sposobu zaspokojenia danej potrzeby. Zbiór tych kryteriów po określeniu ich ważności stanowi wzorzec preferencji. Liczba kryteriów oceny jakości ruchu nie jest dokładnie określona. W sektorze usług transportowych ich właściwości jakościowe związane są najczęściej m. in. z odległością przestrzenną, czasem i przedmiotem przewozu. Główną cechą jakości usługi przewozowej, nie tylko w transporcie osób ale i ładunków jest czas jej realizacji. Można przyjąć, że przedstawione w tabeli 1 ogólne jakościowe własności usług przewozowych będą właściwe do określenia zbioru kryteriów oceny jakości ruchu tramwajów z punktu widzenia pasażera.

Tab. 1. Najważniejsze jakościowe właściwości usług transportowych

Związane z odległością przestrzenną	Związane z czasem	Związane z przedmiotem przewozu
<ul style="list-style-type: none"> – dostępność do sieci transportowej – bezpośredniość – długość i wydłużenie drogi – przepustowość 	<ul style="list-style-type: none"> – szybkość – dostępność w czasie – niezawodność – częstotliwość – rytmiczność – regularność – punktualność, terminowość 	<ul style="list-style-type: none"> – masowość – bezpieczeństwo: częstotliwość wypadków i uszkodzeń oraz tzw. bezpieczeństwo kryminalne – wygoda pasażera (komfort) – pewność – kompleksowość obsługi

Bibliografia: [17, 19, 21]

- Publiczny transport miejski musi uwzględniać następujące warunki [16]:
- *Dostępność*. Wygodne dojście do przystanków komunikacji publicznej, za które uważa się dystans nie przekraczający: 750 m – w obrębie dzielnic zabudowy jednorodzinnej, 600 m – w obrębie osiedli mieszkaniowych. 450-300 m w obrębie centrum oraz dojść do wielkich zakładów pracy. Bardzo istotna jest również atrakcyjna i bezpieczna droga dla pieszych.
 - *Częstotliwość*. Z komunikacji miejskiej korzysta się wielokrotnie i wielokierunkowo, niezbędna jest zatem częstotliwość poszczególnych linii umożliwiająca podróże bezrozkładowe. Za odstępy maksymalnej obsługi w komunikacji miejskiej przyjmuje się 10 min, co oznacza czas oczekiwania na przystankach średnio 5 min, uznany psychologicznie za akceptowalny.
 - *Komfort podróży*. W ruchu tramwajowym określa się standard dopuszczalnego zatłoczenia np. 4-6 pasażerów na m² podłogi wagonu. Bardzo istotne jest założenie, że jazda na stojąco jest w szczycie krótka, gdyż duża rotacja pasażerów powoduje, że osoby jadące dalej zajmują miejsca wysiadających. Ważna jest atrakcyjność samej trasy czego dowodem może być integracja przystanków z ośrodkami usługowymi osiedli i dzielnic.
 - *Prędkość podróży*. Prędkość przejazdu zależy od dystansu, prędkości maksymalnej na trasie, liczby przystanków, czasu traconego na każde zatrzymanie. Dużą szybkość handlową uzyskuje się w ruchu miejskim w systemach transportu korzystających z wydzielonych, bezkolizyjnych tras. Dla komunikacji miejskiej ważne jest przyspieszenie pojazdu. Przy czym, z uwagi na stojących pasażerów, zarówno przyspieszenie jak i opóźnienie przy hamowaniu nie powinno przekraczać 1,4 m/s². Czas zatrzymania na przystanku zależy od wymiany pasażerów. Sprzyjają jej wysokie perony, nisko usytuowana podłoga w pojeździe oraz odpowiednio duża szerokość drzwi pojazdów.

Przeprowadzone badania preferencji pasażerów wykazały określoną ważność miar jakości co przedstawiono w tabeli 2. Wyniki badań wskazują na zdecydowaną ważność miar jakości związanych z czasem.

Tab. 2. *Ważność (ranking) różnych miar jakości (%)*

1	Punktualność	19,37	5	Niski koszt	11,82
2	Bezpośredniość	14,37	6	Komfort	6,98
3	Częstotliwość	14,03	7	Pewność podróży	6,81
4	Rytmiczność	13,95	8	Prędkość/czas	6,39

Bibliografia: [1]

Pasażer w trakcie podróży tramwajem jest narażony na zagrożenia związane m.in. z wypadkami komunikacyjnymi, hałasem i drganiami. Jakość realizowanych usług przewozowych może być mierzona ilościowo liczbą wypadków, czy poziomem hałasu i drgań w pojeździe. Wyniki badań hałasu i przyspieszeń drgań w tramwajach były prezentowane m.in. w pracach [3, 4]. Oddziaływanie wibroakustyczne na pasażera jest zależne nie tylko od typu i stanu technicznego pojazdu, lecz także od stanu technicznego

torowiska. W pracy [2] przedstawiono założenia metodyczne klimatu akustycznego pojazdu szynowego.

Duże miasta skupiają 95% wypadków i 94% pracy przewozowej w sieciach tramwajowych kraju. Ze wskaźników wypadków w tych miastach wynika, że [8]:

- średnio na 1 mln przejechanych pociągokilometrów zdarzy się 3,5 wypadku, a statystycznie w ciągu 4 lat każdy pociąg weźmie udział w wypadku; pod tym względem najgorsza sytuacja jest w Łodzi i Poznaniu,
- średnio w skali roku 1 wypadek przypada na około 2,5 km sieci, najgorzej jest w Poznaniu i Krakowie.

W tabeli 3 przedstawiono wskaźniki bezpieczeństwa komunikacji tramwajowej.

Tab. 3. Wskaźniki bezpieczeństwa w komunikacji tramwajowej

Miasto	Liczba wypadków	Praca przewozowa [tys.pocmk/rok]	Liczba pociągów	Długość tras [km]	Wskaźnik wypadków		
					Wyp/1mln pocmk	Wyp/1000 pociągów	Wyp/km
Wrocław	27	11 180	186	84	2,42	145	0,32
Łódź	77	15 838	215	178	4,84	356	0,43
Kraków	52	13 677	186	83	3,77	277	0,62
Warszawa	63	25 080	348	124	2,5	180	0,51
Gdańsk	25	5 321	78	50	4,66	318	0,50
Katowice (aglom.)	49	17 039	201	210	2,86	243	0,23
Poznań	51	10 540	152	64	4,8	333	0,79
Szczecin	23	5 341	87	47	4,23	260	0,48
Średnia					3,51	251	0,43

Bibliografia: [8]

Procentowy udział ofiar śmiertelnych w całkowitej liczbie ofiar wypadków dla poszczególnych sposobów przemieszczania się wskazuje, że wśród pasażerów tramwajów na 100 rannych przypada tylko 0,1 ofiar śmiertelnych (tabela 4) [8].

Tab. 4. Procentowy udział ofiar śmiertelnych w całkowitej liczbie ofiar

Sposób przemieszczania się	Udział ofiar śmiertelnych [%]
Tramwaj	0,1
Autobus publiczny	1,2
Autobus niepubliczny	5
Samochód osobowy	6,7
Samochód ciężarowy	8
Rower	8,7
Motocykl	9,7
Pieszy	10,4
Ciągnik	18,4
Średnia dla Polski	8

Bibliografia: [8]

Wyniki przedstawione w tabeli 4 wskazują, że pojazdy transportu zbiorowego zapewniają swoim pasażerom o wiele większe szanse przeżycia wypadku drogowego niż pozostałe środki przewozowe, a transport publiczny jest bardziej bezpieczny niż niepubliczny [8].

Zagadnienia dotyczące tematyki jakości usług w publicznym transporcie pasażerskim do oczekiwań pasażerów poruszono w normie *PN-EN 13816:2004 Transport - Logistyka i usługi - Publiczny transport pasażerski - Definicje, cele i pomiary dotyczące jakości usług*, oraz w pracy [18].

2.1 Jakość ruchu tramwajów dla przewoźnika

Przedsiębiorstwo komunikacyjne ustalając ofertę przewozową musi uwzględniać preferencje pasażera. Ocena jakości ruchu tramwajów będzie jednak związana bardziej z miarami niezawodnościowymi i miarami opartymi o wskaźniki ekonomiczne i techniczne. Tylko niektóre z nich odnoszą się będą bezpośrednio do ruchu tramwajów.

Wskaźniki niezawodnościowe pojazdów szynowych, w tym tramwajów, można podzielić na [1]:

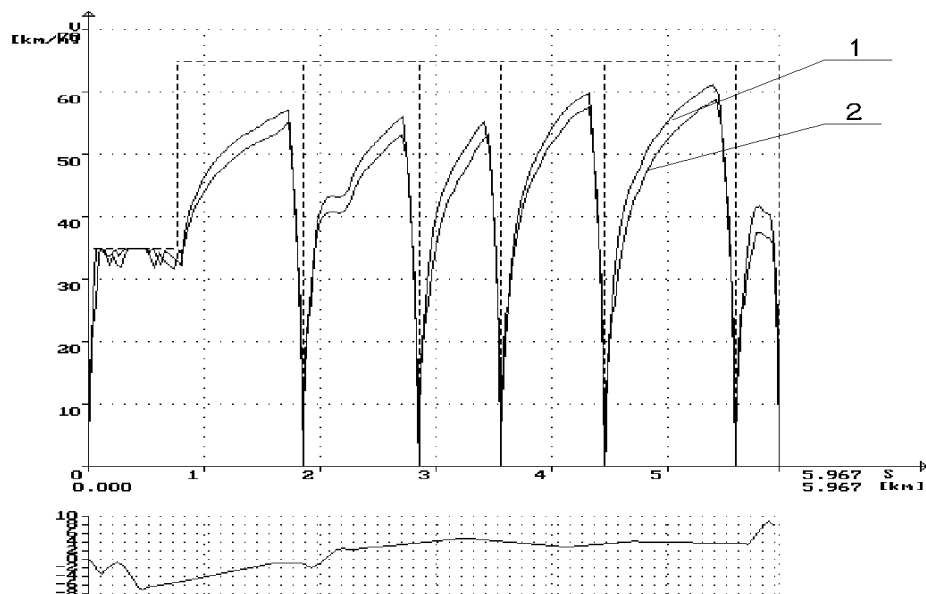
- wskaźniki charakteryzujące niezawodność tramwaju od strony technicznej w okresie eksploatacji: intensywność uszkodzeń, ilość wykonanej pracy,
- wskaźniki charakteryzujące niezawodność tramwaju z punktu widzenia strat zasobów, strat materiałów oraz związanych z nimi wskaźników kosztów: współczynnik nakładów na naprawę tramwaju, współczynnik gotowości, współczynnik technicznego wykorzystania tramwaju.

Przedsiębiorstwo komunikacyjne może również określić jakość ruchu tramwajów ze względu na oddziaływanie w układzie tor-pojazd. Stan techniczny torowiska wpływa bezpośrednio na drgania i hałas w pojeździe, a pośrednio na prędkości dopuszczalne na danym odcinku linii co jest związane z czasem przejazdu i ustaleniem odpowiedniego rozkładu jazdy. Pojazdy tramwajowe ze względu na swoją konstrukcję i stan techniczny powodują różne zużywanie się drogi. Zagadnienia związane z badaniem oddziaływań w układzie tor – pojazd zaprezentowano w pracy [3].

Oferta przewozowa jest przedstawiana pasażerowi w formie rozkładu jazdy tj. trasy przejazdu w czasie i przestrzeni. Realizacja zadań przewozowych w określonym czasie wiąże się ze zmienną forsownością przejazdów, a co za tym idzie zmiennym zużyciem energii. Jest możliwa ocena związku pomiędzy czasem przejazdu a zużyciem energii przez tramwaj na drodze symulacji komputerowej. Opracowany w Zakładzie Pojazdów Szynowych Politechniki Poznańskiej program komputerowy RSEL (Run Simulation of Electric Locomotives) służy do symulacji ruchu pojazdów szynowych z trakcją elektryczną. W programie RSEL istnieje możliwość odwzorowania ruchu pociągu lub tramwaju według trzech sposobów sterowania: minimalno-czasowego (forsownego) MR, quasi-forsownego SL i energooszczędnego FC. Przejazd minimalno-czasowy jest źródłem informacji o możliwościach pojazdu trakcyjnego w ekstremalnych warunkach obciążenia i jest na ogół krótszy od rozkładowego. Przejazdy quasi-forsowny i energooszczędny (w czasie rozkładowym) realizowane są przy zastosowaniu rezerwy czasowej w rozkładzie jazdy. Program RSEL liczy wiele wskaźników eksploatacyjnych np. zużycie energii na przejazd, pracę oporów wzniesień, a także innych nie związanych bezpośrednio ze zużyciem energii (średnie prędkości techniczne i handlowe), prąd zastępczy, wydajność

czasową oraz histogramy nastawień sterownika jazdy/hamowania i histogramy obciążeń kół siłą pociągową. Szczegółowy opis programu symulacyjnego RSEL zawiera praca [9]. Program symulacyjny RSEL był wykorzystywany wcześniej w pracach związanych z jakością realizacji zadań przewozowych m.in. w [10, 11, 12].

Zastosowanie programu RSEL do oceny jakości ruchu tramwajów można prześledzić na przykładzie linii Poznańskiego Szybkiego Tramwaju (PST). Linia PST w Poznaniu została oddana do użytku w 1997 roku. Odcinek z całkowicie wydzielonym torowiskiem długości 6,1 km (pętla Piątkowo – ul. Roosevelta) został odpowiednio zbudowany, aby umożliwić szybki przejazd od leżących w dzielnicy Winogrady osiedli mieszkaniowych do centrum miasta. Podstawowe dane, tj. charakterystyki trakcyjne $F(v)$ oraz opory zasadnicze $R(v)$ przygotowano na podstawie danych z KONSTALU Chorzów [14], a profil tras według danych z MPK Poznań Sp. z o.o. Symulowano przejazdy według procedury minimalno-czasowej (forsowej). Wyniki symulacji przedstawiono na rysunku 1 w postaci trajektorii prędkości pojazdu w funkcji drogi $v(s)$ na tle profilu pionowego trasy, przy różnych stopniach wypełnienia tramwaju (25% i 100%) oraz w tabeli 5.



Rys. 1. Trajektorie $v(s)$ przejazdu tramwaju na odcinku ul. Roosevelta - Piątkowo dla różnych wypełnień pojazdu (krzywa 1 - 25%, krzywa 2 - 100%) oraz profil pionowy toru.

Tab. 5. Zużycie energii E , prędkość średnia (techniczna) v_{sr} i czas jazdy t na odcinku Roosevelta - Piątkowo

Wyniki przejazdu	E [kWh]	v_{sr} [km/h]	t [s]	E [kWh]	v_{sr} [km/h]	t [s]
Zapełnienie pojazdu	25%			100%		
Roosevelta - Słowiańska	3,5	37,8	176,4	4,0	36,9	180,5
Słowiańska - Serbska	3,0	38,0	94,7	3,4	36,2	99,4
Serbska - Lechicka	2,3	34,9	73,2	2,6	32,5	78,7
Lechicka - Kurpińskiego	2,5	39,0	83,1	2,8	37,4	86,6
Kurpińskiego - Szymanowskiego	2,9	41,4	97,6	3,2	38,7	104,3
Szymanowskiego - Piątkowo	1,7	26,9	51,3	2,0	24,8	55,8
SUMA	15,9	37,3	576	18,1	35,5	605

Inne wskaźniki analizy ekonomicznej odwołują się do wyników finansowych przedsiębiorstwa i związane będą głównie z efektywnością majątku trwałego i stopnia jego wykorzystania. Do jakości ruchu tramwajów mogą odnosić się m.in. liczba wozokilometrów, liczba wozogodzin. W tabeli 6 przedstawiono wartości teoretyczne maksymalnej zdolności przewozowej poszczególnych środków transportu.

Tab. 6. Teoretyczna maksymalna zdolność przewozowa poszczególnych środków transportu

Środek komunikacji	Prędkość handlowa [km/h]	Potok pasażerski [tys. pas./h]	Wydajność [tys. pas. km/h]
Autobus, Trolejbus	20 - 25	9-10	180-250
Tramwaj tradycyjny	10 - 20	12,5 - 18	125-360
Tramwaj szybki	25 - 30	20	500-600
Metro	35 - 40	40	1400-1600
Kolej podmiejska	40-50	50	2000-2500

Bibliografia: [5, 15]

2.1 Jakość ruchu tramwajów dla otoczenia systemu transportowego i środowiska

Tramwaje poruszają się wewnątrz aglomeracji miejskich, często w terenach o gęstej zabudowie i różnym przeznaczeniu. Ma to wpływ na otoczenie torowisk tramwajowych przede wszystkim ze względu na zajętość terenu, hałas i drgania.

Drgania mechaniczne generowane przez przejeżdżające pojazdy szynowe mają wpływ na środowisko, a przede wszystkim na konstrukcję budynków w bliskim otoczeniu źródła wibracji i ludzi przebywających w tych budynkach. Źródło drgań wpływa bezpośrednio na stan nawierzchni szynowej oraz obiekty infrastruktury – mosty, wiadukty, tunele. Ograniczenie propagacji drgań do otoczenia trasy uzyskać można między innymi poprzez wprowadzenie wibroizolacji w konstrukcji nawierzchni szynowej [22]. Nowo budowane i modernizowane drogi tramwajowe mają dodatkowe zabezpieczenia polegające na

wykorzystaniu mat podtorowych i elementów wibroizolacyjnych wykonanych z elastomerów. Stanowią one barierę dla przenoszenia wibracji przez podtorze i grunt do zabudowań.

Tabor tramwajowy powinien spełniać oprócz wszystkich wymagań konstrukcyjnych, bezpieczeństwa, ergonomii itd. także normy związane z emisją hałasu. W ruchu miejskim tramwajów hałas powstaje często podczas jazdy pojazdu po łuku. Wywołane jest ono wejściem obrzeża koła w kontakt z główką szyny. Problematyka ta została poruszona m.in. w pracach [6, 13, 20]

Zajęcie powierzchni przez tramwaje jest niższe w stosunku do samochodów osobowych i autobusów. Istotne jest nie tylko chwilowe zajęcie powierzchni (w m² na osobę), ale także odniesienie jej do czasu zajęcia powierzchni (w m² i godzinach na osobę) [1]. Dodatkowo należy tu wspomnieć o koniecznych miejscach parkingowych dla samochodów co powoduje dodatkowe zatłoczenie przestrzeni miejskiej. Wydzielenie torowisk tramwajowych powoduje dodatkową zajętość terenu, lecz zwiększa się w ten sposób przepustowość linii i punktualność kursowania tramwajów. Ponadto w godzinach szczytu przy występowaniu kongestii ruchu czas przejazdu tramwajem jest bardzo konkurencyjny w stosunku do innych środków komunikacji.

3. WNIOSKI

Ocena jakości ruchu tramwajów jest złożonym zagadnieniem. Celem pracy było ogólne przedstawienie problematyki związanej z oceną jakości ruchu tramwajów oraz ukazanie ewentualnych kierunków poszukiwania i opracowania miar jakości. Jakość ruchu pojazdów tramwajowych w ruchu miejskim można ocenić z punktu widzenia różnych elementów związanych bezpośrednio z procesem przewozowym np. pasażer czy przewoźnik, ale również ze względu na otoczenie systemu. Z tego względu kryteriów oceny jakości ruchu pojazdów tramwajowych jest wiele i trudne jest opracowanie ich uogólnionej miary. Ponadto w takiej ocenie jakości ważne są cechy związane z ruchem ale i inne składające się w całości na obraz oferty przewozowej np. dostępność, bezpieczeństwo.

Ocena ruchu tramwajów jest ważna z punktu widzenia pasażera jako elementu nie zaangażowanego w powstawanie oferty przewozowej ale jej konsumenta. Na wybór kryteriów oceny jakości w przewozie osób mają wpływ preferencje podróżnych. Zbiór kryteriów, wraz z opisem ich wartości stanowi wzorzec preferencji. W sektorze usług transportowych ich właściwości jakościowe związane są najczęściej z odległością przestrzenną, czasem i przedmiotem przewozu. Można przyjąć, że podstawową cechą jakości usługi przewozowej jest czas jej realizacji.

Analiza literatury wskazuje że możliwy jest pomiar jakości w sposób pośredni przez ocenę wielkości mających wpływ na jej postrzeganie np. hałasu i drgań w pojeździe jak i bliskim otoczeniu systemu transportowego. Dodatkowo zastosowane symulacji komputerowej, np. programu RSEL przystosowanego do symulacji przejazdu tramwaju, umożliwia otrzymanie wielu interesujących wskaźników oceny ruchowej i eksploatacyjnej, przede wszystkim czasów przejazdów i zużycia energii trakcyjnej na wybranych obszarach systemu. Na tej podstawie można sporządzić rozkłady jazdy (forsownej i energooszczędnej), określić czas jazdy pod prądem, zajętość trasy i inne wskaźniki. Znając charakterystyki trakcyjne różnych tramwajów można będzie w łatwy sposób sprawdzić, który z nich najlepiej spełnia zdefiniowane zadania przewozowe i kryteria

jakości w różnych warunkach eksploatacyjnych na danym odcinku. Łatwość wprowadzania zmian sprawia, że program ten może być dobrym narzędziem wstępnej analizy ruchu na wybranej trasie, z możliwością szybkiego zbadania różnych warunków ruchu.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Borowiecki R., Kaczmarek J., Magiera J., Młynarski S.: *Eksploatacja taboru szynowego komunikacji miejskiej. Niezawodność, jakość, ekonomika*. Wyd. Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków 2004.
- [2] Czechyra B.: *Methodical assumptions to assess vibroacoustic climate of rail vehicle*. Proceedings of the 17th International Congress on Sound & Vibration, Cairo, 18-22 July 2010.
- [3] Czechyra B., Firlik B., Tomaszewski F.: *Technical state monitoring method of light rail track wear*. Proceedings of the Fourth European Workshop on Structural Health Monitoring 2008, Edited by: UHL, OSTROWSKI, HOLNICKI-SZULC; DEStrech Publications, Inc., 439 North Duke Street Lancaster, Pennsylvania 17602 USA; page 167-174.
- [4] Jurga S., Zając G.: *Badania hałasu i przyspieszeń drgań w wybranych tramwajach eksploatowanych przez MPK S.A. w Krakowie*. Mat V Międzynarodowej Konferencji „QSEV’ 07”, Kraków, 18-19 czerwca 2007 r., str. 55-61.
- [5] Kacprzak J., Kelles-Krauz M.: *Podstawy trakcji elektrycznej w komunikacji miejskiej*. Wyższa Szkoła Inżynierska, Radom 1995.
- [6] Karpiński F.: *Ochrona środowiska przed hałasem komunikacyjnym*, Magazyn Autostrady, 3/2003, str. 71-74.
- [7] Kolman R.: *Ilościowe określanie jakości*. PWE, Warszawa 1973.
- [8] Krystek R. (red.): *Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu. Tom II. Uwarunkowania rozwoju integracji systemów bezpieczeństwa transportu*. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2009, WKŁ, Warszawa, 2009.
- [9] Kwaśnikowski J.: *Modelowanie i symulacja komputerowa procesu ruchu pociągu*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej serii rozprawy, nr 264. Poznań 1992.
- [10] Kwaśnikowski J.: *Symulacja jazdy i odnowa tramwajów*. Mat. Konferencji Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego. SITK Poznań, 8-9 października 1997, str. 91-97.
- [11] Kwaśnikowski J., Gramza G., Gill A.: *Koncepcja ilościowego szacowania wpływu opóźnień pociągu na jakość kolejowych przewozów pasażerskich*. Logistyka, nr 4/2009, płyta CD
- [12] Kwaśnikowski J., Gramza G., Gill A.: *Ocena ilościowa wpływu opóźnień pociągu na jakość kolejowych pasażerskich usług przewozowych*. Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 70/2009, Modelowanie procesów transportowych i logistycznych. str. 97-111.
- [13] Michajłow U.: *Wpływ przedsięwzięć modernizacyjnych na środowisko naturalne*, Technika Transportu Szynowego, nr 11-12/2006, str. 28-30.
- [14] *Obliczenia trakcyjne tramwaju 105N*. KONSTAL Chorzów 1974.
- [15] Rataj M., Ostaszewicz J.: *Szybka komunikacja miejska*, WKiŁ, Warszawa 1979.
- [16] Rościszewski M.: *Podstawy urbanistyki i architektury dla specjalności komunikacyjnych*, PWN, Warszawa 1989.

- [17] Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K. (red.): *Transport*. PWN, Warszawa 2000.
- [18] Starowicz W.: *Charakterystyka polskiej normy „Jakość usług w publicznym transporcie pasażerskim”¹⁾*, Technika Transportu Szynowego, nr 9/2004, str. 29-41.
- [19] Tarski I.: *The time factor in transportation processes*. Elsevier, Amsterdam 1987.
- [20] Tomaszewski F., Orczyk M., Szymański G., Czechyra B.: *Ocena klimatu akustycznego tramwaju na postoju i podczas jazdy*. Materiały XIX Konferencji Naukowej Pojazdy Szynowe, Targanice k. Andrychowa 15-17 września 2010, str. 241-247.
- [21] Twaróg J.: *Mierniki i wskaźniki logistyczne*. Biblioteka Logistyka, Poznań 2003.
- [22] Wójciak J.: *Nowoczesne rozwiązania – podtorowe maty wibroizolacyjne*. Technika Transportu Szynowego, nr 9/2007, str. 68-69.

Praca współfinansowana z projektu N R 10 0037 06/2009