

Jerzy KWAŚNIKOWSKI¹, Grzegorz GRAMZA²

¹ Politechnika Poznańska
Instytut Silników Spalinowych i Transportu
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

¹ jerzy.kwasnikowski@put.poznan.pl
² grzegorz.gramza@put.poznan.pl

WYBRANE ELEMENTY OCENY JAKOŚCI RUCHU TRAMWAJÓW PRZEZ PASAŻERÓW W PUBLICZNYM TRANSPORCIE ZBIOROWYM

Streszczenie:

Praca dotyczy zagadnień związanych z oceną jakości ruchu tramwajów z punktu widzenia pasażera. Przedstawiono wybrane wyniki badań, które były prezentowane wcześniej przez innych autorów zajmujących się tą tematyką w pracach naukowych oraz wyniki własnych badań związanych z analizą symulacyjną ruchu tramwaju wykonaną z wykorzystaniem symulatora cyfrowego RSEL.

Słowa kluczowe: jakość w transporcie, kryteria oceny jakości ruchu tramwajów, symulacja komputerowa ruchu tramwajów.

WPROWADZENIE

Sprawnie funkcjonująca sieć połączeń tramwajowych pozwala na szybkie przemieszczanie się dużych potoków pasażerów w obrębie aglomeracji miejskich, dlatego tramwaje są ważnym elementem publicznego transportu zbiorowego wielu miast. Rozwiązanie komunikacyjne z zastosowaniem tramwajów pozwalają zmniejszyć niekorzystne cechy transportu miejskiego związane z wypadkami komunikacyjnymi i stratami czasu z powodu kongestii ruchu samochodowego. Sprawnie działający system transportu publicznego stanowi 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.

Zadaniem przedsiębiorstw komunikacyjnych jest świadczenie usług przewozowych. Jedynie 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. Wybrane elementy oceny jakości ruchu tramwajów ważne dla pasażera są omówione w tej pracy.

1. ZAGADNIENIA JAKOŚCI RUCHU W TRANSPORCIE PUBLICZNYM

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

najistotniejszych czynników [6]. 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, tym co można i tym, co opłaca się spełnić [10]. Przede wszystkim publiczny transport miejski musi uwzględniać następujące warunki [14]:

- *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 (z wliczonym czasem postojów) 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. Szybkiej wymianie przy pojazdach z wysoką podłogą sprzyjają wysokie perony (tak jak w kolei miejskiej w Hanowerze), odpowiednio duża szerokość drzwi pojazdów, również nisko usytuowana podłoga w pojazdach – przy peronach niskich

Dla klienta właściwości jakościowe usług transportowych 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 tabelicy 1 ogólne jakościowe własności usług przewozowych będą właściwe do określenia zbioru kryteriów oceny jakości ruchu tramwajów z punktu widzenia pasażera.

Zaprezentowane w pracy [1] wyniki badań preferencji pasażerów wykazały określoną ważność miar jakości co przedstawiono w tabelicy 2. Wyniki wskazują na ważność takich miar jakości związanych z czasem jak punktualność i częstotliwość. Co ciekawe sam czas podróży był tu dla pasażera mniej ważny.

Tablica 1. Najważniejsze jakościowe właściwości usług transportowych

Związane z odległością przestrzenną	Związane z czasem	Związane z przedmiotem przewozu
– dostępność do sieci transportowej	– szybkość	– masowość
– bezpośredniość	– dostępność w czasie	– bezpieczeństwo: częstotliwość wypadków i uszkodzeń oraz tzw. bezpieczeństwo kryminalne
– długość i ew. wydłużenie drogi	– niezawodność	– wygoda pasażera (komfort)
– przepustowość	– częstotliwość	– pewność
	– rytmiczność	– kompleksowość obsługi
	– regularność	
	– punktualność, terminowość	

Źródło: [16, 18, 19].

Tablica 2. Ważność (ranking) różnych miar jakości (%)

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

Źródło: [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 oceny 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 [7]:

- 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 tablicy 3 przedstawiono wskaźniki bezpieczeństwa komunikacji tramwajowej.

Tablica 3. Wskaźniki bezpieczeństwa w komunikacji tramwajowej

Miasto	Liczba wypadków	Praca przewozowa [tys.pockm/rok]	Liczba pociągów	Długość tras [km]	Wskaźnik wypadków		
					Wyp/1mln pockm	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

Źródło: [7].

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 (tablica 4) [7].

Tablica 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
Pieszcy	10,4
Ciągnik	18,4
Średnia dla Polski	8

Źródło: [7]

Wyniki przedstawione w tabeli 4 wskazują, że pojazdy transportu zbiorowego zapewniają swoim pasażerom o wiele większe szanse przeżycia wypadku drogowego niż pozostałe środki transportu, a transport publiczny jest bardziej bezpieczny niż niepubliczny [7].

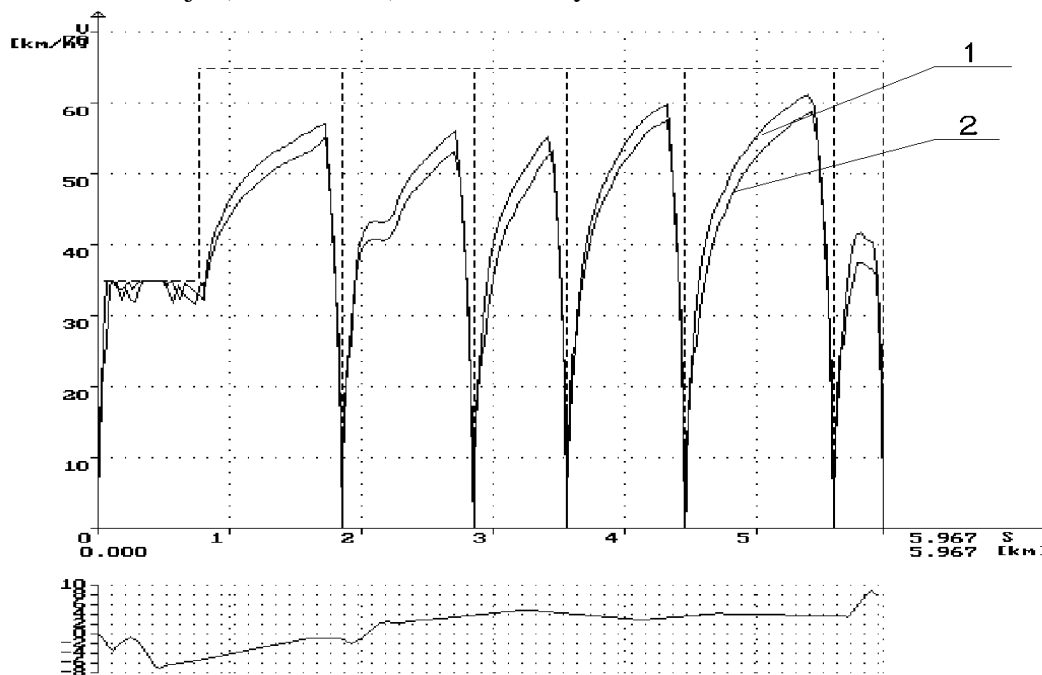
Zagadnienia dotyczące tematyki jakości usług w publicznym transporcie pasażerskim do oczekiwania pasażerów poruszono w normie *PN-EN 13816:2004 Transport - Logistyka i usługi - Publiczny transport pasażerski - Definicje, cele i pomiary dotyczące jakości usług*, oraz w pracy [17].

2. SYMULACJA KOMPUTEROWA – NARZĘDZIE DO ANALIZY RUCHU TRAMWAJU

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 wykorzystaniu 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 [8]. Program symulacyjny RSEL był wykorzystywany wcześniej w pracach związanych z jakością realizacji zadań przewozowych w transporcie szynowym m.in. w pracach [9, 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 Piątkowo osiedli mieszkaniowych do centrum miasta. Podstawowe dane, tj. charakterystyki trakcyjne $F(v)$ oraz opory zasadnicze $R(v)$ przygotowano na podstawie danych z KONSTALU Chorzów [13], a profil tras według danych z MPK Poznań Sp. z o.o. Symulowano przejazdy według procedury minimalno-czasowej (forsownej). Wyniki symulacji przedstawiono na rysunku 1 w postaci trajektorii prędkości pojazdu w funkcji drogi $v(s)$ na tle profilu pionowego trasy, przy różnych stopniach zaopóźnienia tramwaju (25% i 100%) oraz w tabelicy 5.



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

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 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]	Zużycie energii, prędkość średnia i czas jazdy		
				E [kWh]	v_{sr} [km/h]	t [s]
Zupełnienie 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

Źródło: [5, 14].

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. Wskaźniki te nie dotyczą bezpośrednio pasażera, ale ich niekorzystne wyniki mogą mieć wpływ na działalność przedsiębiorstwa i realizowane przez nie działania. Analiza ekonomiczna może być głównym kryterium decyzji w ostatecznym przygotowaniu oferty przewozowej w postaci rozkładu jazdy lub o częstotliwości ruchu. Przekłada się to na

przepustowość linii tramwajowej. W tabeli 6 przedstawiono wartości teoretyczne maksymalnej zdolności przewozowej poszczególnych środków transportu.

3. PODSUMOWANIE

Ocena jakości ruchu tramwajów przez pasażera jest złożonym zagadnieniem. 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 czasem, odległością przestrzenną i przedmiotem przewozu. 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. Można przyjąć, że podstawową cechą jakości usługi przewozowej jest czas jej realizacji.

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, na co wskazuje analiza literatury. Zastosowanie symulacji komputerowej, np. programu RSEL przystosowanego do symulacji przejazdu tramwaju, umożliwi 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.

Adknoledę: publikacja powstała w ramach realizacji projektu rozwojowego N R10 0037 06/2009, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

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; pp. 167-174.
- [4] Jurga S., Zajęc 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] Kolman R.: Ilościowe określanie jakości. PWE, Warszawa 1973.
- [7] Krystek R. (red.): Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu. Tom II. Uwarunkowania rozwoju integracji systemów bezpieczeństwa transportu. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2009, WKŁ, Warszawa, 2009.

- [8] Kwaśnikowski J.: Modelowanie i symulacja komputerowa procesu ruchu pociągu. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej serii rozprawy, nr 264. Poznań 1992.
- [9] 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.
- [10] Kwaśnikowski J., Gramza G.: Wybrane zagadnienia związane z oceną jakości ruchu tramwajów. Logistyka, nr 6/2010, płyta CD
- [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] Obliczenia trakcyjne tramwaju 105N. KONSTAL Chorzów 1974.
- [14] Rataj M., Ostaszewicz J.: Szybka komunikacja miejska, WKiŁ, Warszawa 1979.
- [15] Rościszewski M.: Podstawy urbanistyki i architektury dla specjalności komunikacyjnych, PWN, Warszawa 1989.
- [16] Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K. (red.): Transport. PWN, Warszawa 2000.
- [17] Starowicz W.: Charakterystyka polskiej normy „Jakość usług w publicznym transporcie pasażerskim”, Technika Transportu Szynowego, nr 9/2004, str. 29-41.
- [18] Tarski I.: The time factor in transportation processes. Elsevier, Amsterdam 1987.
- [19] Twaróg J.: Mierniki i wskaźniki logistyczne. Biblioteka Logistyka, Poznań 2003.

SELECTED ISSUES OF TRAFFIC TRAM QUALITY ASSESSMENT BY PASSENGERS IN PUBLIC TRANSPORT

Abstract:

This paper concerns issues related to the evaluation of the quality movement of trams from the perspective of passengers. The results of research presented by other authors dealing with these issues in scientific papers and own investigation related to analysis of the tram traffic simulation performed using a digital simulator RSEL are shown.

Key words: quality of transport, the criteria for assessing the quality of motion of trams, tram traffic computer simulation