

PORÓWNANIE TECHNIK POMIARU CZASU PRZEJAZDU POJAZDÓW TRANSPORTU ZBIOROWEGO¹

MAREK BAUER

dr inż., Politechnika Krakowska,
Katedra Systemów Komunikacyj-
nych, ul. Warszawska 24,
31-155 Kraków, tel. 12 628 25 33,
mail: mbauer@pk.edu.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono znaczenie oraz możliwości wykorzystania często niedocenianych badań czasu przejazdu w komunikacji zbiorowej. Tymczasem czas przejazdu stanowi jeden z najistotniejszych elementów podróży i ma istotny wpływ na wybór środka transportu. Omówiono zakres pozyskiwanych informacji przy różnych metodach i zróżnicowanej dokładności prowadzenia pomiarów czasu przejazdu, z uwzględnieniem rozwoju zaawansowanych technik pomiarowych. Przedyskutowano potencjalne efekty zastosowania poszczególnych metod i technik pomiarów. Szczególną uwagę poświęcono problemowi szczegółowości rozbitcia czasu przejazdu linii (lub korytarza komunikacyjnego) na poszczególne procesy ruchu. W najprostszym metodzie pomiaru tradycyjnego uzyskiwane wyniki umożliwiają jedynie wyznaczenie czasu trwania kolejnych modułów międzyprzystankowych na linii, skupiających przejazd i postój na przystanku. Natomiast w metodzie najbardziej zaawansowanej (zdefiniowanej jako pomiar pełny) możliwe jest znaczne rozwarstwienie czasu przejazdu korytarza z podziałem na elementy składowe, takie jak: przejazd odcinka, oczekiwanie na możliwość wjazdu na przystanek, wymianę pasażerów oraz oczekiwanie na możliwość odjazdu z przystanku. Takie podejście umożliwia nie tylko ogólną ocenę funkcjonowania linii, ale także wyodrębnienie przyczyn ewentualnych zakłóceń czasu przejazdu. Analizę porównawczą metod badawczych zilustrowano przykładem, w którym szczegółowe wyniki pomiarów czasu przejazdu, uzyskane w wyniku zastosowania najbardziej zaawansowanej metody pomiaru pełnego, zostały przetworzone do postaci uzyskiwanych także przy zastosowaniu pozostałych metod prowadzenia pomiarów. Na podstawie tak przygotowanych wyników wyznaczono czasy, prędkości i wartości wskaźnika punktualności, możliwe do uzyskania poszczególnymi metodami. Referat zwieńczono rekomendacją do stosowania pomiarów o dużej dokładności i szerokim zakresie pozyskiwanych informacji.

Słowa kluczowe: transport pasażerski, transport zbiorowy, czas przejazdu

Wprowadzenie

Badania jakości są niezmiernie istotne dla podnoszenia i podtrzymywania wysokich standardów funkcjonowania transportu zbiorowego ([1], [2]). Mogą one obejmować zarówno pomiary rzeczywistych parametrów obsługi komunikacyjnej (m.in. czas i prędkość przejazdu, punktualność i regularność kursowania, wielkości potoków pasażerskich), jak również badania subiektywnych preferencji, oczekiwań i zachowań pasażerów.

Do najczęściej wykonywanych badań w transporcie zbiorowym należą pomiary napełnień oraz pomiary czasu przejazdu pojazdów transportu zbiorowego. Jedne i drugie są niezwykle istotne. Pomiary potoków pasażerskich są niezbędne dla oceny i modyfikacji oferty przewozowej, ich wy-

niki mają istotny wpływ na dobór częstotliwości kursowania i wielkości taboru obsługującego poszczególne linie. Z kolei pomiary czasu przejazdu najczęściej służą lepszemu dopasowaniu rozkładowych czasów przejazdu do rzeczywistych warunków ruchu.

Niestety, często bagatelizowane jest inne, niezwykle ważne zastosowanie wyników pomiarów czasu przejazdu. Mianowicie mogą one stanowić podstawę do identyfikacji miejsc, a nawet przyczyn występowania zakłóceń, które w skrajnych przypadkach skutkują powszechną rezygnacją z odbywania podróży transportem zbiorowym. Umożliwiają wskazanie optymalnego rozmieszczenia i zakresu środków usprawniających ruch pojazdów transportu zbiorowego, takich jak wydzielone torowiska, pasy autobusowe oraz priorytety w sygnalizacji świetlnej. W tym kontekście pomiary czasu przejazdu mogą się wydawać nawet ważniejsze od pomiarów napełnień, bo to wielkości potoków pasażerskich są efektem oferowanego poziomu usług (w tym czasie i warunków przejazdu), a nie odwrotnie.

To, czy wyniki pomiarów czasu przejazdu mogą być efektywnie wykorzystywane do poprawy jakości usług przewozowych, a tym samym do zwiększenia atrakcyjności transportu zbiorowego, w dużej mierze zależy od jakości i dokładności ich wykonywania.

Zróżnicowany zakres pozyskiwanych informacji

W zależności od przyszłych zastosowań wyników, pomiary czasu przejazdu pojazdów transportu zbiorowego mogą być realizowane przy użyciu wielu metod. Metody te mogą być użyte zarówno w pomiarach prowadzonych w punktach sieci (zazwyczaj na kolejnych przystankach), jak również w pojazdach transportu zbiorowego na poszczególnych liniach. Same wyniki pomiaru mogą być rejestrowane bądź przez obserwatorów wyposażonych w sprzęt pomiarowy, bądź automatycznie, za pomocą urządzeń montowanych w punktach sieci i w pojazdach.

Pomiary w punktach sieci mają zastosowanie głównie w badaniach o charakterze ogólnym lub w badaniach korytarzowych. Umożliwiają pozyskanie informacji na temat wielu pojazdów przecinających punkt pomiarowy, jednak utrudnione jest pozyskiwanie danych na temat położenia pojazdu znajdującego się pomiędzy ustalonymi wcześniej punktami pomiarowymi. Pomiary tego rodzaju charakteryzują się również podatnością na błędy obserwacji, gdyż obserwator (na ogół wyposażony w długopis i formularz) ma niewiele czasu na rejestrację mierzonych wielkości, zwłaszcza

¹ © Transport Miejski i Regionalny, 2013.

cza w sytuacji pojawienia się w punkcie pomiarowym więcej niż jednego pojazdu. Z kolei pomiary prowadzone w pojazdach, dzięki wykorzystaniu nowoczesnych technik pomiaru umożliwiają pozyskiwanie dokładnych i wiarygodnych danych na temat zmienności położenia konkretnego pojazdu komunikacji zbiorowej w czasie i przestrzeni. Wymagają jednak zaangażowania większej liczby obserwatorów, tak aby można było obsadzić wiele pojazdów.

Pomiary wykonywane przez obserwatorów wymagają zazwyczaj zaangażowania wielu osób, jednak zwłaszcza w przypadku badań szczegółowych, nastawionych na precyzyjne odwzorowanie procesów ruchu (np. czas wymiany, czas oczekiwania), są bardziej efektywne od pomiarów w pełni zautomatyzowanych (rejestrujących z góry ustalony zakres wyników). Największą zaletą tych ostatnich jest z kolei niemal nieograniczony zakres pozyskiwanych na bieżąco informacji na temat wielu linii, ograniczony tylko i wyłącznie liczbą pojazdów wyposażonych w urządzenia pomiarowe. W niniejszym referacie skupiono się na pomiarach wykonywanych przez obserwatorów, prowadzonych w pojazdach, jako potencjalnie bardziej uniwersalnych, z największą możliwością zastosowania zaawansowanych technik pomiarowych.

W pierwszej kolejności, pod uwagę wzięto metodę **pomiaru tradycyjnego**, historycznie najstarszą [3], ale wykorzystywaną (choć nie polecaną) także dzisiaj. W metodzie tej – zakres pozyskiwanych informacji jest stosunkowo ubogi. Pomiar czasu przejazdu stanowi w zasadzie uzupełnienie pomiaru wielkości potoków pasażerskich i ogranicza się jedynie do rejestracji momentów odjazdów pojazdów transportu zbiorowego z przystanków, z dokładnością do 1 minuty. Przyjęcie takiej dokładności w przeszłości było zazwyczaj skutkiem niedoskonałości i koniecznością synchronizacji urządzeń służących do pomiaru czasu. Efektem tak prowadzonych pomiarów są w praktyce czasy realizacji pojedynczych modułów na linii, obejmujące czas przejazdu odcinka międzyprzystankowego i postoju na przystanku znajdującym się na końcu tego odcinka, chociaż w żargonie osób zawodowo zajmujących się układaniem rozkładów jazdy przyjęło się określać je (w uproszczeniu) czasem przejazdu odcinka. Pojawiają się także problemy z zerowymi czasami, jeśli przystanki znajdują się w bliskiej odległości a zatrzymania na przystankach są krótkie. Momenty odjazdów z przystanków umożliwiają obliczenie wartości prędkości komunikacyjnych oraz wskaźników punktualności i regularności kursowania, które jednak należy traktować jako przybliżone ze względu na dokładność pomiaru do 1 minuty.

Pojawienie się zegarów sterowanych drogą radiową, nie wymagających ręcznej synchronizacji, rozwiązało problem niewystarczającej dokładności pomiaru i umożliwiło wiarygodne rejestrowanie momentów odjazdów z dokładnością do 1 sekundy. Ten rodzaj pomiaru w niniejszym referacie określono mianem **pomiaru tradycyjnego o zwiększonej dokładności**. Badania tego typu są prowadzone także dzisiaj, nawet gdy istnieje możliwość wykorzystania bardziej zaawansowanych technologii zbierania danych. Uzyskiwane

wyniki są bardziej wiarygodne, nie występują problemy z interpretacją zerowych czasów pomiędzy odjazdami z sąsiednich przystanków. Zakres pozyskiwanych informacji jest taki sam jak w przypadku pomiaru tradycyjnego. Jest on wystarczający do oceny i korekty rozkładów jazdy, ale nie daje podstawy do określenia przyczyn nie osiągnięcia satysfakcjonujących parametrów obsługi, na przykład ewentualnych, zbyt niskich prędkości komunikacyjnych. Przynajmniej w pierwszym jednak nie daje poglądu na strukturę czasu przejazdu między przystankami – ile z tego czasu stanowiła jazda, a ile czas spędzany przez pojazd na przystanku.

Problem ten częściowo rozwiązują pomiary polegające na rejestracji momentów otwierania i zamykania drzwi na przystankach, które są bardzo łatwe do wyodrębnienia nawet przez bardzo przeciętnego obserwatora. Na potrzeby niniejszego referatu pomiar taki nazwano **pomiarem rozszerzonym**. Pojawiają się jednak wątpliwości, jak określić czas pomiędzy momentem zamknięcia drzwi pojazdu a momentem ich ponownego otwarcia na kolejnym przystanku? Nie jest to „czysty” czas przejazdu, bo przecież już po zamknięciu drzwi pojazd może nadal znajdować się na przystanku, na przykład w oczekiwaniu na sygnał zielony. Podobny dylemat dotyczy czasu pomiędzy rejestrowanymi momentami: otwarcia i zamknięcia drzwi. Nie jest to „czysty” czas wymiany, bo często można spotkać pojazdy stojące z otwartymi drzwiami, chociaż wysiadanie i wsiadanie dobiegło końca. Najbardziej adekwatne wydaje się być określenie „czas otwarcia drzwi”, które jednak nie ma większego zastosowania praktycznego. Można więc uznać, że uzyskiwane w ten sposób wyniki mogą służyć do oceny funkcjonowania linii, na dość dużym poziomie ogólności. Nie dają bowiem informacji na temat faktycznych strat czasu ponoszonych przez pojazdy komunikacji zbiorowej na przystankach.

Nieco zbliżone podejście zaprezentowano w pracy [4], w której wyodrębniono momenty przyjazdu i odjazdu z przystanku. Takie rozwarstwienie umożliwia wyznaczenie czasu postoju i czasu przejazdu odcinka międzyprzystankowego. Rezultatem uszczegółowienia tego podejścia jest autorska koncepcja pomiarów [5], rozszerzająca zakres dotychczas pozyskiwanych informacji, w której, rejestrowane są: momenty rozpoczęcia i zakończenia wymiany pasażerów oraz momenty odjazdów z przystanków, rejestrowane niezależnie od momentów otwierania i zamykania drzwi pojazdu. Dzięki w ten sposób prowadzonym obserwacjom zaczęto uzyskiwać znacznie więcej informacji na temat funkcjonowania linii, jednak sam pomiar był bardzo eksploatacyjny obserwatorów, a konieczność zapisywania tak wielu odczytów z zegarów zwiększała prawdopodobieństwo popełniania błędów. Sytuacja zmieniła się diametralnie w momencie włączenia do pomiarów czasu przejazdu ręcznych odbiorników GPS. Urządzenia tego typu (np. Garmin GPSMAP62 [6]) są wyposażone w przycisk „zaznacz”, który jest wykorzystywany do zaznaczania momentów zachodzenia wszystkich istotnych zdarzeń na linii. Każde wciśnięcie przycisku „zaznacz” powoduje natychmiastową rejestrację wskazanego miejsca w czasie i przestrzeni, poprzez zdefiniowanie numeru wskazanego punktu, zapisanie jego współrzędnych geograficznych oraz aktualnej daty i momentu (go-

dzina, minuta, sekunda) w czasie. Oprócz tego, urządzenie posiada możliwość samoczynnej rejestracji podróży, w ustalonych przez użytkownika odstępach czasu lub odległości. Takie ręczne odbiorniki GPS zostały pierwszy raz wykorzystane w pracach zwięźczonych publikacją [7]. Momenty i miejsca zachodzenia zdarzeń są rejestrowane z dokładnością do jednej sekundy oraz do kilku metrów, co w przypadku ustalonych tras przejazdu i znanej lokalizacji przystanków jest w pełni wystarczające. Dzięki regularnym połączeniom z systemem satelitów prawdopodobieństwo rejestracji błędnych momentów i miejsc zachodzenia zdarzeń jest minimalne. Dzięki temu rejestracja nawet wielu zdarzeń na linii nie naręcza problemów. Zdecydowano więc o dołączeniu do zakresu pomiarów jeszcze momentów zatrzymań przed przystankami, w sytuacjach gdy pojazdy komunikacji zbiorowej nie są w stanie zająć stanowiska przystankowego, zajętego przez inny pojazd. Dodatkowo automatyczna rejestracja śladu pojazdu umożliwia odwzorowanie przejazdu po odcinku międzyprzystankowym, w tym zidentyfikowanie wszelkich zatrzymań. Dlatego, z uwagi na bardzo szeroki zakres pozyskiwanych informacji, pomiar ten nazwano pomiarem pełnym. W tabeli 1 zaprezentowano porównanie

zakresu informacji rejestrowanych przy zastosowaniu przedstawionych wcześniej, czterech rodzajów pomiarów prowadzonych w pojazdach komunikacji zbiorowej.

Efektom przeprowadzenia pomiarów jest zbiór charakterystyk transportu zbiorowego, w tym czasu trwania poszczególnych procesów ruchu oraz osiąganych prędkości przejazdu i prędkości komunikacyjnych. Możliwe jest także obliczenie rozmaitych wskaźników jakości, w tym wskaźników punktualności kursowania. Spośród tych ostatnich, najbardziej miarodajny dla obiektywnej oceny punktualności jest wskaźnik „Stopień punktualności” [8], określający wartość funkcji przynależności elementu do zbioru rozmytego odjazdów punktualnych. Wskaźnik ten wyraża nie tylko udział kursów punktualnych, ale przede wszystkim uwzględnia wielkość odchyłek od rozkładu jazdy. Zestawienie wybranych efektów uzyskiwanych na podstawie zastosowania omówionych czterech metod pomiarów zamieszczono w tabeli 2.

Pomiar pełny daje dokładniejszy opis funkcjonowania komunikacji zbiorowej dzięki rozwarstwieniu czasu przejazdu na poszczególne jego składniki. Na tej podstawie możliwe jest określenie faktycznych słabych i mocnych

Tabela 1

| Zakres danych pozyskiwanych w pomiarach czasu przejazdu pojazdów transportu zbiorowego przy zastosowaniu różnych metod prowadzenia pomiarów wewnątrz pojazdu | | | | |
|--|--|--|---|--|
| Opis pomiaru | Pomiar tradycyjny | Pomiar tradycyjny o zwiększonej dokładności | Pomiar rozszerzony | Pomiar pełny |
| Rejestrowane momenty zachodzenia zdarzeń | moment odjazdu z przystanku (rzadziej: moment przyjazdu na przystanek) | | moment rozpoczęcia otwierania drzwi pojazdu, moment rozpoczęcia zamykania drzwi pojazdu | moment zatrzymania pojazdu przed przystankiem, moment rozpoczęcia wymiany pasażerów, moment zakończenia wymiany pasażerów, moment odjazdu z przystanku |
| Dokładność pomiaru czasu | 1 minuta | | 1 sekunda | |
| Wykorzystywane narzędzia pomiarowe | zegar tradycyjny zsynchronizowany z zegarem operatora, zegar sterowany drogą radiową GPS | GPS zegar sterowany drogą radiową, zegar tradycyjny zsynchronizowany z zegarem operatora | GPS zegar sterowany drogą radiową | GPS (wyjątkowo: zegar sterowany drogą radiową) |
| Powiązanie z pomiarem napelnień | przy niskich wartościach potoków pasażerskich, możliwość prowadzenia pomiaru czasu i napelnień przez tego samego obserwatora | | | osobny obserwator do pomiaru czasu |

Tabela 2

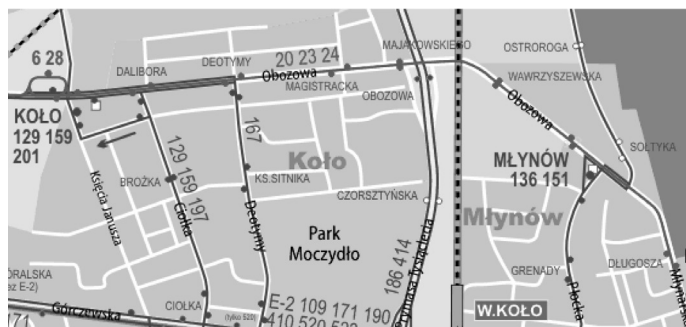
| Zakres baz danych pozyskiwanych w wyniku przeprowadzenia pomiarów czasu przejazdu pojazdów transportu zbiorowego przy zastosowaniu różnych metod | | | | |
|--|--|---|---|--|
| Opis pomiaru | Pomiar tradycyjny | Pomiar tradycyjny o zwiększonej dokładności | Pomiar rozszerzony | Pomiar pełny |
| Czasy trwania poszczególnych procesów ruchu [min] lub [sek] | czas realizacji modułu: odcinek międzyprzystankowy – przystanek – zdefiniowany jako różnica momentów odjazdu z dwóch kolejnych przystanków | | czas otwarcia drzwi pojazdu – jako różnica pomiędzy momentami otwarcia i zamknięcia drzwi pojazdu, łączny czas przejazdu odcinka międzyprzystankowego z uwzględnieniem dodatkowych strat czasu na przystanku – jako różnica pomiędzy momentem zamknięcia drzwi pojazdu na przystanku a momentem otwarcia drzwi na przystanku kolejnym | czas przejazdu odcinka międzyprzystankowego – różnica pomiędzy momentem odjazdu z przystanku a momentem zatrzymania na kolejnym przystanku (przed przystankiem), czas oczekiwania na możliwość wjazdu na przystanek – różnica pomiędzy momentem zatrzymania przed przystankiem a momentem rozpoczęcia wymiany pasażerów, czas wymiany pasażerów – różnica pomiędzy momentami rozpoczęcia i zakończenia wymiany pasażerów, czas oczekiwania na możliwość odjazdu z przystanku – różnica pomiędzy momentami zakończenia wymiany i odjazdu z przystanku |
| Prędkości [km/h] | prędkość komunikacyjna – zdefiniowana jako stosunek długości odcinka linii do czasu przejazdu tego odcinka | | prędkość przejazdu odcinka międzyprzystankowego – zdefiniowana jako stosunek długości odcinka do czasu jego przejazdu | |
| Wskaźnik „Stopień punktualności” [8] Q [-] | dla $d \leq -4$ $Q=0$; dla $-4 \leq d \leq -1$ $Q=(d+4)/3$; dla $-1 \leq d \leq 0$ $Q=1$; dla $0 \leq d \leq 1$ $Q=1-d$; dla $d > 1$ $Q=0$ | | wartości przybliżone | wartości dokładne |
| d – odchyłka od rozkładu jazdy [min] | | | | |

stron badanej linii lub jej części. Występowanie przypadków oczekiwania na możliwość wjazdu na przystanek może świadczyć o zbyt niskiej przepustowości tego przystanku lub o dopuszczeniu zbyt dużej liczby pojazdów z niego korzystających. Z kolei zbyt długie czasy oczekiwania na możliwość odjazdu z przystanku (po zakończeniu wymiany pasażerów) mogą być efektem usytuowania przystanku na wlocie skrzyżowania z sygnalizacją i braku priorytetu w sygnalizacji albo efektem częstych przypadków sprzedaży biletów przez prowadzących (gdy nie ma automatów biletowych). Niskie prędkości przejazdu (wydłużone czasy przejazdu) danego odcinka mogą natomiast świadczyć o istotnym wpływie ruchu innych pojazdów na ruch pojazdów komunikacji zbiorowej lub zbyt liberalnych rozkładów jazdy, wymuszających wolniejszy przejazd, mimo sprzyjających warunków ruchowych. Wskazanie takich źródeł powstawania zakłóceń stwarza podstawę do zastosowania efektywnych środków poprawy, takich jak wydzielenie pasa ruchu, wprowadzenie priorytetu w sygnalizacji lub choćby prosta korekta rozkładu jazdy. Nawet wymiana taboru może być przyczyną skrócenia czasów wymiany przy tych samych wielkościach potoków pasażerskich. Podstawą do takich działań musi być jednak rzetelna, szczegółowa informacja na temat stanu linii, którą pomiar pełny zapewnia.

Nie oznacza to jednak, że zawsze konieczne jest pozyskiwanie najszerzego wachlarza danych. Jeżeli pomiar jest prowadzony wyłącznie w celu oceny i ewentualnej korekty rozkładowych czasów przejazdu lub uzyskania ogólnych wartości wskaźników – wystarczający może być pomiar tradycyjny. Ważne jednak, aby był to pomiar o rozszerzonej dokładności, tym bardziej że przy obecnych możliwościach powszechnego zastosowania dokładnych mierników czasu – pomiar z dokładnością do 1 sekundy wydaje się koniecznością.

Zróżnicowanie oceny funkcjonowania transportu zbiorowego w oparciu o wyniki pomiarów na przykładzie trasy tramwajowej na ciągu ul. Młynarskiej i ul. Obozowej w Warszawie

Trasa tramwajowa w ulicy Młynarskiej i ulicy Obozowej znajduje się na ciągu łączącym centrum Warszawy z dzielnicami Młynów i Koło. Pod uwagę wzięto odcinek tej trasy o długości 2,5 [km], pomiędzy przystankami Długosza (jeszcze na ul. Młynarskiej) a przystankiem Koło (rys. 1).



Rys. 1. Analizowany odcinek trasy tramwajowej w ul. Młynarskiej i ul. Obozowej w Warszawie
Źródło: [9]

Na analizowanym odcinku torowisko tramwajowe jest zlokalizowane w pasie dzielącym ulicę Młynarską i ulicę Obozową. Lokalizacja przystanków jest zróżnicowana – na odcinku początkowym przystanki znajdują się w większości albo na wylotach skrzyżowań, albo w oddaleniu od skrzyżowań. Począwszy od przystanku „Magistralna” – są to przystanki na wlotach.

Z odcinka korzystają 3 tramwaje linii o numerach 20, 23 i 24, w okresach szczytowych tworzące wiązkę o bardzo wysokiej częstotliwości 30 [pociągów/godz.]. Utrzymanie wysokiej jakości obsługi przy tak dużym obciążeniu wymaga podejmowania działań zmierzających do skracania, a przed modernizacją trasy przeprowadzono pomiary czasu przejazdu tramwajów w stanie istniejącym. Wyniki pomiarów wykorzystano do porównania efektów pomiarów o zróżnicowanej dokładności, zgodnie z podziałem zaprezentowanym w tabeli 1, przy czym ograniczono się do kierunku Długosza–Koło.

Pomiary czasu przejazdu tramwajów w ciągu ulicy Obozowej w Warszawie przeprowadzono w kwietniu 2013 roku, w okresie szczytu popołudniowego (14.00–19.00, łącznie 36 przejazdów w każdym z kierunków) zgodnie z zasadami wykonywania pomiaru pełnego. Pomiar był realizowany przez obserwatorów wyposażonych w ręczne odbiorniki GPS, poruszających się tramwajami wszystkich trzech wyżej wymienionych linii [10]. Na kolejnych przystankach (za wyjątkiem pierwszego, na którym obserwatorzy wsiadali do tramwaju) rejestrowane były:

- momenty zatrzymania tramwajów przed przystankami (brak możliwości rozpoczęcia wymiany pasażerów), jeśli takie miały miejsce;
- momenty rozpoczęcia wymiany pasażerów na kolejnych przystankach, odpowiadające momentom rozpoczęcia otwierania pierwszych drzwi pojazdu;
- momenty zakończenia wymiany pasażerów, rejestrowane w chwili zakończenia wysiadania i wsiadania zasadniczej grupy pasażerów;
- momenty odjazdu z kolejnych przystanków, rejestrowane w chwili fizycznego rozpoczęcia opuszczania przystanku (także na pierwszym przystanku: „Długosza”).

Następnie uzyskane wyniki zostały porównane do pozostałych trzech rodzajów pomiarów (zgodnie z tabelą 1). W przypadku pomiaru tradycyjnego uwzględniono tylko i wyłącznie momenty odjazdów z przystanków, które dodatkowo zaokrąglono do pełnych minut, zgodnie z zasadą: „powyżej 30 sekund w górę”. W podobny sposób wygenerowano wyniki pomiaru tradycyjnego o zwiększonej dokładności, z tą różnicą, że momenty odjazdów pozostawiono z dokładnością do 1 sekundy. Najtrudniejsze było dostosowanie wyników pomiaru pełnego do postaci wyników pomiaru rozszerzonego. O ile momenty rozpoczęcia otwierania drzwi i momenty rozpoczęcia wymiany pasażerów – bez większego błędu można uznać za zbliżone, o tyle momenty rozpoczęcia zamykania drzwi nie są tak proste do ustalenia, gdyż na przystankach dochodzi niekiedy do

kilkukrotnego otwierania drzwi przez pasażerów. Wobec braku możliwości ustalenia faktycznych momentów zamykania drzwi pojazdu założono, że moment ten będzie następował 6 sekund po zakończeniu wymiany pasażerów, co wynika z prowadzonych badań czasu operacyjnego na przystankach, opisanych m.in. w [5]. W ten sposób uzyskano wyniki pomiarów dla wszystkich czterech metod prowadzenia pomiarów. W tabeli 3 przedstawiono przykładowe wyniki dla tylko jednego przejazdu analizowanego odcinka trasy.

Wyniki rejestrowane podczas kolejnych przejazdów umożliwiły wyznaczenie miar statystycznych, w tym: wartości średnich oraz wielkości odchyłeń standardowych dla czasów trwania poszczególnych procesów ruchu na kolejnych fragmentach analizowanego odcinka trasy tramwajowej. W tabeli 4 zaprezentowano średnie czasy trwania procesów ruchu, wyznaczone na podstawie danych dostępnych w wyniku zastosowania czterech metod prowadzenia pomiaru.

Natomiast w tabeli 5 przedstawiono odpowiadające im wielkości odchyłeń standardowych.

Jak widać, tylko w przypadku zastosowania metody pomiaru pełnego można uzyskać informację, że na przystankach: „Majakowskiego” i „Deotymy” istnieją powtarzalne problemy z bezpośrednim wjazdem tramwaju na przystanek, o czym mówią średnie czasy oczekiwania, powyżej „0”. Zarazem wielkości odchyłeń standardowych sugerują, że na pozostałych przystankach – są to sytuacje rzadkie. Z kolei na przystankach „Majakowskiego”, „Deotymy” i „Koło” występują stosunkowo długie czasy oczekiwania na możliwość odjazdu (powyżej 10 sekund), szczególnie dokuczliwe (bo bardzo losowe) na przystanku „Majakowskiego” – gdzie odchylenie standardowe wynosi aż 45 sekund.

Porównując czasy realizacji modułu: „odcinek – przystanek” w pomiarze tradycyjnym i tradycyjnym o zwiększonej dokładności, można także zauważyć różnice pomiędzy cza-

Tabela 3

| Przykładowe wyniki uzyskiwane podczas jednego przejazdu, przy zastosowaniu różnych metod prowadzenia pomiaru | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|----|--------------------------------------|----|----|-------------------------------------|----|----|------------------------------------|----|----|---------------------------------------|----|----|----------------------------|----|----|----------------------------|----|----|----------------|----|----|
| Przystanek | Rodzaj pomiaru | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tradycyjny | | Tradycyjny o zwiększonej dokładności | | | Rozszerzony | | | | | | Pełny | | | | | | | | | | | |
| | Moment odjazdu | | Moment odjazdu | | | Moment rozpoczęcia otwierania drzwi | | | Moment rozpoczęcia zamykania drzwi | | | Moment zatrzymania przed przystankiem | | | Moment rozpoczęcia wymiany | | | Moment zakończenia wymiany | | | Moment odjazdu | | |
| | g | m | g | m | s | g | m | s | g | m | s | g | m | s | g | m | s | g | m | s | g | m | s |
| DŁUGOSZA | 16 | 51 | 16 | 50 | 45 | - | - | - | 16 | 50 | 45 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 16 | 50 | 45 |
| Młynów | 16 | 52 | 16 | 52 | 3 | 16 | 51 | 50 | 16 | 51 | 63 | 16 | 51 | 50 | 16 | 51 | 50 | 16 | 51 | 57 | 16 | 52 | 3 |
| Wawrzyszewska | 16 | 53 | 16 | 52 | 49 | 16 | 52 | 36 | 16 | 52 | 48 | 16 | 52 | 36 | 16 | 52 | 36 | 16 | 52 | 42 | 16 | 52 | 49 |
| Majakowskiego | 16 | 54 | 16 | 54 | 15 | 16 | 54 | 0 | 16 | 54 | 16 | 16 | 54 | 0 | 16 | 54 | 0 | 16 | 54 | 10 | 16 | 54 | 15 |
| Magistracka | 16 | 55 | 16 | 55 | 1 | 16 | 54 | 43 | 16 | 54 | 56 | 16 | 54 | 43 | 16 | 54 | 43 | 16 | 54 | 50 | 16 | 55 | 1 |
| Deotymy | 16 | 57 | 16 | 56 | 52 | 16 | 56 | 29 | 16 | 56 | 45 | 16 | 56 | 29 | 16 | 56 | 29 | 16 | 56 | 39 | 16 | 56 | 52 |
| Dalibora | 16 | 58 | 16 | 57 | 51 | 16 | 57 | 28 | 16 | 57 | 40 | 16 | 57 | 28 | 16 | 57 | 28 | 16 | 57 | 34 | 16 | 57 | 51 |
| KOŁO | 16 | 59 | 16 | 58 | 58 | 16 | 58 | 40 | 16 | 59 | 0 | 16 | 58 | 40 | 16 | 58 | 40 | 16 | 58 | 54 | 16 | 58 | 58 |

Tabela 4

| Średnie czasy trwania poszczególnych procesów ruchu na analizowanym odcinku trasy | | | | | | | | |
|---|------------------------|--------------------------------------|---------------------|----------------|--|------------------------|---------------------------------------|---|
| Przystanek | Rodzaj pomiaru | | | | | | | |
| | Tradycyjny | Tradycyjny o zwiększonej dokładności | Rozszerzony | | Pełny | | | |
| | Czas realizacji modułu | Czas realizacji modułu | Czas otwarcia drzwi | Czas przejazdu | Czas oczekiwania na możliwość wjazdu na przystanek | Czas wymiany pasażerów | Czas oczekiwania na możliwość odjazdu | Czas przejazdu odcinka międzyprzystankowego |
| | [sek] | [sek] | [sek] | [sek] | [sek] | [sek] | [sek] | [sek] |
| DŁUGOSZA | 0 | 0 | - | 0 | - | - | - | 0 |
| Młynów | 77 | 78 | 16 | 61 | 0 | 10 | 7 | 60 |
| Wawrzyszewska | 50 | 51 | 14 | 37 | 0 | 8 | 7 | 36 |
| Majakowskiego | 103 | 105 | 16 | 82 | 10 | 10 | 14 | 71 |
| Magistracka | 47 | 46 | 15 | 36 | 0 | 9 | 8 | 28 |
| Deotymy | 118 | 118 | 19 | 89 | 20 | 13 | 19 | 66 |
| Dalibora | 50 | 54 | 12 | 51 | 0 | 6 | 10 | 37 |
| KOŁO | 67 | 65 | 16 | 39 | 0 | 10 | 19 | 35 |

Tabela 5

| Odchylenia standardowe czasów trwania poszczególnych procesów ruchu na analizowanym odcinku trasy | | | | | | | | |
|---|------------------------|--------------------------------------|---------------------|----------------|--|------------------------|---------------------------------------|---|
| Przystanek | Rodzaj pomiaru | | | | | | | |
| | Tradycyjny | Tradycyjny o zwiększonej dokładności | Rozszerzony | | Pełny | | | |
| | Czas realizacji modułu | Czas realizacji modułu | Czas otwarcia drzwi | Czas przejazdu | Czas oczekiwania na możliwość wjazdu na przystanek | Czas wymiany pasażerów | Czas oczekiwania na możliwość odjazdu | Czas przejazdu odcinka międzyprzystankowego |
| | [sek] | [sek] | [sek] | [sek] | [sek] | [sek] | [sek] | [sek] |
| DŁUGOSZA | 0 | 0 | - | 0 | - | - | - | 0 |
| Młynów | 27 | 13 | 6 | 11 | 2 | 6 | 5 | 11 |
| Wawrzyszewska | 23 | 6 | 4 | 8 | 0 | 4 | 4 | 4 |
| Majakowskiego | 55 | 47 | 5 | 21 | 22 | 5 | 45 | 20 |
| Magistracka | 29 | 7 | 4 | 45 | 0 | 4 | 3 | 6 |
| Deotymy | 34 | 34 | 12 | 34 | 36 | 12 | 10 | 26 |
| Dalibora | 23 | 7 | 4 | 12 | 2 | 4 | 4 | 4 |
| KOŁO | 24 | 17 | 5 | 6 | 0 | 5 | 17 | 4 |

Tabela 6

| Średnie prędkości przejazdu odcinków międzyprzystankowych oraz prędkości komunikacyjne na analizowanym odcinku trasy | | | | | | | | |
|--|------------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Przystanek | Rodzaj pomiaru | | | | | | | |
| | Tradycyjny | | Tradycyjny o zw. dokładności | | Rozszerzony | | Pełny | |
| | Prędkość przejazdu i postoju | Prędkość komunikac. | Prędkość przejazdu i postoju | Prędkość komunikac. | Prędkość przejazdu | Prędkość komunikac. | Prędkość przejazdu | Prędkość komunikac. |
| | [km/h] | [km/h] | [km/h] | [km/h] | [km/h] | [km/h] | [km/h] | [km/h] |
| DŁUGOSZA | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Młynów | 30,3 | 30,3 | 27,6 | 27,6 | 35,6 | 28,0 | 35,8 | 27,6 |
| Wawrzyszewska | 18,8 | 27,0 | 22,6 | 25,4 | 32,0 | 25,7 | 32,2 | 25,4 |
| Majakowskiego | 18,8 | 22,1 | 16,9 | 21,4 | 21,1 | 21,8 | 24,9 | 21,4 |
| Magistracka | 10,0 | 20,4 | 13,6 | 20,0 | 21,7 | 20,2 | 22,6 | 20,0 |
| Deotymy | 13,1 | 17,8 | 12,8 | 17,6 | 18,1 | 18,2 | 24,3 | 17,6 |
| Dalibora | 19,0 | 18,3 | 21,5 | 18,0 | 23,3 | 18,2 | 31,0 | 18,0 |
| KOŁO | 15,1 | 17,8 | 16,0 | 17,6 | 25,4 | 18,1 | 28,1 | 17,6 |

Tabela 7

| Średnie wielkości odchyłek od rozkładu jazdy oraz wyniki obliczeń wskaźnika „Stopień punktualności” na analizowanym odcinku trasy | | | | | | | | |
|---|----------------------------|-------|---------|-----------------------|--------------------------------------|-------|---------|-----------------------|
| Przystanek | Pomiar tradycyjny | | | | Pozostałe analizowane metody pomiaru | | | |
| | Odchyłka od rozkładu jazdy | | | Stopień punktualności | Odchyłka od rozkładu jazdy | | | Stopień punktualności |
| | Min. | Max. | Średnia | | Min. | Max. | Średnia | |
| | [min] | [min] | [min] | [-] | [min] | [min] | [min] | [-] |
| DŁUGOSZA | -4,00 | 1,00 | -1,64 | 0,73 (db) | -3,77 | 0,68 | -1,56 | 0,75 (db) |
| Młynów | -4,00 | 0,00 | -1,92 | 0,68 (dst) | -4,02 | 0,38 | -1,86 | 0,68 (dst) |
| Wawrzyszewska | -4,00 | 1,00 | -1,75 | 0,69 (dst) | -3,85 | 0,65 | -1,70 | 0,72 (db) |
| Majakowskiego | -6,00 | 1,00 | -1,47 | 0,77 (db) | -5,93 | 1,10 | -1,45 | 0,76 (db) |
| Magistracka | -6,00 | 1,00 | -1,25 | 0,81 (db) | -5,73 | 1,15 | -1,22 | 0,79 (db) |
| Deotymy | -6,00 | 1,00 | -1,22 | 0,81 (db) | -5,55 | 1,18 | -1,18 | 0,77 (db) |
| Dalibora | -5,00 | 1,00 | -1,06 | 0,82 (db) | -5,48 | 1,35 | -1,08 | 0,77 (db) |
| KOŁO | -5,00 | 1,00 | -1,17 | 0,79 (db) | -5,28 | 0,72 | -1,16 | 0,79 (db) |

sami uzyskiwanymi z dokładnością do 1 minuty i 1 sekundy. O ile średnie czasy przejazdu różnią się nieznacznie (występują kilkusekundowe różnice), o tyle porównanie odchyleń standardowych wskazuje na nawet kilkukrotnie większy rozrzut czasu przejazdu w pomiarze tradycyjnym. Zawyżone wartości odchyleń standardowych czasu przejazdu w pomiarze z dokładnością do 1 sekundy wynikają z polaryzacji kolejnych wyników czasu przejazdu. Albo wynosi on 1, albo 2 lub 3 minuty, a w kilku przypadkach zdarzały się nawet „zerowe” czasy przejazdu.

W tabeli 6 przedstawiono średnie prędkości przejazdu odcinków międzyprzystankowych oraz prędkości komunikacyjne na analizowanym odcinku. Prędkości komunikacyjne zostały wyznaczone na podstawie skumulowanego czasu przejazdu, zawsze w odniesieniu do przystanku początkowego.

Uśrednione prędkości przejazdu poszczególnych odcinków są zróżnicowane, co wskazuje na zmienność warunków ruchu na poszczególnych odcinkach trasy. Jednak w przypadku dwóch pierwszych metod pomiarowych – trudno wskazać, czy niższe ich wartości rzeczywiście wynikają z trudności przejazdu, czy może jednak ze zbyt długich postojów na przystankach. W związku z tym dużo bardziej przekonujące są wyniki czasu przejazdu, wyznaczone na bazie wyników pomiarów metodami: 3, a zwłaszcza i 4 – gdzie można wyraźnie wyodrębnić odcinki o rzeczywiście najmniej korzystnych warunkach przejazdu. Natomiast odpowiadające sobie prędkości komunikacyjne są zbliżone, co prowadzi do wniosku, że do samej pobieżnej oceny warunków ruchu na analizowanym odcinku wystarcza nawet najprostsza forma pomiaru.

Należy jednak pamiętać, że podobnie jak miało to miejsce w przypadku czasu przejazdu – rozrzut prędkości przejazdu jest tym mniejszy, im bardziej zaawansowana technika pomiaru zostanie zastosowana, co wynika i z większej dokładności, a także z rozwarstwienia czasu i wyodrębnienia „czystego” czasu przejazdu.

Porównanie efektów zastosowania poszczególnych metod pomiaru uzupełniono analizą punktualności kursowania. W tabeli 7 zamieszczono wartości średnich odchylek od rozkładu jazdy oraz wyniki obliczeń wskaźnika „Stopień punktualności” na analizowanym odcinku trasy, wraz z dopasowanymi do nich ocenami „szkolnymi” ([8]). W tym przypadku różnice występują wyłącznie pomiędzy wynikami uzyskanymi metodą pomiaru tradycyjnego a pozostałymi metodami pomiaru.

Tylko na przystanku „Wawrzyszewska” zanotowano różnicę w werbalnej ocenie „Stopnia punktualności” – po zastosowaniu pomiaru z dokładnością do 1 sekundy można zauważyć poprawę z oceny dostatecznej na dobrą. Istnieją jednak dość znaczne różnice pomiędzy bezwzględnymi wartościami wskaźnika (przystanki: „Deotymy”, „Dalibora”), co wynika z uproszczenia rejestrowanych wielkości odchylek do liczb całkowitych. Na trasach dłuższych, szczególnie o bardziej zróżnicowanych elementach infrastruktury, różnice te będą bardziej znaczące.

Podsumowanie

Metoda pomiaru powinna być dostosowana do celu, który za ich pomocą ma być osiągnięty. Do bieżącej analizy jakości komunikacji zbiorowej wystarczające mogą być wyniki pomiarów opartych na rejestracji odjazdów z przystanków. Szczególnie, gdy badania te są prowadzone na skalę masową – na przykład z wykorzystaniem odbiorników GPS w pojazdach. Jednak w celu wiarygodnego określenia faktycznych przyczyn powstawania zakłóceń przejazdu konieczne wydaje się uszczegółowienie pomiarów, poprzez rejestrację dodatkowych momentów zachodzenia zdarzeń, takich jak rozpoczęcie i zakończenie czasu wymiany pasażerów oraz zatrzymanie przed przystankiem, a także dowolnych innych zdarzeń zdefiniowanych przez wykonawcę badań. Wyniki takich szczegółowych, oraz, najlepiej, powtarzalnych pomiarów umożliwiają wskazanie słabych punktów sieci oraz otwierają pole do zastosowania optymalnych środków poprawy jakości w przyszłości. Pomiary tego typu mają zazwyczaj charakter korytarzowy i są prowadzone do uzyskania spodziewanej wielkości próby pomiarowej. Jeśli jednak zakres pozyskiwanych informacji może być tematem dyskusji, to wydaje się, że w obecnych czasach, przy szerokim dostępie do precyzyjnych narzędzi pomiarowych, należy zrezygnować z dokładności do 1 minuty.

Najważniejsze jest jednak, aby pomiary w ogóle prowadzić, bo tylko dobra znajomość bieżącego stanu komunikacji zbiorowej umożliwia wdrażanie działań poprawiających atrakcyjność transportu zbiorowego, a co za tym idzie, wzrost liczby przewożonych pasażerów.

Literatura

1. Starowicz W., *Jakość przewozów w miejskim transporcie zbiorowym*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.
2. *Transport miejski. Ekonomika i organizacja*, red. O. Wyszomirski, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2010.
3. Bryniarska Z., Starowicz W., *Funkcjonowanie systemu statystycznej kontroli jakości usługi transportowej w Krakowie w latach 1997 – 2005*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2006, nr 12.
4. *Pomiary i badania ruchu drogowego*, red. M. Tracz, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1984.
5. Bauer M., *Wpływ infrastruktury ulic na funkcjonowanie komunikacji autobusowej*, Praca doktorska, Politechnika Krakowska, 2008.
6. www.garmin.com
7. Bauer M., Kandler A., Weiss H., *Model of tram line operation*, 17th International Conference on the Applications of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering. Weimar, Germany, 12–14 July 2006.
8. Rudnicki A., *Kryteria i mierniki oceny miejskiej komunikacji zbiorowej*, Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej, Warszawa 1999.
9. www.ztm.waw.pl/mapa/mapa_4.htm (z dn. 3.05.2013r.).
10. *Analiza ruchu dla potrzeb projektu „Dostosowanie infrastruktury tramwajowej w Warszawie do potrzeb związanych z eksploatacją tramwajów niskopodłogowych”*, International Management Services, Kraków 2013.