

JAN ALEKSANDROWICZ

mgr inż., Politechnika Krakowska,
Wydział Inżynierii Lądowej, 31-155
Kraków, ul. Warszawska 24, e-mail:
jaleksandrowicz@pk.edu.pl

WIEŚLAW STAROWICZ

prof. dr hab. inż., Politechnika
Krakowska, Wydział Inżynierii
Lądowej, 31-155 Kraków,
ul. Warszawska 24,
e-mail:wstar@pk.edu.pl

Automatyczne systemy zliczania pasażerów w miejskim transporcie zbiorowym¹

Streszczenie: Artykuł poświęcony jest tematyce automatycznych systemów zliczania pasażerów. Przedstawiono w nim typy wykorzystywanych technologii w procesie detekcji pasażerów pojazdów miejskiego transportu publicznego wsiadających i wysiadających na przystankach. Zaprezentowano zastosowanie dla danych zbieranych w sposób automatyczny. W artykule opisano doświadczenia Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego SA w Krakowie w procesie testowania i wdrażania automatycznych systemów zliczania pasażerów. Na podstawie przeprowadzonych badań w artykule zaproponowano metodykę przeprowadzania pomiarów w pojazdach mających na celu weryfikację pracy systemu. Dodatkowo przedstawiono istotne elementy analizy zebranych danych. Artykuł zakończono planem dalszych badań w zakresie automatycznych systemów zliczania pasażerów oraz podsumowaniem rezultatów dotychczasowych prac.

Słowa kluczowe: automatyczny system zliczania pasażerów, detekcja, dokładność systemów zliczających.

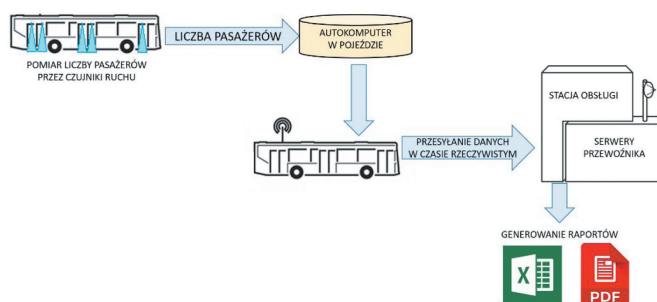
Systemy zliczające pasażerów

Automatyczne systemy zliczania pasażerów (w skrócie: ASZP) są rozwiązaniami stosowanymi w pojazdach transportu publicznego w celu realizacji pomiarów liczby pasażerów wsiadających i wysiadających w sposób ciągły dopiero od kilkunastu lat. Wcześniej zliczanie pasażerów było domeną uczniów i studentów zatrudnianych do fizycznego zliczania wsiadających i wysiadających pasażerów na każdym przystanku [1].

W systemach automatycznych stosowane są różnego rodzaju czujniki i detektory ruchu. Lokalizacja tego typu urządzeń uzależniona jest od technologii wykorzystywanej do wykrywania ruchu – od czujników naciskowych, zlokalizowanych w stopniach pojazdów wysokopodłogowych, po bramki na podczerwień umieszczone bezpośrednio nad otworem drzwiowym. Dane zbierane przez detektory są automatycznie przesyłane do autokomputera w pojeździe. Następnie, w zależności od stopnia zaawansowania systemu, dane mogą być pozyskiwane bezpośrednio z pojazdu, przesyłane na serwery po zjeździe pojazdu do zajezdni lub przesyłane w czasie rzeczywistym na serwery przewoźnika podczas wykonywania kursów.

Ważnym elementem każdego automatycznego systemu zliczania pasażerów jest sposób reprezentowania zebranych danych. Obecnie standardem jest oprogramowanie dla przewoźnika w formie aplikacji umożliwiającej pobranie danych. Bardziej rozbudowane aplikacje umożliwiają

także obróbkę danych, obliczenie podstawowych i bardziej zaawansowanych statystyk, a także uzależnienie danych od mapy poprzez zapis lokalizacji GPS dla każdego przystanku. Wśród formatów plików generowanych przez tego typu aplikacje dominują formaty pdf (tabele tekstowe bez możliwości edycji) oraz arkusze kalkulacyjne (csv oraz xls). Z naukowego punktu widzenia, w celu dalszego przetwarzania danych, formaty arkuszy kalkulacyjnych są lepszym rozwiązaniem. Na rysunku 1 przedstawiono przepływ danych w automatycznych systemach zliczania pasażerów.



Rys. 1. Przepływ danych w automatycznym systemie zliczania pasażerów

Źródło: opracowanie własne

Dostępne na rynku automatyczne systemy zliczające pasażerów

W pojazdach miejskiego transportu publicznego wykorzystuje się trzy podstawowe technologie wykrywania ruchu w otworze drzwiowym pojazdu oparte o:

- czujniki laserowe,
- czujniki na podczerwień,
- czujniki wideo.

Zasada działania pierwszego z wymienionych rodzajów czujników opiera się na emisji wiązek laserowych. Czujnik, poprzez obliczenie czasu od emisji do odbicia wiązki, jest w stanie określić, czy w strefie zliczania znajduje się pasażer, czy się porusza, a jeśli tak to, w którą stronę (czy wsiada, czy wysiada). W ten sposób działają m.in. czujniki typu IRMA 6 (zaprezentowanego na rys. 2).



Rys. 2. Przykład czujnika laserowego (IRMA 6)

Źródło: https://www.iris-sensing.com/fileadmin/_processed_/3/3/csm_Einbau_comp_01_1_76423710b0.jpg

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2020. Procentowy udział wkładu autorów w publikację: J. Aleksandrowicz 60%, W. Starowicz 40%.

Czujniki na podczerwień wykorzystują niewidzialne promieniowanie podczerwone. Czujniki tego typu są w stanie zliczać osoby poruszające się pod nimi, określając – poza informacją o ruchu – także kierunek ruchu. Wśród systemów wykorzystujących podczerwień w czujnikach zliczających warto wymienić: DILAX i PIXEL. Na fotografii 1 zaprezentowano przykład bramki detekcyjnej na podczerwień zlokalizowanych nad drzwiami wejściowymi w autobusie. Przedstawiona na fotografii 1 bramka zliczająca składa się z 3 czujników na podczerwień rozmieszczonych w równej odległości do siebie. Listwa z czujnika zlokalizowana jest bezpośrednio za mechanizmem drzwiowym wewnątrz pojazdu. W pojazdach wyposażonych w drzwi odskokowo przesuwne, listwa z czujnikami zlokalizowana jest za obudową mechanizmu drzwiowego, przez co jest mniej narażona na ewentualne uszkodzenia lub dewastację. W przypadku drzwi jednoskrzydłowych listwa z detektorami wyposażona jest w tylko jeden czujnik.



Fot. 1. Przykład bramki detekcyjnej na podczerwień
Fot. J. Aleksandrowicz

Ostatnim typem detektorów wykorzystywanych w nowoczesnych systemach zliczających są czujniki wideo wykorzystujące obraz z kamer. Tego typu kamery są najczęściej montowane nad otworem drzwiowym, ale zdarzają się także systemy, w których kamery lokalizuje się wewnątrz pojazdu na ścianie naprzeciw drzwi oraz na zewnątrz pojazdu. Analizując dostępne technologie, można odnaleźć rozwiązania wykorzystujące obraz z kamer monitorujących wnętrze pojazdu (system nie potrzebuje dodatkowych kamer nad drzwiami pojazdu) [6]. Zasada działania czujników wideo polega na odpowiednim przekształceniu obrazu – sprowadzeniu go do macierzy z wartościami kolorów w poszczególnych pikselach. Dla uproszczenia obraz może być przedstawiany w skali szarości [4, 5, 9]. Dodatkowo warto zwrócić uwagę, że rozwój sztucznej inteligencji umożliwia rozpoznanie kierunku ruchu w otworze drzwiowym, a nawet sylwetki poszczególnych pasażerów na podstawie obrazu wideo. Tego typu dane dają możliwość zbierania dokładnych informacji o faktycznej liczbie wejść i wyjść (zwłaszcza w przypadku sytuacji, gdy w pojeździe jest duża liczba pasażerów i niektórzy z nich na przystanku muszą opuścić pojazd, aby przepuścić innych pasażerów). Wśród automatycznych systemów zliczania pasażerów wykorzystujących obraz wideo warto wymienić: SODIMAX



Fot. 2. Wideodetektor ASZP w tramwaju
Fot. J. Aleksandrowicz

i Infotron. Przykład wideodetektora ruchu, zamontowanego nad drzwiami wejściowymi do tramwaju, został zaprezentowany na fotografii 2.

Poza systemami wykorzystującymi trzy wymienione typy czujników można spotkać także rozwiązania wykorzystujące maty naciskowe na podłodze przy wejściu do pojazdu [10], wagi mierzące wagę pojazdu, na podstawie której obliczana jest liczba pasażerów [10], oraz czujniki nacisku zlokalizowane wewnątrz foteli pasażerskich [7].

Doświadczenia z systemami automatycznie zliczającymi pasażerów w MPK Kraków

Jednym z pierwszych polskich miast, które zdecydowały się na testy i montaż w pojazdach automatycznych systemów zliczania pasażerów, był Kraków. Już w pierwszej dekadzie XXI wieku rozpoczęto testy nowoczesnych systemów zliczania pasażerów. Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA w Krakowie zdecydowało się w kilku pojazdach zamontować bramki zliczające na podczerwień. Testowane były różne systemy m.in. w pojazdach typu Bombardier NGT6 oraz Jelcz 181MB/3 Tantus.

Wyniki prowadzonych testów pozwoliły wyciągnąć wnioski dotyczące wyboru technologii czujników, sposobu gromadzenia i analizy danych. Krakowski przewoźnik dzięki zgromadzonej wiedzy i doświadczeniom rozpoczął zakupy pojazdów wyposażonych w systemy zliczające. W przypadku autobusów przewoźnik regularnie nabywa autobusy wyposażone w systemy zliczające, obecnie największy udział tego typu pojazdów stanowią autobus marki Solaris (Urbino 12 IV generacji, Urbino 18 IV generacji i Urbino 18 Hybrid III generacji). Dzięki zrealizowanym dostawom, przewoźnik dysponuje odpowiednią liczbą pojazdów wyposażonych w ASZP, która umożliwi pomiar na wszystkich liniach autobusowych. Pomiary wykonywane są w sposób ciągły przez cały rok, a pojazdy wyposażone w ASZP rotują pomiędzy różnymi liniami autobusowymi.

W przypadku tramwajów, od czasu pierwszych testów aż do roku 2020 jedynym pojazdem umożliwiającym realizację pomiarów w sposób automatyczny był wymieniony Bombardier NGT6. W roku 2020 firma Stadler rozpoczęła dostawę 50 tramwajów Lajkonik NGT8, które zostały wyposażone w system automatycznie zliczający pasażerów. Dostawa wszystkich tramwajów typu Stadler Lajkonik NGT8 umożliwi realizowanie pomiarów w sposób ciągły i automatyczny na wszystkich liniach tramwajowych, tak jak

ma to już miejsce w przypadku sieci autobusowej. Dane pozyskiwane w ten sposób są obecnie wykorzystywane w dwóch głównych celach:

- w doraźnych pomiarach liczby pasażerów na wybranych liniach na wniosek organizatora transportu (Zarządu Transportu Publicznego);
- w badaniach naukowych, realizowanych przez jednostki badawcze m.in. przez Politechnikę Krakowską.

Główny system (DILAX), wykorzystywany w pojazdach krakowskiego przewoźnika, wykorzystuje bramki na podczerwień. Dane zgrywane są w sposób automatyczny w momencie zjazdu pojazdu do zajezdni. Oprogramowanie wykorzystuje aplikację umożliwiającą generowanie raportów w formie xlsx oraz realizowanie analizy statystycznej zebranych danych z wybranego, dowolnego przedziału czasu. Warto zwrócić uwagę, że system zapewnia możliwość generowania zarówno raportów po analizie statystycznej, jak i danych surowych z systemu. Dodatkowo system gromadzi informacje na temat lokalizacji GPS przystanków, dzięki czemu możliwe jest wykorzystanie w ten sposób zbieranych danych do tworzenia analiz geolokalizacyjnych oraz innych opracowań w formie graficznej z wykorzystaniem map.

Zastosowanie zbieranych danych o liczbie pasażerów w pojeździe

Dane zbierane są w sposób automatyczny, a co z tego wynika w sposób ciągły, dzięki czemu mają szerokie zastosowanie. Do najważniejszych należy zaliczyć:

- ocena jakości systemu transportu publicznego,
- aktualizowanie i optymalizowanie marszrut linii transportu publicznego,
- zmiana rozkładów jazdy,
- prognozowanie popytu w transporcie publicznym,
- informację pasażerską,
- zmianę dopasowania przydziału środków transportu do linii transportu publicznego.

Dane zbierane w sposób ciągły są lepsze pod względem oceny jakości systemu, w odróżnieniu od pomiarów klasycznych, ponieważ umożliwiają uwzględnienie większej liczby czynników, m.in. takich jak: wpływ dnia tygodnia, wpływ zakłóceń w ruchu, wpływ zdarzeń losowych i wydarzeń masowych. Dodatkowo, znając dokładny czas i miejsce każdego pomiaru, można zestawiać je z danymi z innych systemów, dzięki czemu możliwe jest tworzenie analiz zależności liczby pasażerów od m.in.:

- pogody,
- temperatury,
- zanieczyszczenia powietrza,
- natężenia ruchu drogowego.

Dane na temat liczby pasażerów, w przedziale czasu dłuższym niż jeden dzień roboczy oraz jedna sobota i niedziela, dają podstawy do oceny realizowanych tras w transporcie publicznym. Dane są niezwykle cenne w przypadku wytyczania kursów wariantowych, zmian przebiegu trasy,

a także zmian częstotliwości kursowania, poprzez możliwość uzyskania informacji na temat zmian w popycie nie tylko w trakcie dnia, ale całego tygodnia lub miesiąca. W ten sposób możliwe jest także dostosowywanie rozkładów jazdy do zaobserwowanego zapotrzebowania na przewozy pasażerskie.

Systemy liczące pasażerów w sposób automatyczny umożliwiają również wykorzystanie danych do tworzenia prognoz liczby pasażerów na kolejnych kursach. Koncepcję i jedną z metod realizacji tego typu prognozy przedstawiono w pracach [2, 8]. Tworzenie prognoz popytu jest możliwe dzięki wielkości możliwych do uzyskania zbiorów danych. Do tej pory trudnością związaną z prognozowaniem liczby pasażerów na liniach miejskiego transportu publicznego były dane ze zbyt krótkiego przedziału czasu lub zbyt wysokie koszty wykonania pomiarów w sposób klasyczny. W przypadku wykorzystania systemów automatycznego zliczania pasażerów tego typu trudności nie występują. Dane przedstawiane w czasie rzeczywistym lub w formie prognozy mają także zastosowanie w systemach informacji pasażerskiej. Sposobom przekazywania danych rzeczywistych pasażerom w formie informacji o aktualnym napełnieniu pojazdu poświęcono pracę [3].

Ostatnim ważnym zagadnieniem, w którym dane z systemów automatycznych są bardzo przydatne, jest przydział taboru do linii. Obecnie przydział realizowany jest na podstawie historycznych danych o liczbie pasażerów wykonywanych w sposób klasyczny lub w przypadku wniosków pasażerów na podstawie doraźnych pomiarów mających na celu ich zweryfikowanie. Systemy automatyczne umożliwiają lepsze dopasowanie taboru do potrzeb przewoźowych, co może też wpłynąć na koszty obsługi systemu. Przykładowo – wykrycie linii, na których pojemny tabor jest potrzebny tylko w dwa dni w tygodniu, przyniesie oszczędności przewoźnikowi, a w przypadku uzależnienia stawki za 1 wozokm od klasy pojazdu także organizatorowi transportu publicznego.

Weryfikacja zbieranych danych o liczbie pasażerów w sposób automatyczny

Automatyczne systemy zliczania pasażerów umożliwiają przeprowadzanie procesu kontroli i nadzoru nad miejskim transportem publicznym z dokładnością, jakiej przy pomiarach klasycznych nie dałoby się osiągnąć. Systemy te zapewniają możliwość pozyskiwania danych przez cały czas kursowania pojazdów ze wszystkich linii i kursów. Dzięki temu możliwe jest określanie charakterystyk poszczególnych linii nie tylko w oparciu o pojedyncze okresowe pomiary, ale w sposób ciągły. Uzyskane w ten sposób dane dają możliwość określania między innymi następujących zależności:

- liczby pasażerów od pory dnia,
- liczby pasażerów od dnia tygodnia,
- liczby pasażerów od pogody,
- wielkości potoków międzyprzystankowych od parametrów ruchu drogowego,
- wielkości potoków pasażerskich na trasach objazdowych podczas remontu.

Trudnością, jaka występuje w przypadku stosowania systemów automatycznych w procesie zbierania danych na temat stanu miejskiego transportu publicznego, jest dokładność zbieranych danych. Każdy system w specyfikacji technicznej podawanej przez producentów ma dokładność rzędu 90–99% [9]. Wartości te są możliwe do uzyskania wyłącznie w warunkach laboratoryjnych, w warunkach rzeczywistych dokładność spada do 50–60%, co zostało szerzej opisane w pracach [2, 3]. Odpowiednie przeprowadzenie badań weryfikujących umożliwia zarówno obliczenie dokładności zebranych danych, jak i określenie błędów występujących w systemie. Aby uzyskać tego typu informację, należy w odpowiedni sposób przygotować badania weryfikujące.

Badania weryfikujące dokładność zbieranych danych przez automatyczny system zliczania pasażerów należy rozpocząć od wybrania metody prowadzenia pomiarów porównawczych. Pierwszą, najbardziej kosztowną metodą są pomiary klasyczne w pojazdach lub na przystankach miejskiego transportu publicznego. W przypadku pomiarów prowadzonych wewnątrz pojazdów zaleca się, aby na każde drzwi przypadał jeden obserwator – gdy wszystkie drzwi pojazdu przeznaczone są zarówno do wsiadania, jak i wysiadania. Dla przypadku, w którym tylko pierwsze drzwi służą do wsiadania, a pozostałe do wysiadania, można skierować do obserwacji:

- jednego obserwatora dla autobusu wyposażonego w jedno drzwi do wsiadania i jedno do wysiadania,
- dwóch obserwatorów dla autobusu standardowego – jedno drzwi do wsiadania i dwoje do wysiadania,
- trzech obserwatorów dla autobusu przegubowego.

Drugą metodą jest pomiar wykonany kamerami zamontowanymi w pojazdach w taki sposób, aby widoczny był każdy otwór drzwiowy. Tego typu możliwość zapewnia już coraz więcej producentów systemów automatycznych, poprzez zamontowanie dodatkowej kamery w czujniku, lub w przypadku systemów opierających się na wideodetekcji, nieprzetworzony obraz z kamery. Zaletą pomiarów realizowanych przez rejestrację obrazu jest film, który można zawsze odtworzyć i uzyskać dodatkowe dane (jak warunki pogodowe, czasy zatrzymań, sytuacje nietypowe).

Drugim etapem przygotowania badań weryfikujących dokładność ASZP jest przygotowanie planu pomiarów w oparciu o marszrutę miejskiego transportu publicznego. W celu uzyskania reprezentatywnych wyników proponuje się wybór linii o następujących parametrach zaprezentowanych w tabeli 1.

Ostatni etap opracowania pomiarów weryfikacyjnych to przygotowanie przewoźnika, w którego pojazdach będą realizowane badania. W tym celu należy ustalić odpowiednią liczbę pojazdów rezerwowych wyposażonych w ten sam automatyczny system zliczania pasażerów, aby uniknąć sytuacji, w której na linii podczas pomiarów jeżdżą pojazdy bez systemu lub wyposażone w inny system. Następnie należy przeszkolić prowadzących pojazdy, którzy będą wykonywali kursy na wybranej linii. Podczas pomiarów istotne jest, aby

Tabela 1

Proponowana charakterystyka linii do pomiarów weryfikacji dokładności ASZP	
Parametr	Opis parametru wzorcowego
Długość linii	Od 8 do 12 km długości
Przebieg linii	Linia dowożąca pasażerów do centrum, należy unikać linii magistralnych
Interwał przystanków	Średnio dwa przystanki na 1 kilometr trasy
Częstotliwość kursowania	Ta sama częstotliwość przez cały dzień.
Potoki międzyprzystankowe	Potoki zróżnicowane, odcinki o: – napelnieniu poniżej 15% pojemności pojazdu, – napelnieniu z przedziału 15–70% pojemności pojazdu, – napelnieniu powyżej 70% pojemności pojazdu.
Tabor	W przypadku pojazdów z ASZP o różnej pojemności – należy wybierać linie obsługiwane jednolitą klasą pojazdów np. wyłącznie autobusami przegubowymi.
Trasy wariantowe	Należy wybierać linie, które nie mają tras wariantowych lub tras skróconych do konkretnego przystanku.

na przystanku prowadzący odblokowywali drzwi do otwarcia tylko raz oraz unikali sytuacji dwukrotnego zatrzymania na tym samym przystanku (dotyczy przystanków o długości peronu umożliwiającej realizację wymiany pasażerskiej więcej niż jednego pojazdu w tym samym czasie).

Przed przystąpieniem do badań (zwłaszcza w przypadku prowadzenia pomiarów w sposób klasyczny) proponuje się wykonanie systemem automatycznym pomiarów testowych w okresie całego dnia, w celu sprawdzenia, czy dane zbierane są w sposób poprawny, w szczególności czy:

- nie występują przystanki, na których system nie przeprowadził pomiarów;
- wszystkie zatrzymania na przystankach zostały zapisane w poprawny sposób (najczęściej lokalizacja zatrzymania jest pozyskiwana z systemu GPS);
- wszystkie pojazdy kursowały bez awarii.

Jeżeli pomiary testowe nie wykażą żadnych nieprawidłowości, można przystąpić do realizacji pomiarów właściwych. Przygotowane i zrealizowane w ten sposób pomiary umożliwiają wykorzystanie zebranych danych w procesie analizy statystycznej, mającej na celu określenie poziomu dokładności danych zbieranych przez system automatyczny.

Analiza porównawcza zebranych danych

Podczas analizy zebranych danych należy zwrócić uwagę na następujące wyniki:

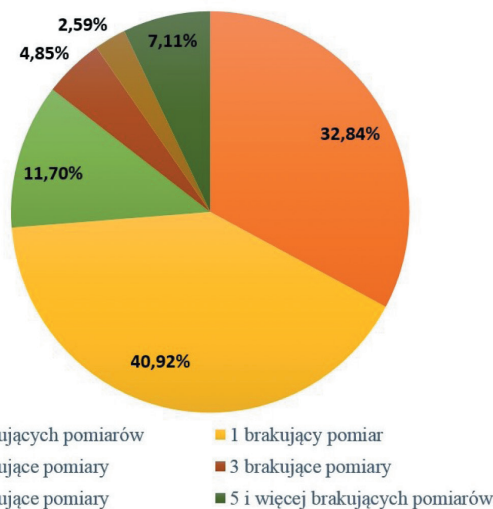
- liczbę przypadków, w których mimo zatrzymania na przystanku system automatyczny nie wykonał pomiaru;
- liczbę przypadków, w których liczba wejść lub wyjść z pojazdu pomierzonych przez system automatyczny była niezgodna z pomiarem weryfikującym;
- liczbę przypadków, w których wielkości potoków międzyprzystankowych były inne z pomiarów automatycznych niż z pomiarów weryfikujących.

W pierwszym przypadku, jeżeli błąd był pojedynczy, możliwe jest uzyskanie brakujących danych na podstawie bilansu liczby pasażerów wsiadających i wysiadających.

W przypadku, gdy błąd dotyczy kilku kolejnych przystanków, należy dokładnie przeanalizować dane dla pierwszego przystanku, dla którego został wygenerowany wynik. Zdarza się, że system zbiera dane na temat wejść do i wyjść z pojazdu, jednak zamiast je wyświetlać, sumuje je i podaje dla jednego z kolejnych przystanków. W przypadku braku danych przydatne okazują się porównania liczby pasażerów wsiadających i wysiadających z pojazdu; gdy nie są one sobie równe, można wnioskować, że na przystankach, na których system nie wykonał pomiaru w rzeczywistości, wymiana pasażerska miała miejsce. Tego typu analizę można przeprowadzić wyłącznie dla danych surowych przed obróbką w aplikacji obsługującej system. Obserwując działanie tego typu aplikacji, zauważono, że braki zastępowane są zerami, a na ostatnich przystankach liczba pasażerów jest bilansowana, przez co suma wejść i wyjść zawsze się zgadza.

Na potrzeby niniejszego artykułu wykorzystano dane z badań prowadzonych pod koniec roku 2017 (opisanych szerzej w pracy [2]), na przełomie 2018/2019 (opisanych w pracach [3 i 8]) oraz najnowszych wyników pomiarów zrealizowanych na początku 2020.

Na podstawie analizy zebranych danych podczas pierwszych badań prowadzonych pod koniec roku 2017 [2] można stwierdzić, że w 33% przypadków automatyczny system zliczania pasażerów nie wykonał pomiaru. Zarówno dla autobusów standardowych, jak i przegubowych, najwięcej kursów z brakującymi pomiarami znalazło się w grupie kursów o liczbie braków 3 lub więcej. Drugie badania zrealizowane pod koniec roku 2018 (opisane szerzej w [3]) wykazały, że liczba brakujących pomiarów z systemu automatycznego to około 9% wszystkich wykonanych pomiarów. Pomiary liczby brakujących danych przeprowadzono w Krakowie ponownie na przełomie 2018 i 2019 roku. Tym razem obejmowały dwudziestokrotnie większą próbę, odbywały się przez 14 kolejnych dni. Na ich podstawie wykazano, że na 29 343 obserwacji 2315 razy system nie odnotował żadnej wartości liczby wejść i wyjść z pojazdu. Stanowi to 7,89% wszystkich zebranych danych. Na ry-



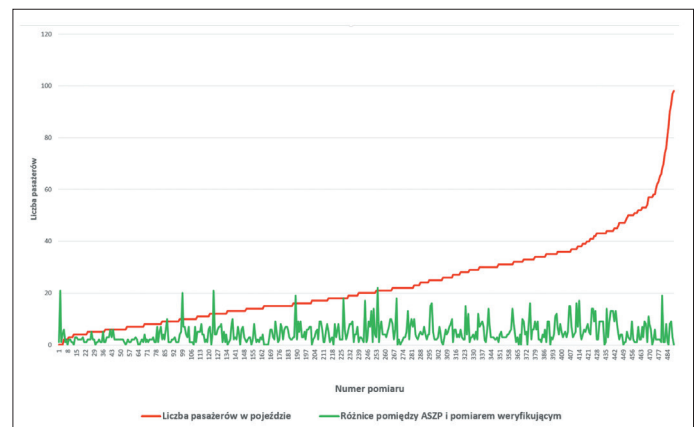
Rys. 5. Podział kursów pod względem liczby brakujących pomiarów w systemie automatycznego zliczania pasażerów

Źródło: opracowanie własne

sunku 5 przedstawiono wykres prezentujący udział procentowy kursów z określoną liczbą brakujących pomiarów. Zdecydowaną większość (ponad 72%) stanowią kursy, w których nie odnotowano brakujących pomiarów lub brakowało 1 pomiaru. Kursy z liczbą braków większą lub równą 2 stanowiły nieco ponad 25% wszystkich.

Na początku roku 2020 zdecydowano się ponownie dokonać analizy danych gromadzonych przez system automatyczny dla wybranych kursów na liniach autobusowych. Łącznie przeanalizowano ponad 11 500 pomiarów z ponad 500 kursów na 28 liniach autobusowych. Brakujące wyniki stanowiły jedynie 1,6%, na podstawie czego można stwierdzić, że prowadzący częściej niż w przypadku wcześniejszych pomiarów stosowali się do wytycznych, a system podczas pomiarów nie odnotował większych awarii. Łącznie odnotowano tylko 3 kursy, dla których system nie odnotował żadnych pomiarów. Kursów, dla których brakowało minimum jednego pomiaru, było 53, co stanowi około 10% wszystkich przebadanych kursów. Odnosząc się do pomiarów wykonywanych w latach 2017–2019 [2, 3, 8], zauważyć można, że udział liczby kursów z brakującymi danymi istotnie się zmniejszył.

W przypadku analizy porównawczej liczby wejść i wyjść oraz wielkości potoków międzyprzystankowych istotny jest wybór danych, na podstawie których określana będzie dokładność systemu automatycznego. Nawet wysoka zgodność danych z systemem z danymi rzeczywistymi w przypadku wejść i wyjść nie gwarantuje wysokiej zgodności danych na temat potoków międzyprzystankowych. W przypadku pomiarów prowadzonych pod koniec roku 2018 [3] uzyskano zgodność wejść i wyjść na poziomie 60%, natomiast zgodność danych na temat wielkości potoków międzyprzystankowych wyniosła zaledwie 6%. Analiza danych wykazała, że było to spowodowane istotnym zawyżeniem lub заниżeniem liczby pasażerów wsiadających na początkowych przystankach w poszczególnych kursach, co powodowało niezgodność na całej długości trasy. Warto zwrócić uwagę na to, że w przypadku wykonania pomiarów na dużej liczbie kursów, średnie wielkości potoków międzyprzystankowych dla pomiarów automatycznych i klasycznych były do siebie podobne (różnice pomiędzy pomiarami na poziomie jednego pasażera) [3].

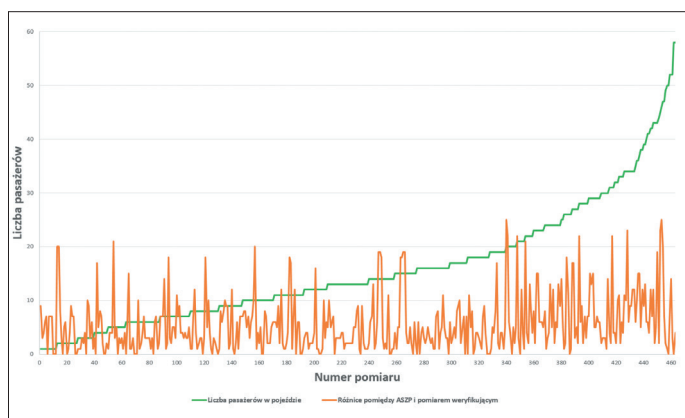


Rys. 6. Wykres zależności różnic w zbieranych danych podczas każdego wykonanego pomiaru weryfikującego pracę systemu automatycznego od liczby osób w pojeździe

Źródło: opracowanie własne

Warto także zwrócić uwagę na fakt, że analiza danych zbieranych podczas każdego wykonanego pomiaru weryfikującego pracę systemu automatycznego, nie wykazała zależności pomiędzy wzrostem błędu a liczbą osób w pojeździe. Liczba błędów oraz średnia ich wartość, niezależnie od napełnienia pojazdu, pozostawała na podobnym poziomie. Zjawisko to zaprezentowano na rysunku 6, na którym przedstawiono dane z pomiarów realizowanych w roku 2018.

Ten sam brak zależności potwierdzają pomiary przeprowadzone pod koniec roku 2017 dla autobusów standardowych (wykres zależności został przedstawiony na rys. 7). Warto zwrócić uwagę, że w większości przypadków (dla pomiarów porównawczych w roku 2017 i 2018) różnica pomiędzy liczbą pasażerów obliczoną na podstawie pomiarów klasycznych i pomiarów przeprowadzonych przez automatyczny system zliczania pasażerów mieściła się w przedziale od 0 do 20. Dla pomiarów w roku 2018 średnia różnica obliczonego napełnienia na podstawie danych z obu typów pomiarów wyniosła 4,5 z odchyleniem standardowym 4,0, a w roku 2017 średnia różnica wyniosła 5,5 z odchyleniem standardowym 5,3.



Rys. 7. Wykres zależności różnic w zbieranych danych od liczby osób w pojeździe – pomiary w roku 2017.

Źródło: opracowanie własne

Plan dalszych badań

Dynamiczny rozwój automatycznych systemów zliczania pasażerów oraz ciągle doskonalone technologie pomiarów wymuszają kontynuację prac związanych z procesem oceny stosowanych rozwiązań. Dalsze prace badawcze związane będą z weryfikacją zbieranych danych w systemach zamontowanych w innych środkach transportu publicznego niż autobusy. Dodatkowo wykonane zostaną prace związane z autorską metodą wykorzystania danych zbieranych w czasie rzeczywistym w procesie optymalizacji przydziału taboru, prognozowania liczby pasażerów oraz systemach informacji pasażerskiej.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone analizy [2, 3, 8] w ramach badań danych z systemu automatycznie zliczającego pasażerów wykazały, że uzyskanie 100% zgodności danych jest bardzo mało

prawdopodobne. Warto jednak zwrócić uwagę, że z punktu widzenia wykorzystania danych obecnie osiągnięta zgodność wydaje się być na wystarczającym poziomie. Na podstawie wykonanych prac można stwierdzić – mimo iż systemy automatyczne nie uzyskują 100% zgodności, to uzyskiwane statystyki są bardzo zbliżone do otrzymywanych w sposób klasyczny. Dodatkowo warto podkreślić, że systemy automatyczne działające w sposób ciągły umożliwiają pozyskanie bardzo cennych danych z punktu widzenia procesu zarządzania podsystemem miejskiego transportu zbiorowego.

Zgodność danych można podnieść poprzez odpowiednie realizowane pomiary. Dodatkowo odpowiednie przygotowanie do badań umożliwia ograniczenie liczby brakujących danych, co zostało wykazane w toku badań realizowanych od 2017 roku. Wykorzystanie danych z ASZP umożliwia lepsze dopasowanie podsystemu (marszrut, rozkładów jazdy, informacji pasażerskiej, przydziału taboru) do aktualnych potrzeb przewozowych oraz przyniesie realne oszczędności dla operatorów i organizatorów miejskiego transportu publicznego.

Literatura

1. Bryniarska Z., Starowicz W., *Wyniki badań systemów publicznego transportu zbiorowego w wybranych miastach*, Wydawnictwo SITK RP, Oddział w Krakowie, Kraków 2010.
2. Aleksandrowicz J., *Przydatność automatycznych systemów zliczania pasażerów w celach predykcji popytu na usługi transportowe*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2018, nr 4.
3. Aleksandrowicz J., *Informowanie pasażerów o wolnych miejscach w pojazdach miejskiego transportu zbiorowego z wykorzystaniem automatycznych systemów zliczania pasażerów*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2019, nr 8.
4. Bięńczak M., Kiciński M., Fierek Sz., *Badania napełnień pojazdów publicznego transportu zbiorowego przy użyciu monitoringu wewnątrzpojazdowego*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, 119/2017.
5. Lengvenis P., Simutis R., Vaitkus V., Maskeliunas R., *Application of Computer vision systems for passenger counting in public transport*, „Elektronika ir Elektrotechnika”, 2013, nr 19.
6. Nasir A.S.A., Gharib N. K. A., Jaafar H., *Automatic Passenger Counting System Using Image Processing Based on Skin Colour Detection Approach*, 2018, International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications (ICASSDA), Kuching 2018.
7. Sojol J., Ferdous N., Sadman S., Motahar T., *Smart Bus: An Automated Passenger Counting System*, International Conference on Inventive Computing Systems and Applications (ICICSA 2018).
8. Więcek P., Kubek D., Aleksandrowicz J., Strózek A., *Framework for onboard bus comfort level predictions using the Markov Chain concept*, „Symmetry”, Vol, 11 Iss.6, 2019.
9. Wyraz E., Lorenc A.K., *Systemy pomiaru napełnienia pojazdów komunikacji miejskiej – przegląd współczesnych rozwiązań*, „Logistyka”, 2015, nr 3.
10. *Automatic passenger counting systems for public transport* (źródło internetowe): <https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/3116/automatic-passenger-counting-systems-for-public-transport> (dostęp 21.04.2020).