

Przydatność automatycznych systemów zliczania pasażerów w celach predykcji popytu na usługi transportowe¹

JAN ALEKSANDROWICZ

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

Streszczenie: Artykuł stanowi podsumowanie prowadzonych pod koniec 2017 roku badań mających na celu zweryfikowanie poprawności zbieranych danych przez automatyczny system zliczania pasażerów, wykorzystywany przez MPK SA w Krakowie. Stanowi on także wstęp do szerszych badań mających na celu opracowanie modeli prognozowania popytu w miejskim transporcie zbiorowym z wykorzystaniem danych z systemu automatycznego. W artykule zaprezentowane zostały efekty analizy porównawczej danych z pomiarów zbieranych klasyczną metodą obserwacji oraz danych z czujników wejść i wyjść do pojazdu, gromadzonych w sposób automatyczny. Dodatkowo przedstawiono wzory na funkcje umożliwiające przeliczenie wyników zebranych w sposób automatyczny na dane rzeczywiste. Analizę podsumowano wykresami regresji liniowej oraz tabelą zgodności wyników pomiarów z automatycznego systemu zliczania pasażerów. W końcowej części artykułu zaprezentowano schemat modelu prognozy popytu na usługi transportowe z zastosowaniem danych z automatycznego systemu zliczania pasażerów. Oceniono przydatność wykorzystywania tego typu danych w celach prognostycznych oraz zaproponowano narzędzia, jakie zostaną zastosowane przy tworzeniu modelu. W pracy przedstawione zostały etapy działań, jakie zostaną podjęte w celu stworzenia modeli prognozy popytu na usługi transportowe. Artykuł zakończono podsumowaniem oraz planem dalszych badań mających na celu rozszerzenie wiedzy na opisywany w referacie temat.

Słowa kluczowe: popyt, predykcja popytu, automatyczny system zliczania pasażerów, prognozowanie.

Wprowadzenie

Dzisiejsze wymagania pasażerów względem transportu publicznego są coraz wyższe [1,4,6]. Sama dostępność do pojazdu z niską podłogą, informacją pasażerską czy klimatyzacją już nie wystarcza. W erze urządzeń mobilnych i aplikacji coraz większą rolę zaczyna odgrywać informacja. Pasażerowie wymagają, aby wszystkie dane na temat transportu publicznego mogli mieć dostępne w swoich urządzeniach mobilnych [8]. Informacja na temat rozkładów jazdy, typów taboru obsługującego linie (pojazdy niskopodłogowe), czy choćby dokładnego planu podróży (przystanki pośrednie, przesiadki pomiędzy liniami), są obecnie traktowane jako funkcje podstawowe aplikacji transportowych. Wraz z wprowadzaniem nowszego typu taboru dostęp do informacji na temat jego aktualnej lokalizacji, liczby pasażerów przebywających w pojazdach czy punktualności przejazdu staje się coraz łatwiejszy. Każdy nowo kupowany pojazd w dużych przedsiębiorstwach transportowych (obsługujących duże miasta lub aglomeracje miejskie) wyposażony jest standardowo w urządzenie lokalizacyjne GPS, autokomputer oraz systemy łączności z dyspozytornią.

Urządzenia lokalizacyjne GPS umożliwiają dyspozytorom ciągłe śledzenie pojazdu w sieci w czasie rzeczywistym. Dzięki temu możliwe jest tworzenie baz danych związanych z czasami przejazdu poszczególnymi odcinkami sieci transportowej oraz szybkie reagowanie w przypadku sytuacji nietypowych. Autokomputery w pojazdach transportu zbiorowego mają szerokie zastosowanie. Umożliwiają zarządzanie systemem informacji pasażerskiej w pojeździe, monitorują jazdę pojazdu oraz dają możliwość współpracy z innymi zewnętrznymi systemami (takimi jak: systemy sterowania ruchem ulicznym czy monitoringu miejskiego) [3]. Systemy łączności z dyspozytornią są obecnie niezbędne w dużych sieciach transportu publicznego. Umożliwiają utrzymywanie ciągłego kontaktu pomiędzy dyspozytornią i pojazdem, reagowanie na sytuacje nietypowe oraz zapewniają szybką wymianę informacji w różnej formie.

Do podstawowych systemów, jakie można spotkać w pojazdach miejskiego transportu publicznego, coraz częściej dołączają automatyczne systemy zliczania pasażerów (ASZP). Rozwiązania tego typu dostępne są już powszechnie u wielu producentów, a ich montaż jest możliwy na etapie produkcji pojazdu. W literaturze można znaleźć informacje na temat dokładności tego typu systemów, szacowaną na 95–98% [8]. Jednym z celów niniejszego referatu jest zweryfikowanie przytaczanej w literaturze dokładności na podstawie badań jednego z systemów automatycznych [10].

Era urządzeń mobilnych oraz wzrastające wymagania pasażerów względem transportu publicznego wpływają pozytywnie na rozwój nowoczesnych technologii. Dzięki temu stosowane rozwiązania techniczne i informatyczne są coraz dokładniejsze, a przydatność zbieranych przez nie danych wzrasta. Wpływa to także na rozwój systemów zliczania pasażerów, które nie tylko stają się coraz dokładniejsze, ale często umożliwiają pozyskiwanie informacji w czasie rzeczywistym [10]. Warto zwrócić jednak uwagę, że podstawowe systemy automatyczne umożliwiają wyłącznie określenie wielkości potoków pasażerskich między poszczególnymi przystankami. Jest to przydatne w takich procesach jak:

- planowanie przydziału taboru do linii,
- określanie częstotliwości kursowania linii,
- określanie warunków podróży i poziomu komfortu w pojazdach [1].

W przypadku określania macierzy podróży uwzględniającej źródła i cele poszczególnych podróży tego typu systemy mogą okazać się niewystarczające. Warto więc zwrócić uwagę, że dobrym rozwiązaniem są automatyczne

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2018.

ne systemy pobierania opłat, które umożliwiają także określenie źródła i celu każdej podróży transportem zbiorowym [5,8].

Automatyczny system zliczania pasażerów w Krakowie

Miastem, które od wielu lat testuje tego typu rozwiązania oraz posiada liczną flotę pojazdów wyposażonych w automatyczny systemy zliczania pasażerów (ASZP), jest Kraków. Miejski przewoźnik (Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA w Krakowie) od kilku lat w ramach procesu wymiany taboru autobusowego wymaga od dostawców nowych pojazdów montażu elementów systemu automatycznego zliczania pasażerów. Dzięki temu pod koniec roku 2018 znaczna liczba autobusów kursujących po mieście będzie wyposażona w tego typu system. Dostęp do tak dużej bazy danych (popyt na usługi transportowe, dla każdego dnia i każdego kursu) daje duże możliwości. Wśród nich warto wymienić:

- poprawę oferty przewozowej,
- optymalizację marszrut,
- optymalizację przydziału taboru do linii,
- tworzenie prognoz popytu na usługi transportowe.

Niezależnie od zapewnień producenta każdy użytkownik (przewoźnik) stara się przeprowadzać własne pomiary weryfikujące dokładność systemu. Tego typu pomiary ograniczają się najczęściej do pomiarów na zajezdni lub pojedynczych obserwacji w ruchu liniowym, co przekłada się na małą liczebność próby, a w ostateczności na małą wiarygodność wyników analizy porównawczej.

Badania dokładności pomiarów zbieranych przez ASZP w Krakowie

Głównym celem artykułu jest zaprezentowanie wyników badań jednego z użytkowanych w Krakowie systemów automatycznego zliczania pasażerów (marki Dilax [10]). Pomiary w ramach badań były przeprowadzane przez Politechnikę Krakowską i Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA w Krakowie. Badania te związane były z weryfikacją zbieranych danych przez automatyczny system zliczania pasażerów poprzez przeprowadzenie klasycznych pomiarów w pojazdach transportu zbiorowego oraz analizę porównawczą zebranych danych z obu źródeł.

W automatycznym systemie zliczania pasażerów, wykorzystywanym przez MPK Kraków zastosowane zostały specjalne bramki na podczerwień. Ich zadaniem jest detekcja wejść i wyjść do pojazdów z dokładnością do jednej osoby. Bramki w każdym pojeździe składają się z trzech czujników zlokalizowanych w listwie umieszczonej nad otworem drzwiowym, co zostało zaprezentowane na rysunku 1. Informacja z czujników jest bezpośrednio archiwizowana w komputerze pokładowym, co umożliwia późniejszy do niej dostęp. Dodatkowo istnieje aplikacja, która przekształca dane surowe w raport dzienny dla każdego pojazdu. System umożliwia pozyskanie danych zarówno w formie przetworzonej, jak i surowej (dla każdego drzwi osobny pomiar). Systemy opierające się na czujnikach na podczerwień są jednymi z dwóch najpo-



Rys. 1. Przykład bramki liczącej pasażerów wsiadających i wysiadających
Źródło: własne autora

pularniejszych wykorzystywanych obecnie technologii w automatycznych systemach zliczania pasażerów. Drugą popularną technologią są czujniki laserowe.

Badania były prowadzone pod koniec roku 2017 na wybranych liniach autobusowych cechujących się dużym zróżnicowaniem liczby pasażerów, którzy nimi na co dzień podróżują. Pomiary były prowadzone w pojazdach zaopatrzonych w czujniki automatycznego systemu zliczania pasażerów. Były to najnowocześniejsze pojazdy, jakimi dysponuje przewoźnik, marki Solaris typu Urbino 12 i 18 IV generacji (autobusy standardowe o długości 12 metrów i przegubowe o długości 18 metrów). Pomiary były prowadzone w godzinach szczytu porannego (od godziny 6:00 do godziny 10:00). Badania podzielono na dwie części związane z procesem zbierania danych. Pierwsza część pomiarów była realizowana przez miejskiego przewoźnika. Polegała na przydziale odpowiedniego taboru (wyposażonego w czujniki liczące wchodzących i wychodzących pasażerów) do wybranych kursów na określonych liniach autobusowych i wykonaniu pomiarów z zastosowaniem automatycznego systemu zliczania pasażerów.

Za drugą część badań odpowiadała Politechnika Krakowska, której przedstawiciele (studenci – członkowie Koła Naukowego Logistyki TILOG wraz z autorem artykułu) wykonywali pomiary wewnątrz wybranych pojazdów. Obserwacje były prowadzone w tym samym czasie i w tych samych pojazdach, co miejski przewoźnik. Pomiary były przeprowadzane w czterech różnych dniach. Osoby wykonujące pomiary zanotowały prawie 2000 obserwacji. Warto zauważyć, że w celu uzyskania jak najwyższej dokładności pomiarów klasycznych liczba obserwatorów w autobusie standardowym wynosiła: 2, a w autobusie przegubowym: 3. Zebrane dane po stronie miejskiego przewoźnika, jak i Politechniki Krakowskiej zostały wprowadzone do arkuszy kalkulacyjnych. Tego typu działanie umożliwiło porównanie wyników oraz wykonanie niezbędnych analiz. Przygotowane w ten sposób analizy zostały szerzej przedstawione w niniejszym artykule.

Analiza wyników pomiarów

Wyniki prowadzonych pomiarów pogrupowano zgodnie z wcześniej przyjętym podziałem taboru ze względu na typ pojazdu (standardowe – 12 metrowe i długie – 18 metrowe). Dodatkowo odrębnie analizowano wejścia i wyjścia do pojazdów. Następnym krokiem było uszeregowanie wyników pod względem liczby osób wsiadających i wysiadających

od wartości minimalnej do maksymalnej. Na koniec porównano wyniki z klasycznych pomiarów (wykonywanych przez obserwatorów w pojazdach) oraz dane z automatycznego systemu zliczania pasażerów.

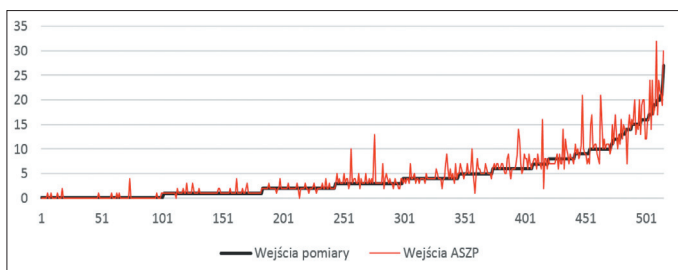
Zgodność wyników pomiarów automatycznych z wynikami pomiarów klasycznych została przedstawiona w tabeli 1. Analiza porównawcza wyników z pomiarów klasycznych i automatycznych miała na celu sprawdzenie, jaki procent wyników jest w pełni ze sobą zgodny. Zauważono, że dokładnie takie same wyniki uzyskano w obu przypadkach mniej niż 60% dla autobusu standardowego i około 30% dla autobusu przegubowego. Rozszerzając przedział zgodności do różnicy pięciu pasażerów między wynikami z obu źródeł pomiarów, uzyskano prawie 100% zgodność dla autobusu standardowego i 60% zgodność dla autobusu przegubowego. Należy zauważyć, że nominalnie miejsc w autobusie standardowym jest 102, a przegubowym 174 [11]. Na tej podstawie można łatwo zauważyć, że różnica 5 pasażerów w przypadku autobusu standardowego to tylko około 5% pojemności nominalnej, a w przypadku autobusu przegubowego około 3%.

Tabela 1

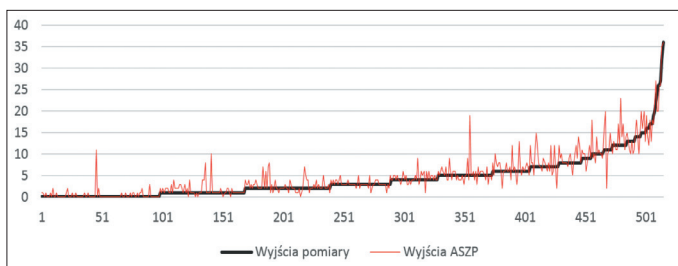
Zgodność wykonanych pomiarów			
Zgodność pomiarów		Autobus przegubowy [%]	Autobus standardowy [%]
Zgodność +/- 0 pasażerów	Wejścia	28,7	59,6
	Wyjścia	31,5	46,8
Zgodność +/- 1 pasażer	Wejścia	45,9	83,1
	Wyjścia	46,1	76,5
Zgodność +/- 3 pasażerów	Wejścia	55,2	94
	Wyjścia	56,5	91,3
Zgodność +/- 5 pasażerów	Wejścia	59,8	97,3
	Wyjścia	60,2	97,3

Drugim etapem analizy było sprawdzenie korelacji pomiędzy danymi zebranymi podczas pomiarów klasycznych i z systemu automatycznego. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono uszeregowane dane dla wejść i wyjść do autobusu standardowego. Dla wejść uzyskano współczynnik korelacji równy 0,9379, dla wyjść współczynnik ten wyniósł: 0,9233, co pokazuje, że istnieje silna korelacja pomiędzy wynikami pomiarów klasycznych i automatycznych.

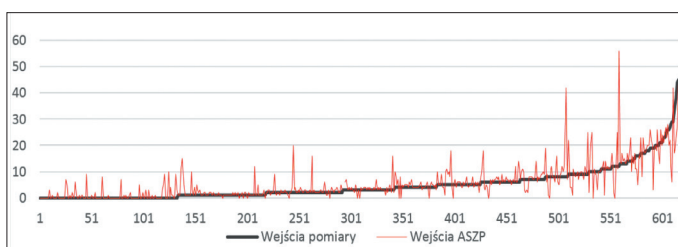
Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono uszeregowane dane dla wejść i wyjść do autobusu przegubowego. Dla wejść uzyskano współczynnik korelacji równy 0,2339, dla wyjść współczynnik ten wyniósł 0,3712, co pokazuje, że istnieje słaba korelacja pomiędzy wynikami pomiarów klasycznych i automatycznych. Zauważono jednak, że system automatyczny w kilkudziesięciu przypadkach sumował wartości dla kilku kolejnych przystanków, przez co znacznie zawyżał wyniki. Problem ten został odnotowany kilkunastokrotnie wyłącznie dla autobusów przegubowych. Wyniki zostały sprawdzone powtórnie w celu wykonania dodatkowej analizy z pominięciem pomiarów, w przypadku których dochodziło do błędnego sumowania wartości. Dla takiego zbioru wyników obliczono ponownie współczynniki korelacji dla wejść i wyjść. Uzyskano następujące wyniki: dla wejść 0,7793, a dla wyjść 0,8929. Można więc zauważyć, że gdyby



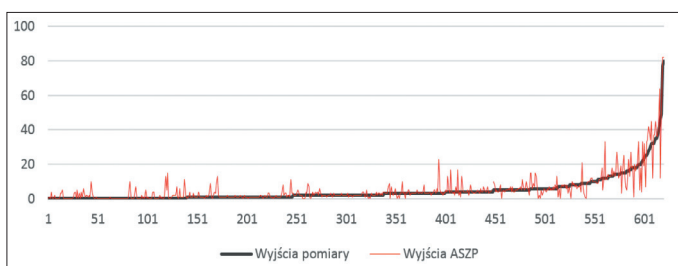
Rys. 2. Porównanie danych z ASZP i pomiarów - wejścia autobusy standardowe
Źródło: opracowanie własne autora



Rys. 3. Porównanie danych z ASZP i pomiarów - wyjścia autobusy standardowe
Źródło: opracowanie własne autora



Rys. 4. Porównanie danych z ASZP i pomiarów - wejścia autobusy przegubowe
źródło: opracowanie własne autora



Rys. 5. Porównanie danych z ASZP i pomiarów - wyjścia autobusy przegubowe
Źródło: opracowanie własne autora

nie pewne błędy systemu, korelacja pomiędzy wynikami pomiarów byłaby podobnie silna jak w przypadku autobusów standardowych.

Kolejnym etapem analizy było przygotowanie modeli regresji liniowej dla każdego przypadku (oddzielnie wejścia i wyjścia dla autobusu standardowego i przegubowego). Dla autobusów standardowych uzyskano następującą funkcję, gdzie zmienną objaśnianą jest rzeczywista liczba pasażerów wsiadających i wysiadających, a zmienną objaśniającą pomiar liczby pasażerów wsiadających i wysiadających wykonany przez ASZP. Uzyskane modele, wraz z wyliczonymi współczynnikami determinacji oraz błędem standardowym dla autobusu standardowego, zostały przedstawione w tabeli 2.

Wykresy regresji liniowej dla autobusów standardowych zostały przedstawione na rysunkach 6 i 7.

Tabela 2

Modele regresji liniowej dla autobusu standardowego					
Typ danych	Model	R ²	Standardowy błąd oceny y	Szacunkowy błąd średni dla b1	Szacunkowy błąd średni dla b2
Wejścia	$y = 0,8278x + 0,3407$	0,88	1,58	0,014	0,093
Wyjścia	$y = 0,8526x + 0,143$	0,85	1,85	0,016	0,111

W tabeli 3 zaprezentowano uzyskane modele, wraz z wyliczonymi współczynnikami determinacji oraz błędem standardowym dla autobusu przegubowego.

Wykresy regresji liniowej dla autobusów przegubowych zostały przedstawione na rysunkach 8 i 9.

Dla autobusu standardowego uzyskano dobrze dopasowane modele liniowe. Dla autobusu przegubowego uzyskano wyłącznie zadowalające dopasowanie modeli. Problemem w tym przypadku są dane na temat wejść do pojazdu oraz zaobserwowane błędy związane z sumowaniem wyników dla kilku kolejnych przystanków. W celu uzyskania lepiej dopasowanych modeli niezbędne będzie wykonanie dodatkowych pomiarów dla autobusów przegubowych. Dodatkowo możliwe będzie określenie, czy zauważone błędy w wynikach z systemu były jednorazowym przypadkiem.

Na podstawie wykonanej analizy można stwierdzić, że dane zbierane przez system automatyczny można wykorzystać w:

- procesie prognozowania popytu na usługi transportowe w miejskim transporcie zbiorowym,
- procesie zarządzania taborem,
- procesie zarządzania i optymalizacji sieci miejskiego transportu zbiorowego.

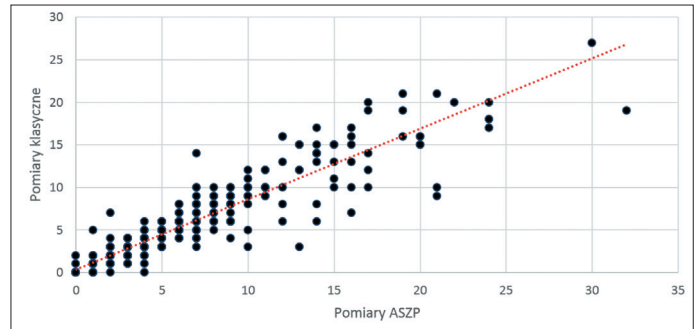
Propozycja zastosowania pomiarów z ASZP do prognozowania popytu w miejskim transporcie zbiorowym

Prognozowanie popytu na usługi miejskiego transportu zbiorowego wymaga danych na temat podróży pasażerów. Przedstawiony w artykule system automatyczny nie umożliwia zbierania informacji dotyczących źródeł i celów konkretnych podróży. Jego funkcją jest określanie liczby wejść i wyjść na poszczególnych przystankach oraz przedstawianie informacji na temat międzyprzystankowych potoków pasażerskich. Na potrzeby takich działań jak m.in. optymalizacja: przydziału taboru do linii lub częstotliwości kursowania linii, pomiary wykonane przez system automatyczny w zupełności wystarczą.

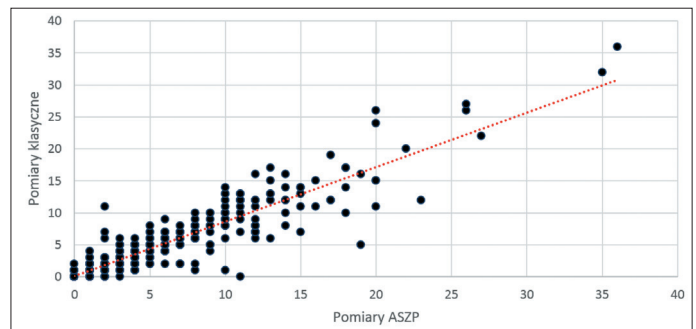
W literaturze problematyka prognozowania popytu na usługi miejskiego transportu zbiorowego jest dość dobrze opisana. Na potrzeby artykułu wybrano trzy publikacje reprezentujące trzy odrębne podejścia do tematu prognozowania popytu. Pierwsza z nich [2] prezentuje zastosowanie sztucznych sieci neuronowych z wykorzystaniem danych na temat liczby sprzedanych biletów. W drugiej [7] zaprezentowano wykorzystanie modelu ARIMA (zintegrowane modele autoregresyjne ze średnią ruchomą) na podstawie danych wejściowych pochodzących z miesięcznych zestawień liczby pasażerów tworzonych przez przewoźnika. Trzecie podejście [9] prezentuje zastosowanie modelu ARMA (modele autoregresji i średniej ruchomej) z wykorzystaniem danych

Tabela 3

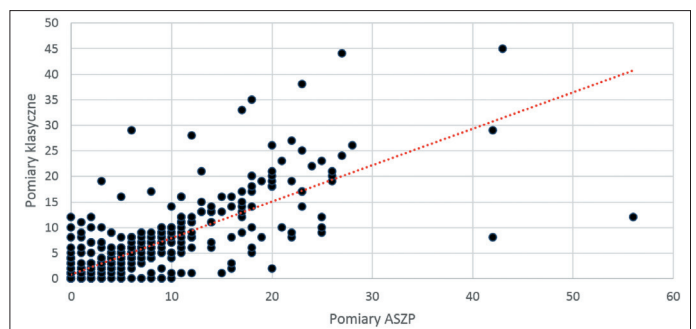
Modele regresji liniowej dla autobusu przegubowego					
Typ danych	Model	R ²	Standardowy błąd oceny y	Szacunkowy błąd średni dla b1	Szacunkowy błąd średni dla b2
Wejścia	$y = 0,7126x + 0,865$	0,61	3,89	0,023	0,204
Wyjścia	$y = 0,7992x + 0,3068$	0,80	3,54	0,016	0,166



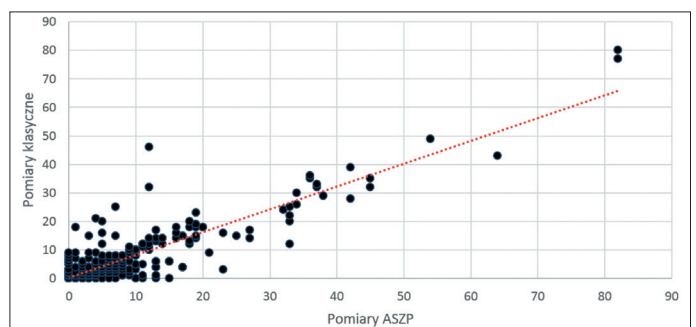
Rys. 6. Wykres regresji liniowej dla wejść do autobusu standardowego
Źródło: opracowanie własne autora



Rys. 7. Wykres regresji liniowej dla wyjść z autobusu standardowego
Źródło: opracowanie własne autora



Rys. 8. Wykres regresji liniowej dla wejść do autobusu przegubowego
Źródło: opracowanie własne autora



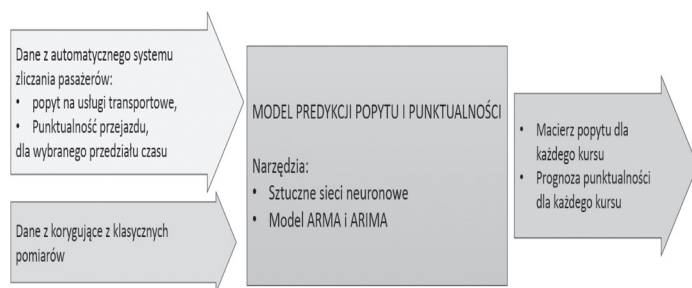
Rys. 9. Wykres regresji liniowej dla wyjść z autobusu przegubowego
Źródło: opracowanie własne autora

na temat liczby sprzedanych biletów (podobnie jak w pierwszej publikacji). Każda z wybranych publikacji posiada bogatą listę źródeł odnoszących się do każdego podejścia.

Przy tworzeniu własnego modelu prognostycznego wykorzystującego dane z automatycznego systemu zliczania pasażerów logiczne wydaje się zastosowanie wcześniej przetestowanych narzędzi (modele ARMA i ARIMA oraz sieci neuronowe). Sposób przedstawiania wyników pomiarów w formie macierzy w arkuszu kalkulacyjnym ułatwia i skraca proces opracowywania i wgrywania danych wejściowych. Macierze te już na etapie pobierania danych z systemu są odpowiednio przygotowane i sformatowane. Dzięki temu możliwe jest proste wykorzystanie ich w celu wykonania prognozy na usługi transportowe. Dane pozyskiwane z systemu zawierają takie informacje jak:

- lokalizację przystanku (współrzędne GPS);
- dokładną godzinę, o której pojazd zatrzymał się na przystanku;
- liczbę pasażerów, którzy weszli do pojazdu;
- liczbę pasażerów, którzy opuścili pojazd na przystanku;
- łączną liczbę pasażerów w pojeździe po odjeździe z przystanku.

Duża różnorodność automatycznie zbieranych danych umożliwia stworzenie modelu prognozy nie tylko dla popytu, ale także punktualności przejazdu. Wstępny schemat modelu predykcji popytu i punktualności został przedstawiony na rysunku 10.



Rys. 10. Schemat modelu predykcji popytu i punktualności
 Źródło: opracowanie własne autora

Przygotowany model umożliwiłby nie tylko tworzenie prognoz dla całej sieci transportowej, ale także wyłącznie dla wybranych linii lub ciągów komunikacyjnych. Prognozy te przydatne byłyby szczególnie przy optymalizowaniu częstotliwości kursowania pojazdów, a co za tym idzie optymalizacji przesiadek i koordynacji sygnalizacji świetlnej.

Plan dalszych badań

Przedstawione w artykule wyniki pomiarów porównawczych stanowią jedynie wstęp do działań mających na celu stworzenie modelu prognostycznego. Aby wykonanie modelu było możliwe, należy przeprowadzić pomiary w dłuższym przedziale czasu (np. 1–2 miesiące). Przeprowadzanie tego typu pomiarów metodami klasycznymi byłoby nie tylko kosztowne, ale i pracochłonne. Wyniki analizy porównawczej przedstawionej w artykule potwierdzają, że w przypadku takich pomiarów możliwe jest wykorzystanie

systemów automatycznych, a uzyskane z nich dane będą przydatne w procesie tworzenia prognozy.

Pierwszym etapem dalszych prac nad tematem będzie powtórzenie pomiarów porównawczych w autobusach przebusowych oraz wykonanie miesięcznych pomiarów z wykorzystaniem systemu automatycznego. Drugim etapem prac będzie opracowanie i przetestowanie wcześniej wymienionych narzędzi prognostycznych. Ostatnim etapem będzie zastosowanie otrzymanych prognoz do tworzenia modeli:

- optymalizacji przydziału taboru do linii,
- optymalizacji częstotliwości kursowania pojazdów oraz koordynacji kursów,
- optymalizacji parametrów sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniach.

Wyniki każdego etapu zostaną zaprezentowane w formie odrębnych publikacji.

Podsumowanie

Wykonane analizy porównawcze wykazały, że dokładność danych nie tylko zależy od liczby pasażerów wsiadających i wysiadających, ale także od wielkości pojazdu. Dodatkowo badania wykazały przydatność danych z systemu automatycznego w procesie prognozowania popytu, jednakże należy rozszerzyć i powtórzyć w niektórych przypadkach pomiary porównawcze oraz wspierać działania mające na celu podwyższenie dokładności zbieranych danych. Badania wykazały, że przedstawiona w literaturze (m.in. [8]) dokładność pomiarów z systemów automatycznych na poziomie 95%–98% jest zawyżona i nie ma poparcia w praktyce.

Literatura

1. Bryniarska Z., Starowicz., *Wyniki badań systemów publicznego transportu zbiorowego w wybranych miastach*, Wydawnictwo Oddziału SITK RP w Krakowie, Kraków 2010
2. Dou M., He T., Yin H., Zhou X., Chen Z., Luo B., *Predicting Passengers in Public Transportation Using Smart Card Data*, Databases Theory and Applications v. 9093, 2015
3. Gryga Ł., Wojtaszek M., Firlęczyk G., *Obszarowy system sterowania ruchem i nadawanie priorytetu dla transportu zbiorowego w Krakowie*, „Transport Miejski i Regionalny” 2013, nr 6.
4. Hebel K., *Preferencje pasażerów miejskiego transportu zbiorowego*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Ekonomiczne Problemy Usług”, 2010, nr 59.
5. Kucharski R., Przegląd możliwych technologii ITS dla transportu zbiorowego, IV Polski Kongres ITS.
6. Mikulska A., Starowicz W., *Analiza preferencji i satysfakcji pasażerów transportu publicznego w Kielcach*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2015, nr 3.
7. Tsai Ch-H., Mulley C., Clifton G., *Forecasting public transport demand for the Sydney Greater Metropolitan Area: a comparison of univariate and multivariate methods*, „Australasian Transport Research Forum”, Proceedings 2–4 October 2013, Brisbane, Australia, 2013.
8. Wyraz E., Lorenc A.K., *System pomiaru napełnienia pojazdów komunikacji miejskiej – przegląd współczesnych rozwiązań*, „Logistyka”, 2015, nr 3.
9. Zhang N., Chen H., Chen X., Chen J., *Forecasting Public Transit Use by Crowdsensing and Semantic Trajectory Mining: Case Studies*, „International Journal of Geo-Information”, 2016, v.5.
10. <https://www.dilax.com/pl> dostęp 1.04.2018r.
11. <http://www.mpk.krakow.pl/> dostęp 1.04.2018r.