

ESTYMACJA NAPEŁNIENIA POJAZDÓW KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ Z WYKORZYSTANIEM PRESELEKCYJNYCH SYSTEMÓW WAŻENIA POJAZDÓW

Streszczenie

W artykule omówiono metodę oceny napełnienia pojazdów komunikacji zbiorowej z wykorzystaniem preselekcyjnych systemów ważenia pojazdów w ruchu. W ramach opracowania zestawiono wartości zarejestrowane przez wybraną stację preselekcyjną oraz dane z pomiarów napełnienia autobusów udostępnione przez Miejski Zarząd Komunikacji w Tychach. Przedstawione analizy obejmują wyznaczenie korelacji pomiędzy zarejestrowanymi wartościami oraz ocenę dokładności przedmiotowej metody.

WSTĘP

Systemy ważenia w ruchu WIM (ang. *Weigh-in-Motion*) stają się obecnie coraz to bardziej popularnym narzędziem monitorowania strumieni ruchu pojazdów poruszających się po drogach. Wśród licznych zalet tych systemów wymienić można dynamiczny pomiar masy oraz nacisków osi pojazdu bez konieczności zatrzymywania środka transportu, zwiększenie skuteczności wykrywania pojazdów przeciążonych przez służby drogowe oraz możliwość obsługi systemu w czasie rzeczywistym. Coraz częściej inżynierowie ruchu doceniają również możliwość identyfikacji i klasyfikacji pojazdów, którą zapewnia system preselekcyjny. Statystyki zbierane poprzez systemy ważenia w ruchu dostarczają informacji charakteryzujących ruch drogowy na badanym obszarze, w odniesieniu do jego natężenia, struktury rodzajowej oraz prędkości. Możliwość identyfikacji pojazdów komunikacji miejskiej przekraczających stanowisko WIM poprzez kamery automatycznego rozpoznawania tablicy rejestracyjnej (ARTR), otworzyła pole badań nad systemem automatycznej oceny napełnienia pojazdów, opartym na pomiarze masy taboru autobusowego. Wykorzystywane dotychczas w praktyce rozwiązania, umożliwiające oszacowanie wielkości potoków pasażerskich, wiązały się z dużymi nakładami finansowymi i czasowymi, niejednokrotnie również z zaangażowaniem dużej ilości zasobów ludzkich. Proponowane przez autorów rozwiązanie stanowi zatem próbę zmniejszenia kosztów szacowania potoków pasażerskich przy jednoczesnym zapewnieniu stałego ich monitoringu.

1. METODY POMIARU NAPEŁNIENIA POJAZDÓW KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ

Koszty świadczonych usług transportu zbiorowego nierozdzielnie związane są z liczbą realizowanych kursów oraz wykorzystywanym taborem. Dążenie do zapewnienia rentowności na poszczególnych liniach obsługiwanych przez danego operatora usług wymaga znajomości rzeczywistych wielkości potoków pasażerskich w poszczególnych porach doby. Przy tym informacja o średniej liczbie pasażerów pozwala także na odpowiednie kształtowanie jakości usług, bowiem zarówno zbyt długi czas oczekiwania na połączenie jak i nadmierne zatłoczenie są istotnymi czynnikami determinującymi ocenę jakości usług w transporcie zbiorowym. Ocena napełnienia pojazdów realizowana jest metodami klasycznymi, takimi jak:

a) ocena wizualna stanu napełnienia autobusów, różniąc według WBR (Warszawskiego Badania Ruchu 2005) pięć

- podstawowych typów autobusów, między innymi: krótki, średni, długi, przegubowy etc.[1],
- badania ankietowe, które ukierunkowane są na rozpoznanie zachowań komunikacyjnych mieszkańców i przyjezdnych,
 - szacowanie napełnienia na podstawie dochodów ze sprzedaży biletów,
 - stosowanie czujników i detektorów pasażerów (systemy automatycznego zliczania). W ramach tych metod wykorzystuje się między innymi technologię analizy obrazu stereoskopowego [2], czujniki kierunkowe umieszczone pod drzwiami pojazdu [3], czujniki umieszczone nad drzwiami, które emitują skierowany w dół strumień podczerwieni [4] oraz systemy detekcji wizyjnej [5],
 - systemy ważące wykorzystywane w ruchu szynowym [6].
- Wymienione powyżej systemy automatycznego zliczania charakteryzują się zróżnicowaną klasą dokładności oraz kosztem ich implementacji. Ich cechą wspólną jest to, że są dedykowane wyłącznie do pomiarów potoków pasażerskich. Zdaniem autorów niniejszej pracy, do oceny potoków pasażerskich można także wykorzystać systemy preselekcyjnego ważenia pojazdów przy akceptowalnej niepewności estymacji ich parametrów.

2. ZASTOSOWANIE PRESELEKCYJNEGO SYSTEMU WAŻENIA POJAZDÓW DO ESTYMACJI STOPNIA NAPEŁNIENIA POJAZDU

Preselekcyjne systemy ważenia pojazdów w ruchu wykorzystują zróżnicowane rozwiązania techniczne do oceny poszczególnych parametrów pojazdu. Podstawowy element systemu WIM stanowią czujniki nacisku osi i kół pojazdu. Współcześnie stosowane są następujące technologie [6]:

- czujniki kwarcowe,
- czujniki polimerowe,
- czujniki tensometryczne,
- plyty ważące.

Kolejnym istotnym elementem stacji WIM są pętle indukcyjne, które umożliwiają między innymi pomiar zastępczej długości magnetycznej pojazdu oraz pomiar prędkości jazdy. Dopełnienie systemu stanowią kamery ARTR oraz czujniki do oceny wysokości pojazdu.

Z punktu widzenia pomiaru stopnia napełnienia autobusów do najistotniejszych parametrów rejestrowanych przez stację preselekcyjną należy zaliczyć: masę całkowitą pojazdu (suma nacisków poszczególnych osi) oraz kategorię pojazdu. Powszechnie stosowana klasyfikacja pojazdów w oparciu o specyfikację COST 323 [7] została przedstawiona w tabeli 1.

Tab. 1. Klasyfikacja pojazdów wg COST 323 [7]

| Kategoria | Sylwetka pojazdu | Opis |
|-----------|------------------|---|
| 1 | | Pojazdy osobowe, pojazdy dostawcze (< 35 kN) |
| 2 | | Ciężarówka nieprzegubowa z dwiema osiami |
| 3 | | Ciężarówka nieprzegubowa z więcej niż dwiema osiami |
| 4 | | Ciągnik z nacępą na jednej osi lub układzie dwóch osi |
| 5 | | Ciągnik z nacępą na układzie trzech osi |
| 6 | | Ciężarówka z przyczepą |
| 7 | | Autobusy |
| 8 | | Pozostałe pojazdy |

Istotną rolę odgrywać będzie również klasa dokładności zastosowanego systemu pomiarowego. Zgodnie z COST 323 [7] stosowana jest dyskretna klasyfikacja dokładności systemu rozpoczynająca się od klasy A(5) a kończąca na klasie E. W Polsce najczęściej występujące klasy to klasa B+(7) oraz B(10), których tolerancje dokładności zostały przedstawiane w tabeli 2.

Tab. 2. Tolerancje klasy B+(7) oraz B(10) wg COST 323 [7]

| Kryteria (rodzaj pomiaru) | Obszar użycia | Klasy dokładności: Zakres przedziału ufności δ (%) | |
|----------------------------|-----------------------------------|--|-------|
| | | B+(7) | B(10) |
| Masa brutto | Masa brutto > $3,5 \cdot 10^3$ kg | 7 | 10 |
| Nacisk na oś: | Nacisk na oś > 10 kN | | |
| grupa osi | | 10 | 13 |
| pojedyncza oś | | 11 | 15 |
| oś grupy | | 14 | 20 |
| Prędkość | V > 30 km/h | 3 | 4 |
| Odległości pomiędzy osiami | | 3 | 4 |
| Całkowity strumień ruchu | | 1 | 1 |

Skuteczność zastosowania systemu WIM do oceny stopnia napełnienia pojazdów komunikacji zbiorowej zdeterminowana będzie nie tylko poprzez dokładność pomiaru masy taboru ale zależeć będzie także w dużej mierze od właściwej identyfikacji klasy pojazdu. Naturalnym rozwiązaniem jest klasyfikacja taboru ze względu na jego długość a następnie przyjmowanie w obliczeniach uśrednionej wartości maksymalnej liczby pasażerów oraz masy własnej pojazdu w ramach każdej z klas. Takie postępowanie umożliwi szacowanie napełnienia dla pojazdów różnych przewoźników operujących w analizowanym obszarze. W kolejnym rozdziale przedstawiono ocenę proponowanego postępowania dla pojazdów wybranego operatora usług w odniesieniu do rzeczywistych danych o napełnieniu.

3. WSTĘPNA OCENA SYSTEMU

Wstępna ocena zastosowania systemu WIM do oceny napełnienia pojazdów została wykonana dla stacji ważenia pojazdów

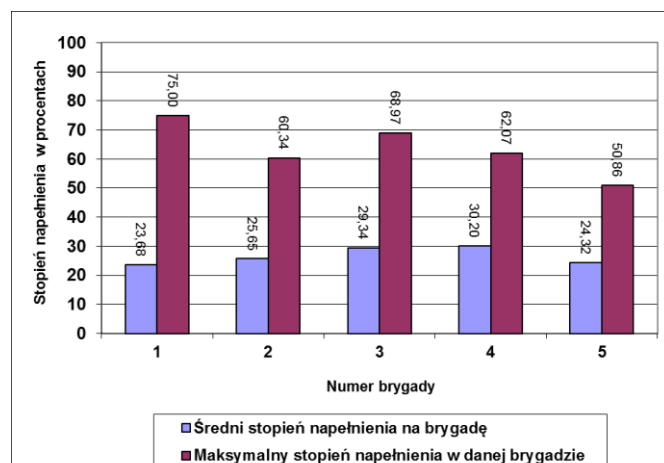
zlokalizowanej w miejscowości Mikołów Śmitowice na drodze DK44 w kierunku Tychów (rys. 1).



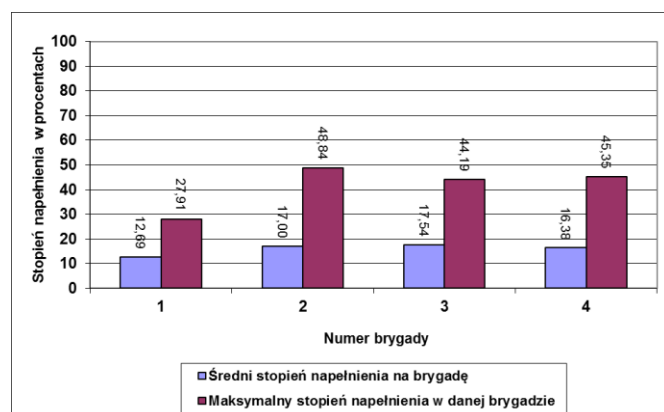
Rys. 1. Lokalizacja stacji WIM (źródło: www.google.pl/maps/)

Klasa dokładności przedmiotowej stacji WIM wynosi B+(7), czyli system preselekcyjny nominalnie pozwala rejestrować masę całkowitą z dokładnością do siedmiu procent.

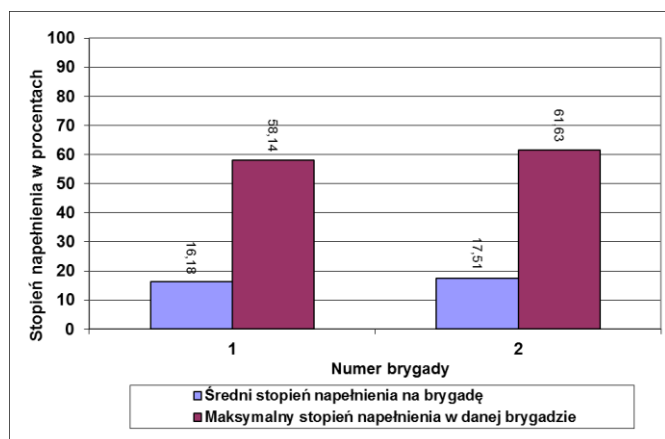
Analizę efektywności oceny napełnienia wykonano dla wybranych linii komunikacji zbiorowej Miejskiego Zarządu Komunikacji w Tychach: linii 33, 620 oraz 82. Dane na temat liczby pasażerów umożliwiające wyznaczenie napełnienia pojazdów komunikacji zbiorowej pozyskano z pomiarów przeprowadzonych przez MZK Tychy w kilku dniach w okresie od lutego do marca 2014. Zestawienie średnich wielkości stopnia napełnienia w odniesieniu do numeru brygady realizującej kurs przedstawiono dla analizowanych linii odpowiednio na rysunku 2, 3 oraz 4.



Rys. 2. Średni i maksymalny stopień napełnienia dla linii 33 (źródło: MZK Tychy)



Rys. 3. Średni i maksymalny stopień napełnienia dla linii 82 (źródło: MZK Tychy)



Rys. 4. Średni i maksymalny stopień napełnienia dla linii 605 (źródło: MZK Tychy)

W ramach analizowanych w pracy dni, poszczególne linie obsługiwane były przez następujące rodzaje pojazdów:

- Solaris Urbino 12 – linia nr 82,
- Solaris Urbino 18 – linia nr 33,
- Iveco TurboDaily – linia nr 620.

Dane techniczne poszczególnych pojazdów marki Solaris zostały przedstawione w tabeli 3.

Tab. 3. Dane techniczne pojazdów Solaris[8]

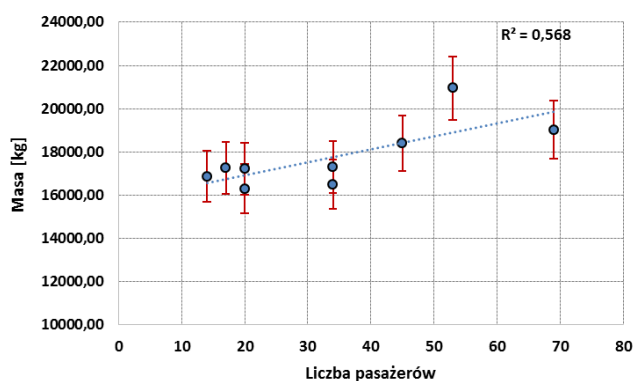
| Parametr | Solaris Urbino 12 | Solaris Urbino 18 |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Liczba miejsc siedzących | maks. 43 | maks. 51 |
| Długość | 12000 [mm] | 18000 [mm] |
| Liczba osi | 2 | 3 |
| Masa własna/dopuszczalna | 10400 - 13000 / 18000 [kg] | 5500 - 18500 / 28000 [kg] |
| Zbiornik paliwa | 250 l/350 l | 350 l |

Dane normatywne masy własnej przedstawione w tabeli 3 uwzględniają całkowitą masę pojazdu z tzw. standardowym wyposażeniem oraz płynami eksploatacyjnymi i pełnym zbiornikiem paliwa. Należy jednak mieć na uwadze, że poszczególne egzemplarze realizujące kursy na danej linii pochodzą z różnych lat produkcji lub posiadają odmienne systemy zasilania (ON lub CNG) i tym samym ich masy w sposób naturalny są zróżnicowane przy podobnej zdolności przewozowej.

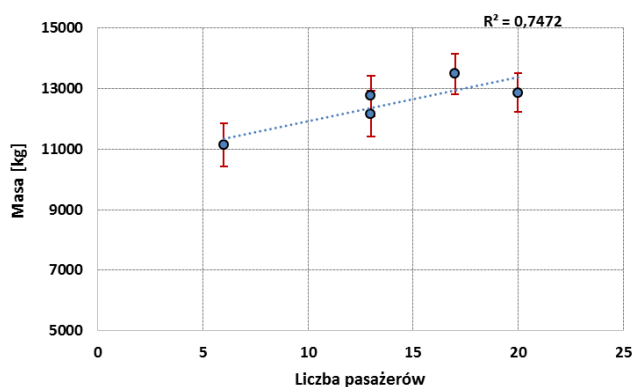
Próbując oszacować dokładność proponowanej metody rozpatrzyć pojazd o masie 13000 kg. Zastosowanie stacji WIM o klasie dokładności B+(7) daje dopuszczalny błąd pomiarowy masy brutto pojazdu +/- 910 kg. Dodatkowo, biorąc pod uwagę błąd wynikający z braku informacji o poziomie paliwa sumaryczny błąd można oszacować na około +/- 1200 kg. Zakładając następnie średnią wagę pasażera na poziomie 80 kg, można przyjąć, iż zaproponowany system jest w stanie szacować napełnienie pojazdu na poziomie +/- 15 pasażerów, co dla pojazdów Solaris Urbino 12 stanowi około 8% napełnienia całkowitego (uwzględniając miejsca stojące oraz siedzące).

4. PORÓWNANIE UZYSKANYCH DANYCH Z SYSTEMU WIM ORAZ DANYCH Z POMIARÓW NAPEŁNIENIA POJAZDÓW KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ

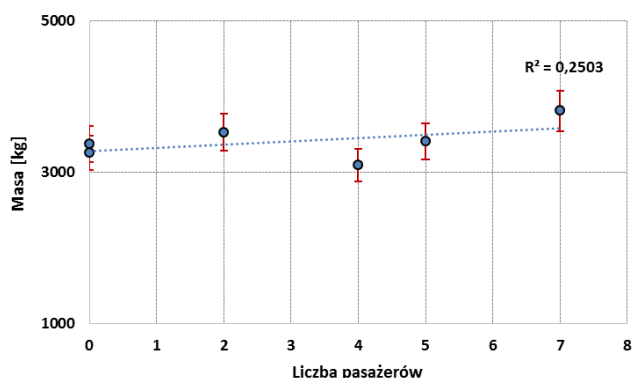
W ramach pracy zestawiono dane zarejestrowane przez przedmiotową pomiarową stację preselekcyjną oraz wyniki pomiarów napełnienia na przystanku Śmitowice Szkoła. Wyniki poszczególnych analiz dla trzech klas długości taboru (18 m, 12 m oraz do 10 m) przedstawiono na rysunkach 5,6,7.



Rys. 5. Zależność zmierzonej masy całkowitej pojazdu w funkcji liczby pasażerów dla linii nr 33 (klasa długości 18 m)



Rys. 6. Zależność zmierzonej masy całkowitej pojazdu w funkcji liczby pasażerów dla linii nr 82 (klasa długości 12 m)



Rys. 7. Zależność zmierzonej masy całkowitej pojazdu w funkcji liczby pasażerów dla linii nr 620 (klasa długości do 10 m)

Dla rozpatrywanych w pracy klas pojazdów uzyskano współczynniki determinacji R^2 na poziomie odpowiednio:

- 0,568 w przypadku klasy pojazdów o długości 18 m,
- 0,742 dla klasy pojazdów o długości 12 m,
- 0,250 dla klasy pojazdów o długości do 10 m,

które wskazują na istnienie korelacji pomiędzy mierzonymi wartościami. Jednocześnie zależność ta jest najslabiej widoczna dla klasy pojazdów najkrótszych, w przypadku której waga trzech „standardowych” pasażerów jest rzędu wielkości dopuszczalnego błędu pomiaru na stacji WIM. Tym samym koniecznym wydaje się wprowadzenie dodatkowego parametru, który pozwoli na dokonanie odpowiedniej korekty.

PODSUMOWANIE

Przedstawiona w pracy wstępna ocena metody estymacji poziomu napełnienia pojazdów komunikacji zbiorowej z wykorzystaniem preselekcyjnych systemów ważenia potwierdza mierzalną zależność pomiędzy analizowanymi wielkościami. Przedstawiony system oceny może znaleźć zastosowanie nie tylko w celach analizy efektywności wykorzystania pojazdów komunikacji zbiorowej ale również może dostarczać cenną informację wejściową do systemu stopniowania priorytetów na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Wyniki uzyskane w trakcie walidacji metody wskazują na konieczność prowadzenia dalszych prac, zmierzających do podniesienia jakości estymacji stopnia napełnienia. Dalsze działania realizowane będą w dwóch głównych kierunkach;

- zgromadzenia większej liczby zweryfikowanych danych o napełnieniu i wadze w ramach poszczególnych klas pojazdów, tak aby można było zaproponować analityczną postać funkcji do wyznaczania stopnia napełnienia i określić ogólną niepewność metody;
- zidentyfikowania istotnych z punktu widzenia prowadzonej analizy parametrów wyznaczanych na stacji WIM oraz określenie odpowiednich współczynników korygujących.

BIBLIOGRAFIA

1. AECOM Sp. z o.o., *Analiza i ocena efektywności wprowadzenia wydzielonego pasa autobusowego w ciągu ulic: Wawelska – Al. Armii Ludowej – Most Łazienkowski – Al. Stanów Zjednoczonych*. Opracowanie wykonane dla Urzędu Miasta Stołecznego Warszawy. Dostęp 01.09.2015: <http://siskom.waw.pl/komunikacja/buspas/Buspas-TL.pdf>
2. Infotron Sp. z o.o., *System Zliczania Pasażerów*. Dostęp 01.09.2015: <http://www.infotron.com.pl/index.php/snrp-zliczanie-pasazerow>
3. INFODEV EDI Inc., *Liczenie pasażerów w pojazdach: autobusy, tramwaje, pociągi, metra i promy*. Dostęp 01.09.2015: <http://www.infodev.ca/po/licznik-w-pojazdach.html>
4. Pixel Sp. z o.o., *System Automatycznego Zliczania Pasażerów*. Dostęp 01.09.2015: <http://www.pixel.pl/systemy/system-automatycznego-zliczania-pasazerow/>
5. Schenck Process Holding GmbH, *MULTIRAIL APC*. Dostęp 01.09.2015: <http://www.schenckprocess.com/products/multirail-apc>
6. Mitas W. A., Bernaś M., Bugdol M., Ryguła A., Konior W., *Elektroniczne narzędzia pomiarowe w transporcie – wagi preselekcyjne*. Elektronika 2011, nr 12, s. 86-89.
7. Jacob B., O'Brien E., Jehaes S., *COST 3232 Weigh-in-Motion of Road Vehicles*. Dostęp 01.09.2015: http://www.is-wim.org/doc/wim_eu_specs_cost323.pdf
8. Solaris Bus & Coach S.A. Dostęp 01.09.2015: https://www.solarisbus.com/vehicles_catalog/23/urbino

THE OCCUPANCY ESTIMATION OF PUBLIC TRANSPORT VEHICLES USING WEIGHT IN MOTIONS SYSTEMS

Abstract

In the article, the authors described a method of evaluating public transport vehicles occupancy, using the weight in motion system. The values registered by the selected weighing station and data from bus occupancy measurements, provided by the Urban Transport Management in Tychy, were compared. The analyzes include the determination of the correlation between the recorded values and the assessment of the accuracy of presented method.

Autorzy:

dr inż. **Artur Ryguła** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Zarządzania i Transportu, Katedra Transportu i Informatyki, Zakład Inteligentnych Systemów Transportowych, arygula@ath.eu

inż. **Wiktoria Loga** – Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, wikiloga@gmail.com

dr hab. inż. **Krzysztof Brzozowski**, prof. ATH – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Zarządzania i Transportu, Katedra Transportu i Informatyki, Zakład Inteligentnych Systemów Transportowych, kbrzozowski@ath.eu