Transport Miejski i Regionalny (skrót TMiR)
Czasopismo wydawane od 2004 roku jako kontynuacja tytułu „Transport Miejski", wydawanego od 1982 r.

Redaktor naczelny
Prof. dr hab. inż. Wiesław Starowicz (Politechnika Krakowska)
starowicz@sitk.org.pl

Sekretarz redakcji
Mgr Janina Mrowińska (Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Krakowie)
mrowinska@sitk.org.pl

Rada naukowo-programowa
Prof. PK dr hab. inż. Andrzej Szarata (Politechnika Krakowska) – przewodniczący, członkowie: profesor Tom Rye (Transport Research Institute, Edynburg, Wielka Brytania), prof. dr hab. inż. Antoni Szydło (Politechnika Wrocławska), profesor Igor Taran (Narodowy Górniczy Uniwersytet, Katedra Zarządzania w Transporcie, Dniepropietrowsk, Ukraina), profesor Ming Zhong (Intelligent Transport Systems Research Center, Wuhan, Chiny)

Redaktorzy tematyczni
Prof. UTH dr hab. Tadeusz Dyr (Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu – zarządzanie transportem), prof. dr hab. inż. Stanisław Gaca (Politechnika Krakowska – inżynieria ruchu), dr inż. Ryszard Janecki (Politechnika Śląska – transport regionalny), mgr inż. Mariusz Szałkowski (Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA w Krakowie – transport miejski), prof. UE dr hab. Robert Tomanek (Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach – ekonomika transportu), dr inż. Jacek Malasek – aktualności ze świata

Redaktor statystyczny
Dr inż. Jolanta Żurowska (Politechnika Krakowska)

Redaktor językowy i streszczenia w języku angielskim
Mgr Agata Mierzyńska (Urząd Miasta Krakowa)

Projekt graficzny okładki
Mgr inż. arch. Lucyna Starowicz

Adres redakcji
ul. Siostrzana 11, 30-804 Kraków
tel./fax 12 658 93 74
e-mail: tmir@sitkrp.org.pl
Strona w Internecie: http://tmir.sitk.org.pl

Wydawca
Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej
ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa
www.sitkrp.org.pl

Nakład
800 egzemplarzy

Skład
Tomasz Wojtanowicz

Druk
Wydawnictwo PiT Kraków
ul. Ułanów 54/51, 31-455 Kraków, tel.: 12 290-32-10

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma
Główną wersją czasopisma jest wersja papierowa
Artykuły w wersji elektronicznej są dostępne na stronie czasopisma z rocznym opóźnieniem

Bazy indeksujące artykuły TMiR
Baza BAZTECH – http://baztech.icm.edu.pl/
Baza Index Copernicus – http://indexcopernicus.com/

Prawa autorskie
Copyright © Transport Miejski i Regionalny, 2017

Informacje dodatkowe
Za wydrukowanie artykułu Redakcja pobiera opłatę 500 zł.
O ulgę w opłacie mogą się starać członkowie SITK oraz wieloletni współpracownicy.
Za treść i formę ogłoszeń oraz reklam Redakcja nie odpowiada.

Spis treści

Innowacyjny transport **3**
Sztuczna inteligencja w transporcie miejskim
Artificial inteligence in urban transport

Bryniarska Zofia **5**
Ocena satysfakcji pasażerów z innowacyjnego rozwiązania w miejskim transporcie zbiorowym w Krakowie
Assessment of passengers' satisfaction on the innovative solution in the public transport in Krakow

Piotr Wiśniewski **10**
Projekt i implementacja systemu wspomagania decyzji dla zarządzania kryzysowego transportem miejskim
Design and implementation of a decision support system for urban transport crisis management

Katarzyna Solecka, Damian Maderak **17**
Ocena miejskiego systemu transportu publicznego w Krakowie przez osoby starsze
Evaluation of urban public transport system in Cracow by elderly people

Krystian Banet, Andrzej Szarata **23**
Kształtowanie optymalnego systemu miejskiego transportu zbiorowego w miastach średniej wielkości na przykładzie Częstochowy
Shaping of optimum urban public transport system in middle-sized cities – the city of Częstochowa case study

Reklama w „Transporcie Miejskim i Regionalnym"

Koszt reklamy w czasopiśmie wynosi:

4. strona okładki (kolor)	5000 zł + VAT
2., 3. strona okładki (kolor)	3500 zł + VAT
jedna strona wewnątrz numeru (cz.-b.)	1500 zł + VAT
jedna strona wewnątrz numeru (kolor)	2500 zł + VAT

Cena tekstów sponsorowanych oraz wkładek tematycznych do uzgodnienia.
W przypadku reklam w kilku kolejnych numerach możliwy upust do 20%.
Zgłoszenia w sekretariacie redakcji – Janina Mrowińska, tel. (12) 658-93-74

Punktacja artykułów

Każda publikacja w czasopiśmie „Transport Miejski i Regionalny" zgodnie z aktualnym wykazem czasopism punktowanych opublikowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w dniu 23 grudnia 2015 roku (część B) posiada **7 punktów**.

Prenumerata TMiR w 2017 roku

Cena egzemplarza – **21 zł** (zagraniczna – **10 euro** z kosztami przesyłki)
Koszt prenumeraty półrocznej – **126 zł** (zagraniczna – **60 euro** z kosztami przesyłki)
Koszt prenumeraty rocznej – **252 zł** (zagraniczna – **120 euro** z kosztami przesyłki)
Studenci – 50% zniżki (na podstawie kserokopii aktualnej legitymacji studenckiej)
Zamówienia: Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie
sklep internetowy: *http://www.sitk.org.pl/sklep* (prenumerata oraz sprzedaż numerów archiwalnych)
Płatność: konto: 43 1240 4722 1111 0000 4859 0666

Streszczenia angielskie – Abstracts in English

Bryniarska Zofia

Assessment of passengers' satisfaction on the innovative solution in the public transport in Krakow

Abstract: Tram communication network creates the basic structure of urban public transport connections in Krakow. Coaxial line layout allows passengers to travel relatively fast to the city center, but is not immune to interference in tram trains traffic. Planned extension of the tram network includes, among others: construction of sections between existing lines. This type of connection was launched in 2015 and enabled implementation of an innovative solution: an integrated interchange between urban public transport network, agglomeration railway and long distance railway transport which is also available for pedestrians and cyclists. The importance of this interchange is difficult to overestimate, especially for the inhabitants of southern districts of Krakow, as well as the possibility of conducting alternative routes of the tram lines fixed as well as run during the renovation and modernization of the tram network or breakdown. The article presents results of marketing survey on the overall satisfaction of this new tramway connection, estimation of passenger journey time, assessment of selected quality features and assessment of the new connection and tram stop on the bridge. There are also presented some proposals of using the connection and tram stop during the reconstruction of the railway line between stations: Kraków Główny and Kraków Płaszów.

Key words: tram transport service, urban public transport, overall passenger satisfaction, interchange.

Piotr Wiśniewski

Design and implementation of a decision support system for urban transport crisis management

Abstract: Public transport is exposed to many internal and external factors which can disturb its operation. This situation affects in particular urban rail transport as it offers lower flexibility in terms of route designation, because of the need to use complex infrastructure. In this paper, a solution supporting real-time tramway transport management, with respect to crisis situations, was presented. The research included primarily: the functional analysis of urban transport, the selection of an appropriate mathematical representation along with adapting it to real-life requirements, formulating the profit function and searching algorithms as well as the development of the application that implements the solutions mentioned above. The proposed formal model of a tramway network was based on a mixed graph where vertices correspond to decision points while edges represent specific track sections. In addition, the mathematical model includes also the profit function used to generate the recommended alternative route and the set of forbidden paths which cannot be designated in real-life situations because of the rail system specifics. The decision support system designed as a part of this research is proposed as a support tool for people responsible for the current public transport vehicle traffic. The proposed application includes model data saved in a set of source files and enables the user to select one of four algorithms which can be used in case of a crisis situation.

Key words: rail transport, tramways, graph theory, decision support.

Katarzyna Solecka, Damian Maderak

Evaluation of urban public transport system in Cracow by elderly people

Abstract: The article presents evaluation of urban public transport system in Cracow by elderly people. Elderly people play an important role in the society. In order to satisfy their basic needs related to life in cities and agglomerations it is needed to implement changes and improvements in various life aspects. Elderly people often travel by public transport because their health decreases their predispositions to travel by car. Public transport is often the only one transport mean which they can use. Some conditions, both in terms of transport means equipment and infrastructure, have to be improved in order to have more accessible public transport. Task of public transport management is to help elderly people to meet their basic needs in terms of public transport journeys. The survey among elderly people was carried out in Cracow in order to get an information on elderly people's needs and expectations related to public transport, as well as the level of their satisfaction with the public transport services. The survey was carried out at selected bus and tram stops. The article shows detailed analysis of the survey results. Basing on the survey results changes and solutions for improvement of the urban public transport to make it more senior-friendly have been proposed. Moreover the article raises the issues of society aging in Poland, Małopolska Region and Cracow.

Key words: elderly people, disabled people, urban public transport.

Krystian Banet, Andrzej Szarata

Shaping of optimum urban public transport system in middle-sized cities – the city of Częstochowa case study

Abstract: The article focuses on the optimal design problem of urban public transport network in middle-sized cities, presenting results of the sample case study in the Czestochowa city, Poland. Simulation analyses have been conducted on the transportation model of Czestochowa and included 9 possible variants (cases). The variants were formulated based on 2 the following criteria: spatial accessibility of urban public transport network (3 scenarios) and temporal service frequency (5 scenarios). Simulations were conducted for the full 4-step demand model, and allowed us to observe the influence of changes in accessibility and frequency assumptions on network performance. Comparison of variants was made based on 3 performance parameters: total number of passengers, operating service costs and average journey times. Based on these, the optimal variant was selected, which in case of the middle-sized city like Czestochowa turned out to be an intermediate solution in terms of both design criteria. The best results have been obtained for medium rates of service frequency and network accessibility.

Key words: urban public transport, vehicle routing problem, macroscopic model.

Innowacyjny transport

Sztuczna inteligencja w transporcie miejskim

Już wkrótce szybki rozwój sztucznej inteligencji i nowych technik gromadzenia danych wesprze inteligentne miasta w optymalizacji infrastruktury (m.in. transportowej i energetycznej), popularyzacji ekomobilności oraz w poprawie poczucia bezpieczeństwa osobistego – zarówno w ruchu drogowym, jak i podczas korzystania z podatnych na cyberataki smartfonów czy z urządzeń gospodarstwa domowego.

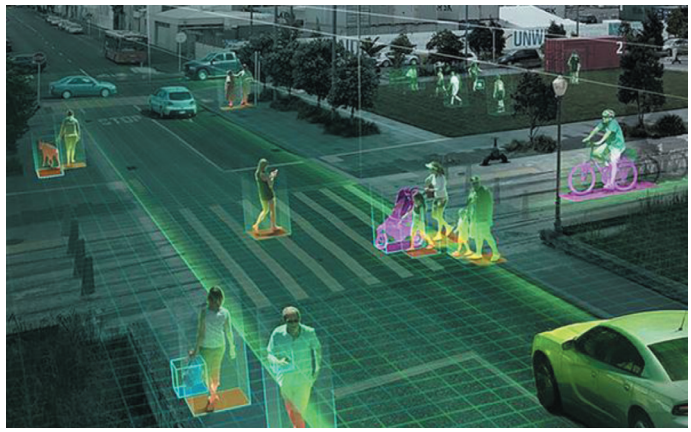
Sztuczna inteligencja

Sztuczna inteligencja *(AI – Artificial inteligence)* to dział informatyki zajmujący się tworzeniem modeli zachowań inteligentnych oraz programów komputerowych symulujących te zachowania. AI to hipotetyczna inteligencja realizowana w procesie inżynieryjnym, a nie naturalnym; dziedzina badań naukowych na styku z neurologią i psychologią. Głównym przedmiotem badań jest konstruowanie maszyn i programów komputerowych zdolnych do realizacji wybranych funkcji umysłu i ludzkich zmysłów niepoddających się numerycznej algorytmizacji. 42% ankietowanych naukowców stwierdziło, że AI na ludzkim poziomie powstanie przed rokiem 2030, a 67% – przed rokiem 2050 (J. Barrat, *AI and the end of the human era,* 2013*).* Już przed dwoma laty Amerykanie opracowali program komputerowy, który w testach analitycznych pokonał 615 z 906 zespołów ludzkich, a oprogramowanie chińskie uzyskało lepszy od średnio-ludzkiego wynik testu IQ opartego na komunikatach werbalnych (H. Wang, *Solving verbal comprehension questions in IQ test by knowledge-powered word embedding,* 2015).

Pionierskie zastosowania AI mają przyczynić się do podwyższenia komfortu życia w miastach, w ramach realizacji zatwierdzonej Paktem Amsterdamskim z maja 2016 roku *Urban Agenda for the EU.* Planowane już na przyszły rok pilotażowe wdrożenia, m.in. z zakresu transportu miejskiego, stanowić będą realizację – opracowanego przez Europejskie Partnerstwo dla Innowacyjności w Inteligentnych Miastach i Społecznościach – programu pod nazwą: *EIP-SCC Roadmap 2017 „Supporting Action Clusters' Initiatives to deliver business cases and scale them up" („Wspieranie inicjatywy działań klastrów dla projektów biznesowych i ich skalowania").* Rozwój inteligentnej infrastruktury miejskiej ma w skali światowej przynieść do roku 2021 oszczędności – w wyniku zmniejszenia zużycia energii i ograniczenia emisji – rzędu 18,8 mld USD. Szacuje się, że oczekiwany spadek emisji będzie równy rocznej emisji generowanej przez 15 mln domów jednorodzinnych (*Smart Cities – On the Faster Track to Success*, 2016).

AI w inteligentnym mieście

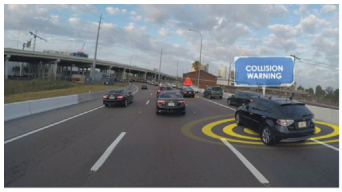
Inicjując szerokie wykorzystywanie sztucznej inteligencji w systemach transportowych inteligentnych miast, Nvidia AI uruchomiła analityczną platformę o nazwie Metropolis Edge-to-Cloud Video, wykorzystywaną do zarządzania ruchem drogowym, poprawy bezpieczeństwa publicznego i optymalizacji zużycia energii w mieście.

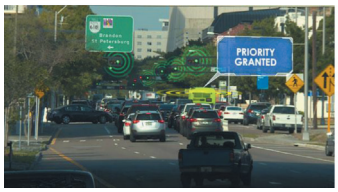


Szacuje się, że do roku 2020 liczba kamer, będących obecnie najpotężniejszym generatorem danych, przekroczy na świecie miliard. Już wkrótce każdy wlot skrzyżowania w inteligentnym mieście będzie monitorowany kamerą zapewniającą uczestnikom ruchu pełną anonimowość.

Zamiast, jak dzieje się to obecnie, sukcesywnej analizy zgromadzonych danych, Metropolis umożliwia automatyczną analizę zapisywanego obrazu, co pozwala np. na dostosowywanie cyklu sygnalizacji świetlnej do aktualnych potoków ruchu, natychmiastowe alarmowanie o wypadkach czy kierowanie pojazdu do najbliższego wolnego miejsca parkingowego (A. Frost, *Traffic Technology Today*, 10.05.2017).

W Tampie na Florydzie uruchomiono kosztem 21 mln USD pilotażowy projekt V2X, testowania w warunkach rzeczywistych automatycznego porozumiewania się pojazdów pomiędzy sobą i z urządzeniami infrastruktury drogowej. Cztery podstawowe funkcje systemu to: ostrzeganie przed kolizją z innym samochodem, pieszym lub tramwajem i zapewnienie swobodnego przejazdu pojazdom ratunkowym.





Do maja 2018 roku zamierza się wyposażyć w technologię łączności 1600 samochodów prywatnych, 10 autobusów i 10 tramwajów. Już w lutym grupa pieszych wyposażonych zostanie w aplikację na smartfon, umożliwiającą wygenerowanie światła zielonego na przejściu dla pieszych i ostrzeżenie przed zbliżającym się tramwajem lub autobusem (A. Frost, *TTT,* 18.08.2017).

Ranking miast inteligentnych

W ostatnim światowym rankingu miast inteligentnych *(Global Smart City – 2016)* zwyciężył Singapur, wyprzedzając Barcelonę, Londyn, San Francisco i Oslo. Jurorzy rankingu brali pod uwagę 40 mierników, uwzględniających sukcesy ocenianych miast w zakresie wdrażania nowych technologii, ekomobilności, poszanowania energii, informatyzacji ogólnodostępnych baz danych i efektywności wykorzystywania zasobów miejskich. O ile w przypadku Barcelony (zwycięzcy poprzedniego rankingu) podkreślano głównie zasługi w zakresie gospodarowania energią i wdrażania polityki zrównoważonego rozwoju, o tyle Singapur uznano za miasto najskuteczniej radzące sobie z upłynnianiem ruchu, czego efektem jest m.in. szybki wzrost gospodarczy i poprawa jakości życia mieszkańców, obejmująca również wymierne zyski z powodu niższych kosztów opieki zdrowotnej.

Obejmujący 164 km tras ekspresowych i tuneli Inteligentny System Transportu oraz SAVI (platforma technologiczna pojazdów autonomicznych) funkcjonują w oparciu o zestaw ośmiu urządzeń/usług telematycznych:

- Miejskie Centrum Kontroli Ruchu,
- EMAS – system monitoringu i informacji drogowej,
- J-Eyes – system nadzoru wizyjnego skrzyżowań z sygnalizacją świetlną,
- GLIDE – „zielona fala" dostosowująca się do aktualnych natężeń ruchu,
- e-TraffcScan – wyposażone w GPS taksówki dostarczające danych o warunkach ruchu,
- Green Man+ – przedłużanie światła zielonego na przejściach dla niepełnosprawnych,
- wyświetlacze ostrzegające przed przekraczaniem dopuszczalnej prędkości,
- informacja o wolnych miejscach parkingowych.

Duże postępy w budowie miast inteligentnych poczyniła też Korea Płd. Govang zwyciężył w konkursie WeGO na miasto najlepiej zarządzane cyfrowo (m.in. za skuteczne zwalczanie nielegalnego parkowania), w Gimhae 2500 kamer zarządza inteligentnym systemem parkowania, a Siheung kończy właśnie tworzenie platformy cyfrowej miasta inteligentnego *(Smart Cities Connect*, 14.09,2017). Z kolei w USA, po wygraniu ubiegłorocznego krajowego konkursu na miasto najlepiej przygotowane do wdrażania technologii automatyzacji transportu drogowego, Columbus współpracuje z Siemens'em przy wdrażaniu systemu V2X. Porozumiewanie się pojazdów pomiędzy sobą i z infrastrukturą drogową (np. odczytywanie sygnalizacji świetlnej i informowanie – jak na zdjęciu poniżej – ile zostało jeszcze sekund światła zielonego) przyczyni się do zwiększenia bezpieczeństwa i upłynnienia ruchu oraz do zmniejszenia emisji spalin (A.Frost, *TTT*, 15.09.2017).

Olbrzymie liczby informacji pozyskiwanych w inteligentnym mieście z wyniku monitoringu nie tylko systemów infrastruktury miejskiej (m.in. transportu, w tym pojazdów autonomicznych), ale też urządzeń domowych (np. mierników zużycia energii i wody, czy inteligentnej lodówki wysyłającej na smartfon komunikat, że masło należy kupić, bo się już kończy), powoduje konieczność prac nad nowymi systemami magazynowania danych i ich zabezpieczania przed cyberatakami. Obiecujące wyniki badań prowadzonych w University of Washington pozwalają sądzić, że już za pięć lat dane (np. wideo) będą mogły być kodowane w łańcuchach DNA. Szacuje się, że wszystkie zgromadzone obecnie na całym świecie dane cyfrowe zmieściłyby się wtedy w objętości zaledwie dziewięciu decymetrów sześciennych *(Data storage on DNA, www.nytimes.com).*

JACEK MALASEK
dr inż. Instytut Badawczy Dróg i Mostów ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa
Tel: +48 22 390 02 02, e-mail: jmalasek@ibdim.edu.pl

BRYNIARSKA ZOFIA
dr inż. Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Zarządzania w Budownictwie i Transporcie, Zakład Transportu, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: z_bryn@pk.edu.pl

Ocena satysfakcji pasażerów z innowacyjnego rozwiązania w miejskim transporcie zbiorowym w Krakowie[1]

Streszczenie: Komunikacja tramwajowa tworzy podstawową strukturę połączeń miejskiego transportu zbiorowego w Krakowie. Koncentryczny układ linii pozwala pasażerom na stosunkowo szybkie przejazdy do centrum miasta, ale nie jest odporny na zakłócenia w ruchu pociągów tramwajowych. Realizowana rozbudowa sieci tramwajowej przewiduje m.in. budowę odcinków pomiędzy istniejącymi liniami. Taka łącznica została oddana do użytku w 2015 roku, co równocześnie pozwoliło na stworzenie innowacyjnego rozwiązania w postaci zintegrowanego węzła przesiadkowego pomiędzy środkami komunikacji miejskiej, transportem kolejowym aglomeracyjnym i dalekobieżnym, dostępnego dla pieszych i rowerzystów. Znaczenie tego węzła trudno przecenić, szczególnie dla mieszkańców południowych dzielnic Krakowa, podobnie jak możliwości prowadzenia alternatywnych tras przebiegu linii tramwajowych stałych, jak i uruchamianych w okresie remontów i modernizacji odcinków sieci tramwajowej lub awarii. W artykule przedstawiono wyniki badań marketingowych dotyczących ogólnej oceny zadowolenia pasażerów z nowego połączenia tramwajowego, estymacji przez pasażerów zmiany czasu realizowania ich podróży, oceny wybranych cech jakości i oceny nowego połączenia i przystanku na estakadzie. Przedstawiono również propozycje wykorzystania przystanku w okresie przebudowy odcinka linii kolejowej pomiędzy stacją Kraków Główny i Kraków Płaszów.
Słowa kluczowe: komunikacja tramwajowa, publiczny transport zbiorowy, ogólny poziom zadowolenia pasażerów, węzeł przesiadkowy.

Wprowadzenie

Sieć komunikacji tramwajowej w Krakowie jest od lat sukcesywnie rozbudowywana. W 2016 roku obejmowała ona 194 km pojedynczego toru. Inwestycje z ostatnich lat stanowiły najczęściej wydłużenie sieci do nowych osiedli mieszkaniowych, jak Mały Płaszów czy Ruczaj. Pierwsza linia ma długość 4,2 km i prowadzi z Ronda Grzegórzeckiego. Została oddana do użytku w listopadzie 2010 roku. Kolejna prowadzi ze skrzyżowania ulic Kapelanka–Brożka w kierunku osiedla Ruczaj i Kampusu UJ. Została ukończona w listopadzie 2012 roku. Obie linie przyczyniły się do znacznego zwiększenia dostępności publicznego transportu zbiorowego w Krakowie, zwłaszcza w obu peryferyjnych osiedlach, znacznie oddalonych od centrum miasta.

Ostatnia inwestycja, ukończona we wrześniu 2015 roku, ma specyficzny charakter. Umożliwiła połączenie pomiędzy istniejącymi fragmentami sieci tramwajowej prowadzącymi wzdłuż ulicy Wielickiej (w kierunku Bieżanowa i Kurdwanowa) a ulicą Lipską (w kierunku Małego Płaszowa). Ma długość 2,19 km. Linia stanowi ostatni, brakujący dotąd, odcinek Krakowskiego Szybkiego Tramwaju (KST). Innowacyjność tej inwestycji polega na stworzeniu połączenia między dwoma obszarami miasta rozdzielonymi linią i stacją kolejową, wybudowaniu najdłuższej w Polsce estakady tramwajowej, która przebiega nad peronami dworca kolejowego Kraków Płaszów oraz zorganizowaniu zintegrowanego węzła przesiadkowego.

Estakada, poza linią tramwajową, posiada ciąg pieszo-rowerowy. Trasa tej linii nie przebiega przez obszar o dużej gęstości zaludnienia lub dużej liczbie miejsc pracy, ale zdecydowanie poprawiła dostępność do węzłowej pasażerskiej stacji kolejowej Kraków Płaszów, a przede wszystkim pozwala na skrócenie czasu przejazdu linii tramwajowych łączących północne i południowe obszary Krakowa oraz na stworzenie alternatywnych tras tramwajowych i zwiększenie niezawodności sieci tramwajowej w południowo-wschodniej części miasta. Chociaż oddanie do użytku tej łącznicy tramwajowej pozwoliło na skrócenie czasu przejazdu linii 50 KST, to jednak z drugiej strony dotychczasowe trasy przebiegu linii 9 i 50, które korzystają z łącznicy, prowadziły ulicami Starowiślną i Grzegórzecką przez obszary położone w centrum Krakowa. Nowe trasy przebiegu obu linii pozwalają na skrócenie czasu przejazdu, ale pozbawiają pasażerów możliwości skorzystania z atrakcyjności (zakupy, kultura, administracja, edukacja) przejazdu przez centrum. Porównanie rozkładowego czasu przejazdu obu linii, przed i po zmianie trasy, wskazuje, że czas ten uległ skróceniu w dniu roboczym w kierunku do centrum o 3–5 minut, a w kierunku z centrum o 5–7 minut. Czas przejazdu obu linii po nowej trasie jest w soboty i niedziele stały w ciągu całej doby, zarówno w godzinach szczytów komunikacyjnych, jak i poza nimi.

W artykule zostały przedstawione propozycje wykorzystania przystanku tramwajowego na estakadzie linii tramwajowej nad peronami stacji Kraków Płaszów, w okresie przebudowy odcinka linii kolejowej pomiędzy stacją Kraków Główny i Kraków Płaszów, oraz wyniki badania ankietowego [1, 2] przeprowadzonego wśród pasażerów korzystających z linii 9 i 50 na ich nowej trasie przejazdu pomiędzy ulicami Wielicką i Lipską. Ankietowani byli pytani m.in. o szacowaną przez nich wielkość skrócenia lub wydłużenia czasu ich podróży spowodowanych nową trasą obu linii, ogólną ocenę zadowolenia z nowego rozwiązania komunikacyjnego, satysfakcję z wybranych cech jakości komunikacji tramwajowej na tej trasie i samej trasy oraz potrzebę wprowadzenia dodatkowych rozwiązań funkcjonalnych na tej trasie.

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2017.

Zintegrowany węzeł przesiadkowy

Idea zintegrowanego rozwoju transportu pasażerskiego znajduje odzwierciedlenie w dokumentach przygotowywanych na różnych szczeblach zarządzania transportem: międzynarodowych, krajowych, regionalnych i lokalnych [3] oraz badaniach podejmowanych w ramach projektów europejskich [4, 5]. Ideą integracji jest wzmocnienie synergii i usuwanie barier [6], tworzenie rozwiązań zapewniających ciągłość podróży w układzie „drzwi do drzwi" [7]. Integracja jest procesem realizowanym w układzie transportu lokalnego (miejskiego) w powiązaniu z systemami o większym zasięgu, uwzględnia łączenie przemieszczeń różnymi środkami transportu [8] i połączone oddziaływanie na różnych płaszczyznach: przestrzennej, budowlanej, organizacyjnej ekonomicznej, finansowej i informacyjnej [9]. Jednym z miejsc, gdzie najwyraźniej i najsilniej obserwowane są przejawy integracji publicznego transportu zbiorowego, są węzły przesiadkowe [10].

Węzły przesiadkowe są zazwyczaj definiowane jako miejsca, gdzie pasażerowie mogą łatwo i wygodnie zmienić środek transportu w czasie swojej podróży. Są istotnym elementem zintegrowanego systemu transportu, zwłaszcza w obszarach zurbanizowanych. Problem właściwego zaprojektowania i usytuowania węzłów przesiadkowych w sieci transportowej miasta i jego przyległego obszaru został rozwijany w wielu projektach finansowanych przez UE (np. projektach MIMIC, PIRATE, GUIDE, LINK, NICHES Plus, CITY-HUB, Sintropher).

Przebieg łącznicy tramwajowej między ulicami Wielicką i Lipską w Krakowie, z wykorzystaniem estakady nad torami kolejowymi na stacji Kraków Płaszów, pozwolił na stworzenie węzła przesiadkowego, który umożliwia korzystanie z miejskiego transportu zbiorowego oraz transportu kolejowego aglomeracyjnego i dalekobieżnego. Istniejąca obecnie pierwsza linia szybkiej kolei aglomeracyjnej z Wieliczki Rynek Kopalnia do przystanku Kraków Lotnisko, po której pociągi kursują co 30 minut w każdym kierunku, i planowane dwie kolejne linie tej kolei z Tarnowa do Krzeszowic oraz ze Skawiny do Miechowa i Sędziszowa będą zwiększały liczbę pasażerów zainteresowanych możliwością kontynuowania podróży środkami transportu miejskiego.

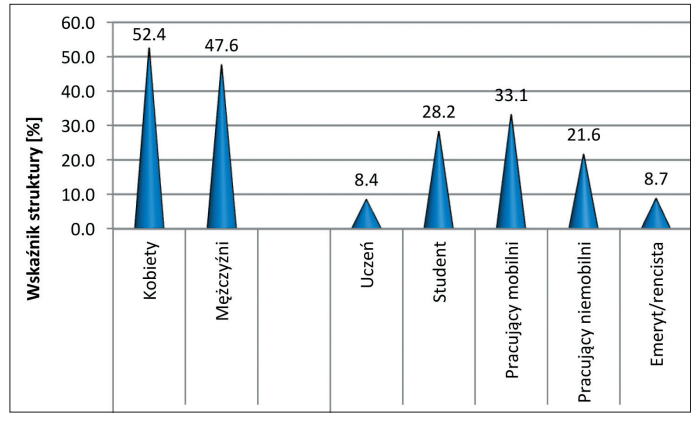
Lokalizacja przystanku tramwajowego na estakadzie, z której schody lub winda prowadzą na perony kolejowe, pozwala na stworzenie warunków, w których zmiana środka transportu odbywa się w warunkach nie stwarzających pasażerom dodatkowych uciążliwości [11]. Polegają one m.in. na maksymalnym skróceniu drogi dojścia pasażerów z przystanku tramwajowego do peronu kolejowego, zapewnieniu właściwej jakości infrastruktury na przystankach i drogach przejścia między nimi, orientacji w przestrzeni węzła przesiadkowego, zapewnieniu bezpieczeństwa osobistego i bezpiecznych przejść między przystankami, dostępności dla osób niepełnosprawnych i z dużymi bagażami. Na przystanku tramwajowym na estakadzie zapewniono takie warunki. Właściwy poziom informacji pasażerskiej pozwala podróżnym czuć się komfortowo i zaplanować szybszy lub wolniejszy sposób przemieszczania między przystankami, dzięki tablicom dynamicznej informacji pasażerskiej wyświetlającymi prognozowany czas odjazdu kolejnego tramwaju. Brakuje natomiast informacji o odjeżdżających pociągach, na co zwracali uwagę ankietowani pasażerowie komunikacji tramwajowej. Przystanek powinien również zostać wyposażony w biletomaty. Sytuację braku pełnej integracji systemu komunikacji miejskiej i kolejowej tłumaczy w pewnym stopniu fakt, że aktualnie linia kolejowa przebiegająca przez stację Kraków Płaszów w kierunku stacji Kraków Główny jest modernizowana i rozbudowywana. Również sama stacja pasażerska i jej perony będą zmieniać swój wygląd i wyposażenie.

Z tego powodu obecnie część pociągów szybkiej kolei aglomeracyjnej jest zastępowana czasową komunikacją autobusową. W kolejnych miesiącach z powodu likwidacji torów na nasypie kolejowym i na rzecz torowiska, na estakadzie można oczekiwać kolejnych zmian i ograniczeń liczby pociągów pomiędzy tymi stacjami. Przejazd autobusu pomiędzy stacjami Kraków Płaszów i Kraków Główny trwa planowo 21 minut, podczas gdy tramwaj linii 50 pokonuje ten odcinek w 14–15 minut (linia przebiega po wydzielonym torowisku). W ten sposób nowa łącznica tramwajowa i przystanek tramwajowy zlokalizowany na estakadzie mogą pozwolić zmniejszyć utrudnienia wynikające z przebudowy linii kolejowej.

Organizacja badań ankietowych

Badania ankietowe zostały przeprowadzone przez studentów kierunku transport Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej w jednym dniu października 2016 roku w godzinach od 7:00 do 19:00. Ankietowani byli pasażerowie przejeżdżający liniami 50 lub 9, na odcinku między przystankami Kabel i Gromadzka lub oczekujący na przystankach komunikacyjnych na tym odcinku. Przeprowadzono 677 ankiet (w tym tylko 29 na przystankach tramwajowych). Ze względu na większą częstotliwość kursowania linii 50 (kursy w godzinach szczytów komunikacyjnych odbywają się co 5 minut, a poza szczytami co 10 minut) pasażerowie tej linii stanowili większość ankietowanych (66%). Kursy linii 9 są zaplanowane w godzinach szczytów komunikacyjnych co 10 minut, a poza szczytami co 20 minut.

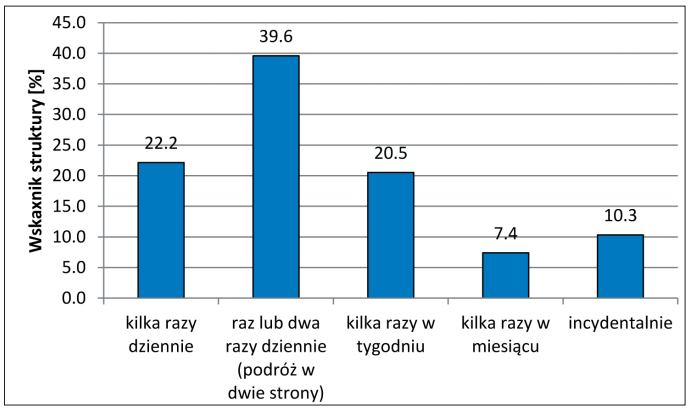
Strukturę ankietowanych ze względu na płeć i status zawodowy przedstawiono na rysunku 1. Wśród ankietowa-



Rys. 1. Struktura ankietowanych pasażerów
Opracowanie własne

nych 52% stanowiły kobiety. Najliczniejszą grupą respondentów byli pracujący (54,7%), w tym 33,1% pracujący mobilni i 21,6% pracujący niemobilni oraz studenci (28,2%).

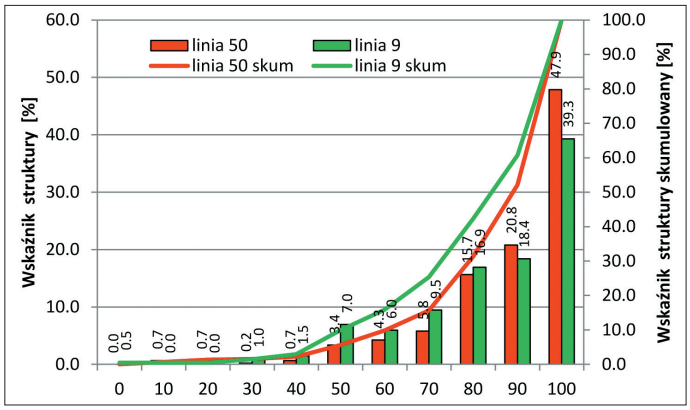
Większość ankietowanych (61,8%) deklaruje wysoką częstość korzystania z linii 50 i 9 (co najmniej raz dziennie), czyli połączenia po nowej trasie przebiegającej przez estakadę (rys. 2). Pozostali respondenci przejeżdżają tą trasą kilka razy w tygodniu czy miesiącu, lub incydentalnie.



Rys. 2. Częstość korzystania z połączenia
Opracowanie własne

Analiza wyników ankietowania

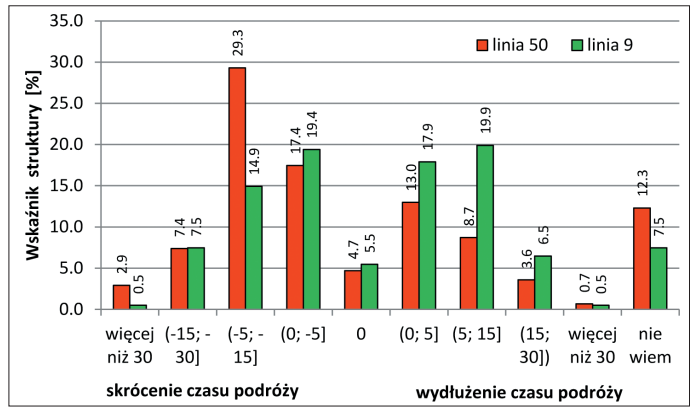
Podczas badania marketingowego pasażerowie byli pytani o ogólny poziom zadowolenia z istniejącego rozwiązania. Zarówno pasażerowie linii 50, jak i linii 9 ocenili połączenie przez estakadę bardzo wysoko. Strukturę procentową otrzymanych odpowiedzi przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Poziom zadowolenia z połączenia
Opracowanie własne

Oceny wyrażające 80 i 90% zadowolenia zadeklarowało powyżej 15% ankietowanych zarówno korzystających z linii 50, jak i 9. Najwięcej osób wskazało 100% zadowolenie. W przypadku pasażerów linii 50 takich osób było ponad 47%, a w przypadku linii 9 ponad 39%. Warto zauważyć, że zadowolenie poniżej 50% deklarowało łącznie zaledwie 2,4% ankietowanych. Średnie zadowolenie wszystkich ankietowanych wynosi 86,5%. Średnie zadowolenie pasażerów linii 50 wynosi 88,0%, czyli jest wyższe niż pasażerów linii 9 (84,0 %). Na poziomie istotności $\alpha=0,05$ należy odrzucić hipotezę o jednakowych średnich wartościach poziomu zadowolenia pasażerów obu linii na rzecz hipotezy, że oceny są statystycznie różne. Pasażerowie linii 50 szczególnie podkreślają większy komfort przejazdu nowoczesnymi wagonami obsługującymi kursy tej linii.

Kolejnym pytaniem była prośba o ocenę, o ile minut został skrócony lub wydłużony czas podróżowania ankietowanego dzięki wybudowaniu nowego odcinka linii tramwajowej. Strukturę odpowiedzi przedstawiono na rysunku 4.

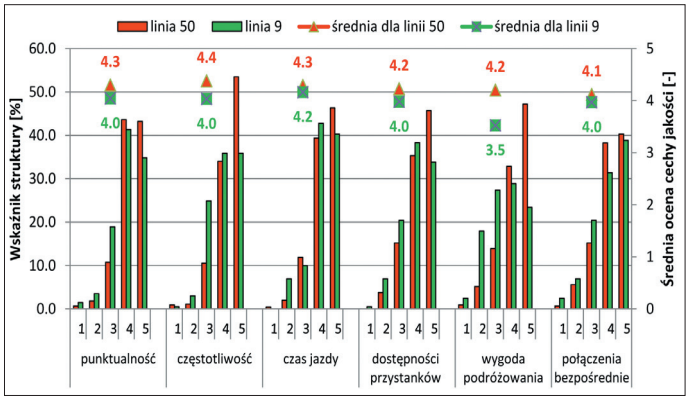


Rys. 4. Estymacja skrócenia/wydłużenia czasu realizacji podróży
Opracowanie własne

Większość pasażerów obu linii zauważa skrócenie czasu trwania ich codziennych podróży. Najczęściej (29,3%) pasażerowie linii 50 oceniają swój zysk czasowy na mieszczący się w przedziale od 5 do 15 minut, natomiast w przypadku linii 9 (19,4%) na jedynie nie więcej niż 5 minut. Jednocześnie jednak duża grupa pasażerów, szczególnie linii 9, ocenia, że ich czas podróży wydłużył się o około 5 minut – 17,9% ankietowanych lub od 5 do 15 minut – 19,9% osób. Około 5% pasażerów linii 50 i nieco ponad 5% pasażerów linii 9 nie zauważa zmiany czasu swoich podróży, natomiast odpowiednio 12,3% i 7,5% ankietowanych nie potafi określić, czy ich czas podróży uległ zmianie. Średni czas zmiany czasu podróży w przypadku pasażerów linii 50 oznacza jego skrócenie o 5,1 minuty, natomiast dla pasażerów linii 9 średni czas uległ wydłużeniu o 0,1 minuty. Średnie wartości zmiany (skrócenia/wydłużenia) czasu podróży pasażerów obu linii są różne i statystycznie istotne (dla poziomu istotności $\alpha=0,05$).

Ankietowani byli również proszeni o ocenę w skali od 1 do 5 wybranych sześciu cech jakości kursowania obu linii tramwajowych: punktualności, częstotliwości, czasu jazdy, dostępności przystanków, wygody podróżowania i bezpośredniości połączeń. Ocena 5 oznaczała, że ankietowani oceniają cechę bardzo dobrze, natomiast ocena 1, że są niezadowoleni z realizacji tej cechy. Strukturę procentową odpowiedzi ankietowanych oraz średnie wartości ocen dla poszczególnych cech jakości przedstawiono na rysunku 5.

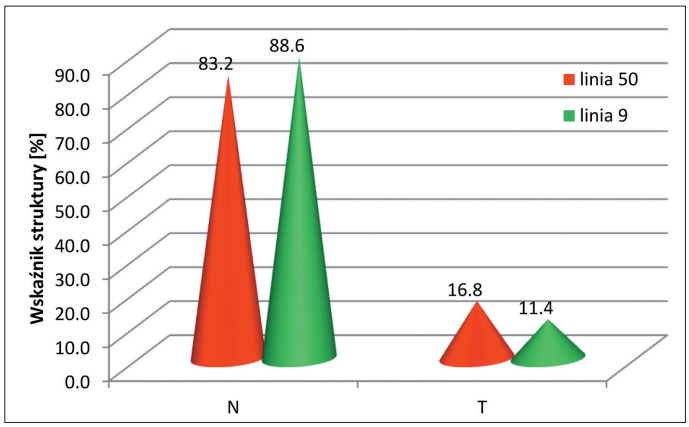
Średnie wartości ocen poszczególnych cech jakości kursowania linii 50 i 9 są różne i statystycznie istotne. Najmniejsze różnice ocen można zauważyć dla cechy „czas jazdy" i „połączenia bezpośrednie", w przypadku których średnie oceny wynoszą 4,3 i 4,2 oraz 4,1 i 4,0 odpowiednio dla linii 50 i 9. Największe różnice dotyczą oceny cechy „częstotliwość kursowania" i „wygoda podróżowania".



Rys. 5. Ocena wybranych cech jakości kursowania linii 50 i 9
Opracowanie własne

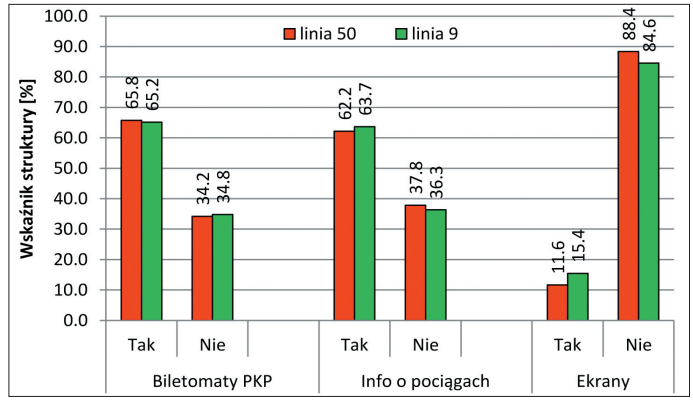
Częstość kursowania linii 50 (w godzinach szczytów komunikacyjnych co 5 minut, poza szczytami co 10 minut) ponad połowa ankietowanych (53,5%) ocenia na bardzo dobrą. Średnia ocena tej cechy wynosi 4,4 dla linii 50, a dla linii 9 o 0,4 mniej. Średnia ocena cechy „wygoda podróżowania" dla linii 50 wynosi 4,2, natomiast dla linii 9 tylko 3,5 (na tej linii wykorzystywane są często tramwaje wysokopodłogowe 105N/Na, nie posiadające klimatyzacji).

Estakada nad torami kolejowymi stacji Kraków Płaszów stwarza wygodne warunki przesiadania się pasażerów z miejskiej komunikacji tramwajowej do pociągów szybkiej komunikacji aglomeracyjnej (SKA) oraz pociągów regionalnych i dalekobieżnych. Z estakady można zejść schodami lub zjechać windą bezpośrednio na perony kolejowe. Ankietowanych zapytano, czy mieli okazję skorzystać z tego rozwiązania (rys. 6). Zaledwie 16,8% pasażerów linii 50 i tylko 11,4 % pasażerów linii 9 przyznało, że wykorzystywali taką możliwość.



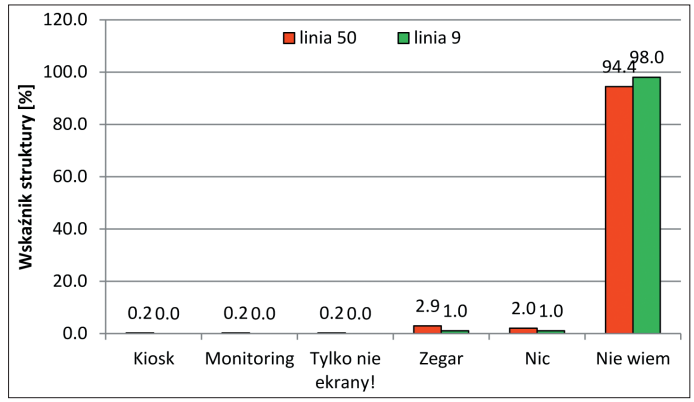
Rys. 6. Czy korzystała Pani/Pan z możliwości przesiadki na pociąg [T/N]
Opracowanie własne

Ankietowani mieli również możliwość oceny wyposażenia technicznego i zaproponowanych rozwiązań komunikcyjnych i architektonicznych estakady. Odpowiedzi ankietowanych z obu linii w tym przypadku były bardzo zbliżone. Ponad 65% osób opowiedziało się za umieszczeniem na przystanku na estakadzie biletomatów kolejowych, a ponad 62% osób tablic z informacjami o pociągach. Zdecydowana większość osób (ponad 84%) jest przeciwna umieszczamiu ekranów dźwiękochłonnych na estakadzie (rys. 7).



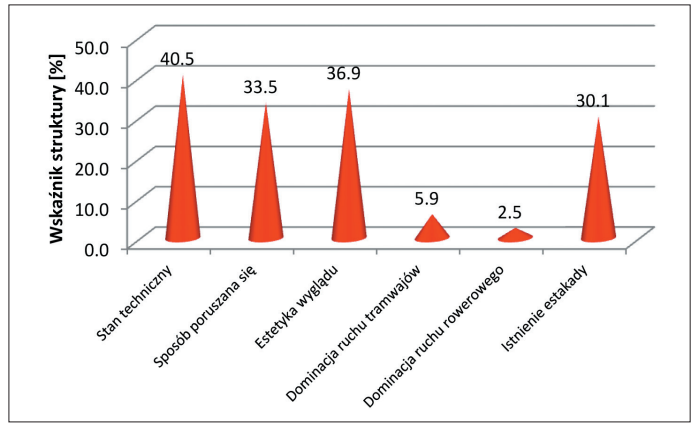
Rys. 7. Elementy wyposażenia, które powinny być umieszczone na przystanku na estakadzie
Opracowanie własne

Większość ankietowanych (odpowiednio 94,4 i 98,0% dla linii 50 i 9) nie widzi potrzeby dokonywania zmian wyposażenia przystanku komunikacji miejskiej na estakadzie – rysunek 8. Dla około 4% osób w obrębie platformy przystanku powinien zostać umieszczony zegar. Natomiast jedną z artykułowanych propozycji jest zdecydowany sprzeciw wobec możliwości umieszczania ekranów dźwiękochłonnych („tylko nie ekrany!").



Rys. 8. Propozycje pasażerów dotyczące poprawy wyposażenia przystanku na estakadzie
Opracowanie własne

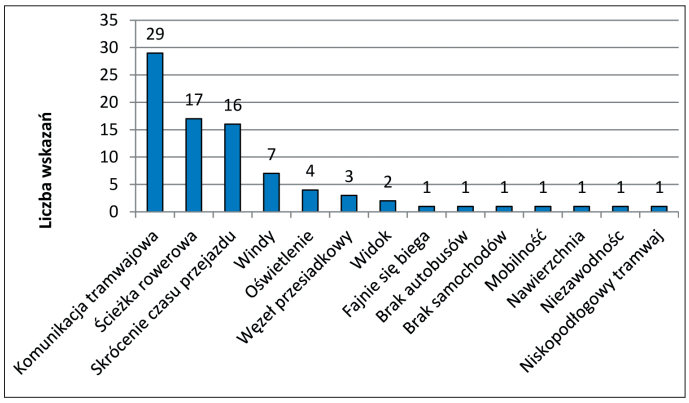
W pytaniu zamkniętym ankietowani byli pytani również o to, co im się najbardziej podoba w istniejącej łącznicy tramwajowej – rysunek 9. Respondenci doceniają stan techniczny estakady (40,5% osób), estetykę wyglądu (36,9% osób), sposób poruszania się estakadą (33,5% osób)



Rys. 9. Co najbardziej się podoba Panu/Pani w istniejącej łącznicy tramwajowej
Opracowanie własne

oraz fakt jej wybudowania (30,1% osób). Zaledwie 5,9% ankietowanych wyraża aprobatę związaną z dominacją na estakadzie ruchu pojazdów komunikacji tramwajowej i 2,5% osób z dominacją ruchu rowerowego.

Wśród innych czynników, które zostały pozytywnie ocenione przez pasażerów linii tramwajowych, najczęściej wskazywano: skrócenie czasu przejazdu, wyposażenie przystanku w windy ułatwiające dotarcie do peronów kolejowych, oświetlenie i fakt stworzenia nowoczesnego węzła przesiadkowego – rysunek 10.



Rys. 10. Inne czynniki zwracające uwagę pasażerów
Opracowanie własne

Podsumowanie

W strefie miejskiej istnieją różne rodzaje mobilności, począwszy od chodzenia i jazdy na rowerze, a kończąc na podróżowaniu transportem zmotoryzowanym (środki transportu publicznego, szybka kolej aglomeracyjna i prywatne samochody). Niektóre z nich są zalecane w miastach, ponieważ oferują z jednej strony usługę transportową o masowej skali, a z drugiej – zmniejszenie zużycia zasobów energetycznych i kosztów transportu oraz zewnętrznych kosztów transportu (zanieczyszczenie, hałas), a nawet pozwalają pieszym i rowerzystom na wzrost dobrego samopoczucia i kondycji fizycznej.

Rozbudowa sieci komunikacji tramwajowej i powiązań między różnymi systemami transportu pasażerskiego mogą uczynić transport publiczny bardziej konkurencyjnym i atrakcyjnym. Zintegrowane węzły przesiadkowe są nie tylko węzłami w sieci transportowej, ale dają podróżnym możliwość transferu między różnymi sposobami mobilności i zapewniają skuteczność systemu. Węzły przesiadkowe są znacznie bardziej skomplikowane niż przystanek tramwajowy lub dworzec kolejowy. Właściwie zaprojektowane i obsługiwane węzły mogą zwiększać wartość dodaną dla pasażerów, wspierać cel zrównoważonego transportu i odgrywać rolę ekonomiczną dla otoczenia i rolę społeczną w odniesieniu do potrzeb związanych z mobilnością w mieście.

Łącznica tramwajowa pomiędzy ulicami Wielicką i Lipską spełnia ważną rolę w systemie miejskiego transportu zbiorowego. W sieci komunikacji tramwajowej stwarza dodatkowe alternatywne połączenie, zwiększa niezawodność funkcjonowania komunikacji tramwajowej i skraca czas trwania kursów linii tramwajowych, które przejeżdżają po tej trasie. Dla pasażerów szczególnie istotny jest zaoszczędzony czas przejazdu podczas realizowania ich codziennych podróży, ale wartością dodatkową jest również walor estetyczny i architektoniczny zaproponowanego rozwiązania i estakady nad torami kolejowymi. Nowy odcinek linii tramwajowej zwiększa dostępność komunikacyjną obszaru znajdującego się na wschód od linii i stacji kolejowej i likwiduje (dla pasażerów komunikacji tramwajowej i pieszych) dotychczasową barierę komunikacyjną między tymi obszarami. Nieoceniona (na obecnym etapie) wydaje się również rola w integrowaniu miejskiego transportu zbiorowego i transportu kolejowego dalekobieżnego, a zwłaszcza lokalnego aglomeracyjnego. Sprawny sposób przesiadania się pasażerów, dzięki lokalizacji przystanku tramwajowego na estakadzie, pomiędzy tymi środkami transportu może przyspieszyć wykonywanie codziennych przemieszczeń mieszkańców Krakowa i obszarów/gmin na południe od miasta. Pozwala również na rozwiązania alternatywne podczas remontów i modernizacji sieci kolejowej (np. przebudowy odcinka Kraków Główny–Kraków Płaszów) lub tramwajowej.

W przeprowadzonych badaniach marketingowych pasażerowie komunikacji tramwajowej docenili nowe innowacyjne rozwiązanie techniczne, nie tylko ze względu na wygląd i formę architektoniczną, ale i na jego funkcjonalność. Wskazali na bardzo wysoki poziom ogólnego zadowolenia (średnio 86,5% i największy udział wskazań określających zadowolenie na poziomie 100%). Ocenili średnie skrócenie czasu ich podróży na około 5 minut dla linii szybkiego tramwaju oraz docenili znaczenie integracji z transportem kolejowym.

Literatura

1. Starowicz W., *Jakość przewozów w miejskim transporcie zbiorowym*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.
2. Bryniarska Z., Starowicz W., *Ocena wskaźnikowa systemów transportu zbiorowego w miastach*, Wydawnictwo Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Krakowie, Kraków 2012.
3. Solecka, K., *Integration of Public Transport in Polish and EU Documents and Examples of Solutions for Integration of Public Transport in Poland and in the World*, Transport Problems, Vol. 6, Issue 4, 2011.
4. PROPOLIS: European Union Research Project: Planning and Research of Policies for Land Use and Transport of Increasing Urban Sustainability, Final Report, Helsinki 2004.
5. PROSPECTS: European Union Research Project: Procedures for Recommending Optimal Sustainable Planning Of European City Transport Systems, Final Report, Leeds 2003.
6. May A.D., Kelly C., Shepherd S., *The Principals of Integration in Urban Transport Strategies,* Transport Policy 13(4), 2006.
7. Janic M., Reggiani A., *Integrated Transport Systems in European Union: An Overview of Some Recent Developments*, Transport Reviews, vol. 21, No 4, 2001.
8. Dydkowski G., *Integracja transportu miejskiego*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2009.
9. *Transport miejski. Ekonomika i organizacja*, pod red. O. Wyszomirskiego, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2008.
10. Bryniarska Z., *Interchanges as a Key Element of Competitive Sustainable Public Transport in Urban Areas, Advanced Solutions of Transport Systems for Growing Mobility, in Advances in Intelligent Systems and Computing*, Volume 631, Springer ISSN 2194-5357 DOI 10.1007/978-3-319-62316-0.
11. Bryniarska Z., *Indicator assessment of selected public transport interchanges in Krakow*, „Logistyka", No 4, 2015.

Projekt i implementacja systemu wspomagania decyzji dla zarządzania kryzysowego transportem miejskim[1, 2]

PIOTR WIŚNIEWSKI
mgr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30,
e-mail: wpiotr@agh.edu.pl

Streszczenie: Miejski transport publiczny narażony jest na wiele czynników wewnętrznych oraz zewnętrznych, które mogą zakłócić jego funkcjonowanie. Sytuacja ta dotyczy szczególnie komunikacji szynowej, która ze względu na konieczność korzystania z rozbudowanej infrastruktury charakteryzuje się mniejszą elastycznością w wyznaczaniu tras. W artykule przedstawiono rozwiązanie wspomagające bieżące zarządzanie komunikacją tramwajową, ze szczególnym uwzględnieniem sytuacji kryzysowych. Prowadzone rozważania obejmują przede wszystkim analizę działania komunikacji miejskiej, dobór odpowiedniej reprezentacji matematycznej wraz z dostosowaniem jej do warunków rzeczywistych, sformułowanie wskaźnika jakości oraz algorytmów poszukiwania rozwiązania, a także utworzenie aplikacji wykorzystującej opisane wcześniej rozwiązania. Zastosowany model formalny sieci oparty został na grafie mieszanym, w którym wierzchołki odpowiadają punktom decyzyjnym, podczas gdy krawędzie reprezentują poszczególne odcinki torów. Ponadto model matematyczny zawiera także wskaźnik jakości wykorzystywany w celu wyznaczenia rekomendowanej trasy alternatywnej oraz zbiór ścieżek zabronionych, które nie mogą zostać wytyczone w rzeczywistych warunkach ze względu na specyfikę układu torowego. Zaprojektowany w ramach prowadzonych prac system wspomagania decyzji został przewidziany jako narzędzie wsparcia dla osób odpowiedzialnych za bieżące utrzymanie ruchu pojazdów transportu publicznego. Proponowana aplikacja zawiera dane modelu zapisane w zestawie plików źródłowych i umożliwia wykorzystanie jednego z czterech algorytmów, które mogą być użyteczne w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej.

Słowa kluczowe: transport szynowy, tramwaje, teoria grafów, wspomaganie decyzji.

Wprowadzenie

Natężenie ruchu drogowego w miastach stale się zwiększa. Jednocześnie coraz wyższy jest poziom społecznej troski o środowisko naturalne. Obydwa te czynniki sprawiają, że komunikacja miejska zyskuje na znaczeniu w kontekście życia codziennego. Sytuacja ta dotyczy szczególnie dużych aglomeracji, w których systemy komunikacyjne są rozbudowane i opierają się na różnych środkach transportu. Poważne wyzwanie dla jednostek odpowiedzialnych za codzienne funkcjonowanie transportu publicznego stanowią różnego rodzaju sytuacje kryzysowe, zależne zarówno od stanu infrastruktury, jak i od czynników losowych. W takich przypadkach zdarza się, że pewien ciąg komunikacyjny zostaje przerwany, w związku z czym wymagana jest interwencja osoby zarządzającej ruchem w postaci awaryjnego rozdysponowania pojazdów aktualnie znajdujących się na trasach. Nieprawidłowe rozwiązanie problemu lub jego brak może doprowadzić do destabilizacji funkcjonowania całego układu komunikacyjnego i w konsekwencji spowodować po stronie przewoźnika znaczące straty finansowe oraz wizerunkowe.

Tematyka artykułu związana jest z kilkoma niezależnymi nurtami badań naukowych. Należą do nich między innymi: analiza funkcjonowania ruchu drogowego, teoria grafów oraz planowanie tras. Przykładem pokrewnego podejścia jest odporne planowanie tras pojazdów samochodowych w ruchu miejskim [1] i jego wykorzystanie w czasie rzeczywistym [2] oraz system planowania i monitorowania w intermodalnym transporcie towarów [3]. Jednym z zaproponowanych rozwiązań w odniesieniu do transportu publicznego jest system zarządzania komunikacją autobusową oparty na procesach stochastycznych [4]. Warto również wspomnieć o klasyfikacji systemów wspomagania decyzji w transporcie, która obejmuje między innymi planowanie rynku, zarządzanie flotą pojazdów oraz konstrukcję rozkładów jazdy [5]. Przykładem pokrewnej pracy z obszaru transportu szynowego jest, oparty na rozmytych sieciach Petriego, system wspomagania decyzji w sytuacji czasowego zamknięcia odcinka torów kolejowych [6]. Rozpatrywano również problem ustalania lokalizacji zajezdni tramwajowych [7], a także kwestię optymalnego rozdysponowania wagonów tramwajowych na zajezdni oraz ich ustawienia w odpowiedniej kolejności do wyjazdu [8–9].

Analiza sytuacji kryzysowych w transporcie miejskim

Zgodnie z encyklopedyczną definicją transport publiczny stanowi zespół czynności związanych z przemieszczaniem osób za pomocą odpowiednich środków, powszechnie dostępny za odpowiednią opłatą [10]. Definicja ta wprawdzie nie odpowiada w stu procentach dzisiejszym realiom, ponieważ w ostatnich latach kilka polskich miast (np. Żory [11]) zdecydowało się na wprowadzenie bezpłatnej komunikacji miejskiej, ale pozostałe sformułowania nie pozostawiają wątpliwości co do przeznaczenia opisywanego rozwiązania.

Zasady organizacji komunikacji miejskiej w Polsce określa ustawa z dnia 16 grudnia 2010 roku o publicznym transporcie zbiorowym. Rozróżniono w niej pojęcie organizatora jako jednostki samorządu terytorialnego zapewnia-

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2017.

[2] Artykuł stanowi podsumowanie wyników pracy magisterskiej przygotowanej pod opieką prof. dr hab. inż. Antoniego Ligęzy, która w Konkursie na najlepszą pracę dyplomową I i II stopnia w dziedzinie transportu dla szkół wyższych Krakowa w roku 2017 uzyskała III nagrodę w grupie tematycznej *Procesy transportowe*.

jącej funkcjonowanie transportu publicznego oraz operatora, którego zadaniem jest przewóz osób na linii komunikacyjnej określonej w umowie z organizatorem [12]. W wielu miastach Polski stosuje się model, zgodnie z którym organizator płaci operatorowi za usługę przewozową na podstawie liczby tzw. wozokilometrów, to znaczy długości tras wyrażonej w kilometrach przemnożonej przez liczbę kursów na tych trasach.

Istnieje wiele czynników, które mogą negatywnie wpłynąć na kursowanie komunikacji miejskiej. Ze względu na swoją specyfikę komunikacja publiczna podatna jest na różnego rodzaju utrudnienia. Autorzy pracy [13] proponują podział sytuacji kryzysowych na cztery grupy, ze względu na czynniki wywołujące zdarzenia:

- system komunikacyjny – przykładami takich sytuacji mogą być problemy natury ekonomicznej i prawnej podmiotu odpowiedzialnego za transport publiczny, a także awarie sieci komputerowych związanych z pobieraniem opłat za przejazdy lub informację pasażerską;
- tabor – do tej grupy zalicza się awarie pojazdów komunikacji miejskiej, przeładowanie taboru w związku z wydarzeniami organizowanymi w mieście oraz wypadki drogowe;
- infrastruktura – tego typu zakłócenia to na przykład krótko- lub długoterminowe zamknięcia odcinków tras, awarie infrastruktury związane z warunkami pogodowymi, przerwy w dostawie energii elektrycznej, blokady tras przez inny pojazd oraz wysokie natężenie ruchu;
- czynnik ludzki – ostatnia grupa zdarzeń zawiera przede wszystkim wszelkiego rodzaju dolegliwości zdrowotne, które mogą zakłócić prowadzenie pojazdów, jak również błędy ludzkie, strajki oraz ataki terrorystyczne.

Ze względu na zakres pracy pominięto sytuacje odnoszące się do sieci komunikacyjnej jako całości. Skupiono się natomiast na zdarzeniach kwalifikujących się do grup 2–4, których efektem jest czasowe wyłączenie z eksploatacji danego odcinka sieci. Przykładem jednej z takich sytuacji jest kolizja dwóch tramwajów, do której doszło w czerwcu 2006 roku w Katowicach-Zawodziu. Po przyjeździe służb kontroli ruchu obydwa wagony zostały odholowane do zajezdni bez pasażerów. Transport rozbitego wagonu przedstawiono na fotografii 1.

Producenci wagonów tramwajowych oraz infrastruktury torowo-sieciowej stosują różnego rodzaju rozwiązania mające na celu zminimalizowanie potencjalnych skutków sytuacji kryzysowej. W przypadku taboru może to być pełna dwukierunkowość (zastosowanie kabin motorniczego na obydwu końcach oraz drzwi po obu stronach wagonu) lub możliwość przejazdu kilku kilometrów na bateriach, bez napięcia z sieci trakcyjnej [14]. Innym rozwiązaniem jest kursujący po jednej szynie tramwaj na gumowych kołach, wyposażony w kierownicę oraz rezerwowy silnik Diesla. Tego rodzaju pojazdy kursują we francuskim mieście Caen

Fot. 1. Wagon nr 732 spychany do zajezdni po kolizji z innym tramwajem, 2006 r.
Źródło: zbiory własne

i w sytuacjach awaryjnych mogą poruszać się niezależnie od szyny prowadzącej [15]. Rozwiązania minimalizujące ryzyko wystąpienia sytuacji kryzysowej w obszarze infrastruktury to przede wszystkim wydzielone torowiska i jak największe odseparowanie linii tramwajowych od ruchu ulicznego. Ciągłość dostaw energii elektrycznej zapewnia się poprzez możliwość zasilania danego odcinka sieci z kilku stacji prostownikowych. Liczba zerwań przewodu jezdnego może być natomiast zminimalizowana w wyniku zastosowania sieci skompensowanej, w której następuje samoczynna regulacja naciągu sieci trakcyjnej.

Analizowana sieć komunikacyjna

Sytuacje kryzysowe mogą stanowić szczególne utrudnienie dla miejskiego transportu szynowego, a zwłaszcza tramwajów, które najczęściej poruszają się w ruchu ulicznym. Przyczynami takiego stanu są między innymi: brak możliwości ominięcia lub wyprzedzenia uszkodzonego pojazdu, brak lub mała liczba torów technicznych (nieużywanych liniowo) w miastach, uzależnienie od ruchu drogowego na skrzyżowaniach lub torowiskach w jezdni oraz zewnętrzne dostawy energii elektrycznej (jedynie nowoczesne wagony tramwajowe umożliwiają przejazd na krótkim odcinku, korzystając z baterii akumulatorów [14]). Do opisu ruchu tramwajowego konieczne jest użycie pojęcia pociągu (niekiedy określanego wozem lub brygadą), które może być opisane w sposób następujący: „Pociąg jest to wagon lub skład wagonów poruszający się zgodnie z rozkładem jazdy lub zgodnie z poleceniami służb kontroli ruchu, na określonej trasie, wykonujący kursy na danej linii bądź przejazdy pozaplanowe".

Mając na uwadze powyższe ograniczenia oraz możliwość obserwacji działania rzeczywistego układu komunikacyjnego, dalszą analizę opisywanego problemu oparto na przykładzie sieci tramwajowej w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym. Jest to największy system tramwajowy w Polsce, obejmujący 13 miast i łącznie 336 km toru pojedynczego [16]. Śląsko-dąbrowska sieć tramwajowa stanowi własność przedsiębiorstwa Tramwaje Śląskie SA i obejmuje cztery zajezdnie: w Będzinie, Bytomiu, Gliwicach oraz Katowicach. W sierpniu 2016 roku Tramwaje Śląskie SA

posiadały łącznie 335 wagonów i uruchamiały w dni robocze 234 pociągi planowe na 29 liniach [17]. Przybliżony zasięg sieci tramwajowej w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym przedstawiono na rysunku 1. Kolorem czerwonym zaznaczono siedzibę spółki, a kolorem niebieskim poszczególne zajezdnie.

Rys. 1. Obszar funkcjonowania komunikacji tramwajowej w GOP
Źródło: opracowanie własne na podstawie Map Google

Cechą charakterystyczną tego systemu komunikacyjnego jest obecność odcinków jednotorowych, po których tramwaje kursują naprzemiennie, w obydwu kierunkach. Ruch na tego typu odcinkach regulowany jest poprzez rozkład jazdy, zgodnie z którym pociągi muszą się mijać w określonym miejscu i czasie, lub poprzez tzw. sygnalizację międzymijankową. Taka budowa sieci ogranicza maksymalną częstotliwość kursowania pociągów i w przypadku zakłóceń może znacząco utrudnić funkcjonowanie komunikacji. Na fotografii 2 przedstawiono początek odcinka jednotorowego – w prawym górnym rogu zdjęcia widoczny jest sygnalizator świetlny zezwalający na wjazd.

Najpopularniejszym typem taboru śląsko-dąbrowskiej sieci tramwajowej są wagony typu 105Na oraz ich liczne modernizacje, które kursują pojedynczo lub w trakcji podwójnej. Skład tego typu wagonów, przejeżdżający przez nieistniejący dziś odcinek jednotorowy w Gliwicach, zilustrowano na fotografii 3a. Najnowocześniejszymi tramwajami w spółce są natomiast wagony typu 2012N produkcji bydgoskiej firmy Pesa, które dostarczono w 2014 roku w ramach programu modernizacji współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej. Jeden z tych wagonów, wykonujący jazdy próbne przed rozpoczęciem służby liniowej, przedstawiono na fotografii 3b.

Fot. 2. Katowice, wjazd na odcinek jednotorowy pl. Alfreda–Karłowicza
Źródło: zbiory własne

Fot. 3. Tabor tramwajowy w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym: a) skład wagonów typu 105Na, b) Pesa 2012N
Źródło: zbiory własne

Ponad 90% taboru tramwajowego spółki Tramwaje Śląskie stanowią wagony jednokierunkowe [17], w związku z tym, w większości przypadków zawracanie pociągu musi odbywać się na pętli lub z wykorzystaniem trójkąta torowego, tj. takiego układu torów, za pomocą którego zmiana kierunku jazdy odbywa się poprzez cofanie. Wadą takiego rozwiązania jest konieczność zabezpieczenia cofania przez osobę uprawnioną (innego motorniczego, kontrolera ruchu itp.) lub wykorzystania tylnego pulpitu manewrowego tramwaju, jeżeli wagon jest w niego wyposażony [18].

Ruchem tramwajowym zarządzają dyspozytorzy, którzy w Tramwajach Śląskich pełnią służbę całodobowo w każdej zajezdni. Ich zadaniem jest utrzymanie prawidłowego (zgodnego z rozkładem jazdy) funkcjonowania komunikacji tramwajowej na terenie podległego im rejonu. W przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej, w pierwszej kolejności powiadamiany jest dyspozytor ruchu odpowiedniego rejonu. W zależności od orientacyjnego czasu usunięcia awarii dyspozytor podejmuje decyzję o wyłączeniu danego odcinka z ruchu. Jeżeli utrudnienie jest chwilowe (np. spowodowane tymczasowym brakiem napięcia w sieci trakcyjnej), to pociągi pozostają na swoich trasach. W przeciwnym przypadku, np. gdy wystąpi wypadek drogowy lub poważne uszkodzenie torowiska, pociągi kierowane są innymi drogami.

Alternatywna trasa przejazdu wybierana jest przez dyspozytora na podstawie poniższych kryteriów:

- jak największe pokrycie z właściwym przebiegiem danej linii,
- czas przejazdu na zmienionej trasie nieprzekraczający znacząco czasu wykonania kursu w rozkładzie jazdy,
- jak najmniej odcinków jednotorowych,
- brak zbędnego postoju na docelowym przystanku końcowym,
- brak możliwości wysłania zbyt wielu pociągów na tę samą trasę ze względu na ograniczoną wydajność podstacji trakcyjnych,
- jak najmniejsze zakłócenia w kursowaniu innych linii.

Powyższe kryteria zostały sformułowane na podstawie obserwacji praktyk stosowanych w przedsiębiorstwie. Nie istnieją jednolite wskaźniki jakości ani procedury pozwalające na wyznaczenie optymalnej trasy alternatywnej w przypadku czasowego wyłączenia z ruchu jednego z odcinków sieci.

Model matematyczny układu komunikacyjnego

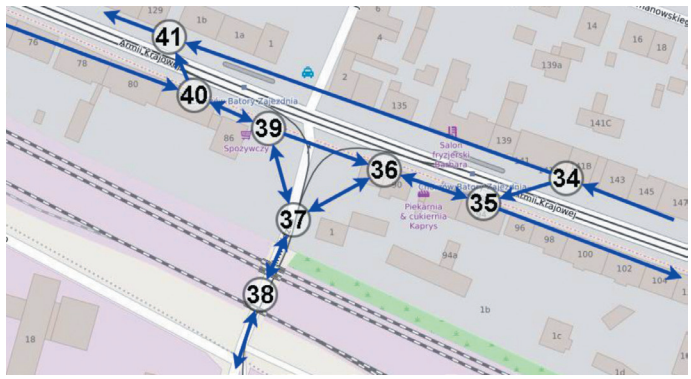
Wykorzystany w tej pracy model matematyczny sieci tramwajowej utworzony w oparciu o graf mieszany opisano szczegółowo w pracy [19]. Graf mieszany łączy cechy grafu skierowanego i nieskierowanego, zawierając dwa rodzaje krawędzi. Stanowi jeden ze sposobów reprezentacji matematycznej rzeczywistego układu drogowego [2] oraz może zostać wykorzystany do opisu układu torów tramwajowych.

Model grafowy sieci tramwajowej w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym utworzono na podstawie schematu linii spółki Tramwaje Śląskie SA [20]. Ze względu na fakt, iż praca dotyczy wyznaczania tras linii komunikacyjnych, pominięto modelowanie układów torowych poszczególnych zajezdni. Budowa modelu składała się z następujących etapów:

1. umieszczenie wierzchołka grafu we wszystkich miejscach, gdzie znajduje się:
   a. rozjazd torowy (rozwidlenie lub złączenie dwóch torów),
   b. mijanka przed wjazdem na odcinek jednotorowy,
   c. przystanek końcowy (miejsce, gdzie istnieje możliwość zmiany kierunku jazdy),
   d. tor postojowy,
   e. przystanek początkowy,
   f. brama wjazdowa lub wyjazdowa zajezdni;
2. połączenie skrajnych punktów odcinków dwukierunkowych krawędziami nieskierowanymi;
3. połączenie pozostałych wierzchołków krawędziami skierowanymi zgodnie z zasadą, że ruch tramwajowy odbywa się prawym torem.

Krawędziom przyporządkowano odległości w kilometrach oraz czasy przejazdu w minutach na podstawie rozkładów jazdy Komunikacyjnego Związku Komunalnego GOP obowiązujących w godzinach 5–23 [21]. W przypadku fragmentów tras dwutorowych łączących wierzchołki w obrębie tego samego przystanku przyjęto długość odcinka i czas przejazdu równe zeru. Zerowe wektory wag przyjęto także dla krawędzi prowadzących do wjazdów na odcinki jednotorowe.

Istotny problem, który pojawił się w trakcie tworzenia modelu matematycznego, stanowiła reprezentacja skrzyżowań tras dwutorowych z odcinkami jednotorowymi. Przykład reprezentacji matematycznej fragmentu sieci z odcinkami jednotorowymi przedstawiono na rysunku 2. Z przedstawionego fragmentu grafu wynika, że istnieje ścieżka przechodząca od strony wschodniej przez wierzchołki 34, 35 i biegnąca z powrotem na wschód. W rzeczywistości przejazd wagonem jednokierunkowym po takiej trasie nie



Rys. 2. Układ torowy okolic zajezdni tramwajowej w Chorzowie Batorym
Źródło: opracowanie własne na podstawie Openstreetmap

jest dopuszczalny, ponieważ wymagałby zmiany kierunku jazdy, która możliwa jest tylko na pętli lub na trójkącie torowym.

W celu wyeliminowania błędu w postaci zmiany kierunku jazdy w miejscu, gdzie nie jest to fizycznie możliwe, należało uzupełnić model o zbiór ścieżek zabronionych. W zbiorze tym umieszczono wszystkie ścieżki składające się z dwóch krawędzi skierowanych, gdy obydwie są incydentne z tym samym punktem końcowym krawędzi nieskierowanej. Uzupełnienie modelu o dodatkowe ograniczenia konieczne było w dwóch kolejnych przypadkach. Pociąg skręcający w lewo, jadąc od wschodu w kierunku południowym lub od południa w kierunku zachodnim, musi skorzystać z krótkiego odcinka trasy dwutorowej eksploatowanego w dwóch kierunkach. Odcinki te nie są jednak jednotorowe, więc zgodnie z przyjętym wcześniej założeniem ich wagi są zerowe. Podobnie jak w poprzednim przypadku, istnieje możliwość wytyczenia w grafie takich ścieżek, które w rzeczywistości nie będą realizowalne ze względu na ograniczenia układu torowego. Pierwszy warunek wyklucza niedozwoloną zmianę kierunku jazdy, jadąc od strony zachodniej przez punkty 40 i 41. W analizowanym przypadku układ torowy nie pozwala także na wytyczenie ścieżek przebiegających przez ciągi wierzchołków: (36,37,39), (37, 39, 36), (39, 36, 37) oraz (39, 37, 36). Rozwiązaniem tego problemu jest dodanie kolejnych elementów do zbioru ścieżek zabronionych, określonych przez następujące warunki:

- wjazd na krawędź nieskierowaną o niezerowym wektorze wag z dowolnej krawędzi, której wagi są różne od zera;
- wjazd na krawędź skierowaną lub o niezerowym wektorze wag, podczas gdy w danym punkcie istnieje krawędź nieskierowana o zerowym wektorze wag.

Podsumowując, ścieżką zabronioną jest ścieżka, której dowolny trzyelementowy pociąg spełnia co najmniej jeden z trzech sformułowanych warunków. Innymi słowy, podczas wyznaczania tras należy przestrzegać następujących zasad:

1. Przejazd z jednego odcinka dwutorowego na drugi nie jest możliwy, jeżeli przebiega przez punkt końcowy odcinka dwukierunkowego;
2. Wjazd na odcinek jednotorowy może się odbywać tylko z odcinka o zerowych wagach;

3. Jeżeli w danym punkcie możliwy jest wjazd na odcinek dwukierunkowy o zerowych wagach, to nie można wjechać na inny odcinek.

Sformułowane założenia pozwoliły na ustalenie zasad wyznaczania tras przebiegających przez odcinki jednotorowe, gdyż zgodnie z warunkiem nr 2 nie jest możliwy bezpośredni przejazd z jednego odcinka jednotorowego na drugi. W tym celu, każde dwa sąsiednie odcinki jednotorowe, pomiędzy którymi istnieje możliwość przejazdu bez zmiany kierunku jazdy, połączono krawędzią nieskierowaną o zerowych wagach. Taka modyfikacja modelu wymagała każdorazowego dodania nowego wierzchołka, który na rysunku 2 oznaczono numerem 38.

Na podstawie definicji Izby Gospodarczej Komunikacji Miejskiej [22] linię tramwajową można określić jako trasę łączącą krańcowe punkty przebiegu pociągów, oznaczoną cyfrowo lub literowo. W utworzonym modelu grafowym odpowiada to ścieżce łączącej dwa wierzchołki reprezentujące przystanki końcowe. W celu identyfikacji przystanków końcowych na zbiorze wierzchołków grafu określono funkcję logiczną przyjmującą wartość 1, gdy dany wierzchołek odpowiada przystankowi końcowemu, oraz 0 w pozostałych przypadkach. W rzeczywistych układach komunikacyjnych przebiegi linii mogą różnić się w zależności od kierunku jazdy oraz kursu (oznaczone tym samym numerem mogą być na przykład zjazdy do zajezdni). W tym celu wprowadzono pojęcie wariantu, które szczegółowo określa przebieg danej trasy. W utworzonym modelu grafowym wariantem linii jest zatem ścieżka łączące dwa wierzchołki odpowiadające przystankom końcowym. Linię tramwajową można natomiast określić jako zbiór wariantów oznaczony określonym numerem.

Pociąg odpowiada pojazdowi poruszającemu się w sieci tramwajowej. Pojęcie to szczegółowo wyjaśnia definicja przedstawiona w poprzednim rozdziale. Podczas badań nad opracowaniem modelu skupiono się na pociągach planowych, to znaczy takich, które kursują na określonych liniach według przygotowanego wcześniej rozkładu jazdy. W opisywanym modelu pociąg planowy określają następujące parametry:

- numer pociągu – liczba, w przypadku Tramwajów Śląskich składająca się zazwyczaj z numeru linii i numeru kolejnego [17] – przykładowo, pierwszy pociąg na linii 13 ma numer 131;
- typ taboru – określa liczbę i rodzaj wagonów;
- rozkład jazdy – zawiera godziny odjazdów z przystanków początkowych; może być przedstawiony jako zbiór par (t_d, w_i), gdzie t_d jest czasem odjazdu, a w_i odpowiednim wariantem linii określonej przez numer pociągu.

Typ taboru obsługującego dany pociąg pozwala na określenie jego długości, która służy do określenia liczby pociągów mieszczących się w danym punkcie. Liczba ta nie może przekroczyć maksymalnej pojemności wierzchołka.

Metoda szukania rozwiązań

W przypadku zaistnienia sytuacji kryzysowej może zajść potrzeba czasowego wyłączenia danego odcinka z sieci. Odpowiada to czasowemu usunięciu jednej lub większej liczby krawędzi grafu. W tej sytuacji pociągi, których trasa zawierała zablokowany odcinek, muszą zostać skierowane na trasy alternatywne. Zadanie wyznaczenia trasy polega na znalezieniu odpowiedniego punktu docelowego oraz ścieżki do tego punktu, a następnie przedstawienia propozycji trasy powrotnej do jednego z przystanków końcowych, który jest osiągalny.

W pierwszej kolejności należy określić krawędź odpowiadającą zablokowanemu odcinkowi oraz czas wstrzymania ruchu, który stanowi jednocześnie czas rozpoczęcia poszukiwania. Analiza funkcjonowania sieci w sytuacji kryzysowej prowadzona jest dla określonego dnia, dlatego wystarczające jest, aby czas wyrażany był z dokładnością do minuty, licząc od godziny 0:00 tego dnia. Zakładając, że lokalizacja pociągu jest znana, w kolejnym kroku należy wyznaczyć podścieżkę znalezionego wariantu, rozpoczynającą się w najbliższym punkcie decyzyjnym. Wyznaczenie trasy alternatywnej jest konieczne, jeżeli zablokowany odcinek należy do aktualnego wariantu. Sformułowano wskaźnik jakości, który określa podobieństwo dwóch ścieżek i jest określony wzorem:

$$Q(p_0, p_a, p_c, v_a) = \frac{d(p_c) + \varphi(v_a)}{d(p_0) - d(p_a)}$$

gdzie:

- p_0 jest trasą pierwotną ujętą w rozkładzie jazdy,
- p_a jest wyznaczoną trasą alternatywną,
- p_c jest częścią wspólną ścieżek p_0 i p_a,
- v_a jest punktem końcowym ścieżki p_a,
- $d(p)$ określa długość ścieżki p,
- $\varphi(v)$ przyjmuje wartość 1 gdy v jest równy punktowi końcowemu ścieżki p_0 i 0 w przeciwnym przypadku.

Ze względu na fakt istnienia zbioru ścieżek zabronionych nie jest możliwe bezpośrednie zastosowanie jednego z dostępnych algorytmów wyznaczania ścieżek w grafie. Jednym z dostępnych rozwiązań jest zastosowanie zmodyfikowanego algorytmu Dijkstry, który wyklucza ścieżki zabronione podczas wyszukiwania. Na podstawie pracy [23] sformułowano algorytm wyznaczający najkrótszą trasę przejazdu pomiędzy dwoma punktami sieci tramwajowej. Eliminacja ścieżek zabronionych odbywa się poprzez nadawanie określonym wierzchołkom nieskończonych cech, jeżeli prowadzi do nich ścieżka zabroniona.

Wyznaczenie proponowanej trasy alternatywnej polega na usunięciu zablokowanej krawędzi z modelu sieci. Następnie dla każdego wierzchołka określonego jako przystanek końcowy, należy postępować w następujący sposób:

- przyjąć $Q_{max} = 0$;
- wyznaczyć ścieżkę do v_{ti} o najmniejszej długości;
- obliczyć czas przejazdu do v_{ti} z uwzględnieniem oczekiwania na wolny odcinek jednotorowy;

- jeżeli po przyjeździe do v_{ti} przekroczona zostanie dopuszczalna pojemność, wybrać następny wierzchołek i przejść do punktu 1;
- wyznaczyć wskaźnik jakości Q dla wygenerowanej ścieżki:
  - jeżeli $Q > Q_{max}$, oznaczyć aktualną ścieżkę jako p_a i przyjąć $Q_{max} = Q$,
  - jeżeli $Q = Q_{max}$ należy wybrać ścieżkę o mniejszej różnicy długości w porównaniu z trasą podstawową lub ścieżkę, na której końcu znajduje się mniej pociągów;
- zalecana trasa to p_a.

Po wyznaczeniu rekomendowanej trasy alternatywnej wyznaczana jest zalecana trasa powrotna. Jako jej początek przyjmuje się punkt końcowy trasy oraz czas przyjazdu do tego punktu. Przy wyznaczaniu trasy powrotnej uwzględnia się czas oczekiwania na opuszczenie przystanku końcowego (jeżeli jest zajmowany przez inne pociągi) oraz najbliższy osiągalny planowy odjazd dla danego pociągu.

System wspomagania decyzji

Zadaniem zaprojektowanej aplikacji jest wsparcie dyspozytora w procesie zarządzania ruchem tramwajowym w czasie występowania przerw w ruchu spowodowanych sytuacjami kryzysowymi. Przewidziano jednego użytkownika aplikacji, który korzysta z niej na swoim stanowisku pracy, oraz następujące scenariusze użycia:

- wyświetlanie informacji o sieci: parametry punktów decyzyjnych i odcinków,
- lokalizacja pociągów na trasach,
- wyznaczanie alternatywnej trasy przejazdu danego pociągu przy wystąpieniu zakłócenia na określonym odcinku,
- powrót danego pociągu do planowego kursowania.

Wejściami programu są dane wpisane przez użytkownika oraz pliki zawierające model sieci tramwajowej. Przyjęto założenie, że model sieci wgrywany jest do systemu z grupy plików źródłowych podczas jego uruchomienia. Projektowany system napisano w powszechnie stosowanym języku Java, z wykorzystaniem środowiska IntelliJ IDEA 14.1.1 oraz pakietu Java SDK 1.8. Do wykonania interfejsu graficznego posłużyła biblioteka Java Swing. Do reprezentacji modelu sieci wykorzystano bibliotekę JUNG (*Java Universal Network/Graph Framework*) [24], dedykowaną do wykonywania operacji na grafach. Prosty interfejs graficzny aplikacji składa się z okien dialogowych i wyświetla wyniki zapytań w postaci tekstu. Zgodnie z założeniem użytkownik programu cechuje się dobrą znajomością danego układu komunikacyjnego. Można zatem przypuszczać, że wizualizacja procesu wyznaczania trasy alternatywnej nie poprawiłaby użyteczności sytemu, a jedynie wpłynęłaby negatywnie na czas wykonywania algorytmu.

Informacje o modelu matematycznym sieci tramwajowej przechowywane są w czterech plikach CSV, z których każdy odpowiada za tworzenie obiektów określonej klasy. W celu prawidłowego działania aplikacji niezbędne jest zdefiniowanie poniższych plików:

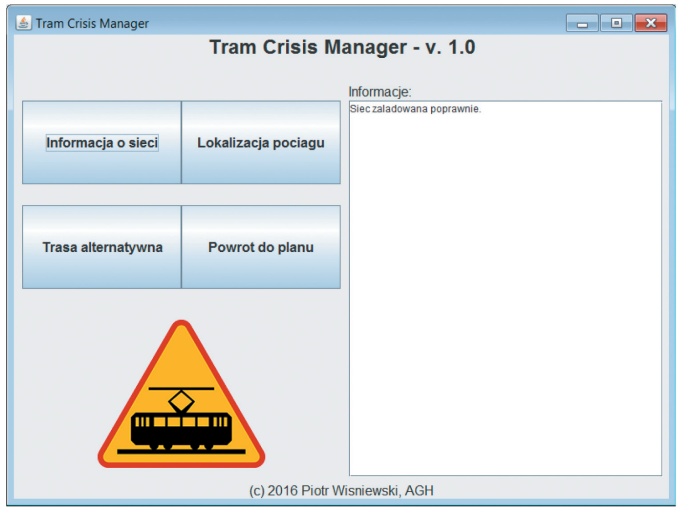
- plik *vertices.csv* przechowuje informacje o wierzchołkach grafu,
- plik *edges.csv* przechowuje informacje o krawędziach,
- plik *lines.csv* przechowuje informacje o liniach tramwajowych,
- plik *tramcars.csv* przechowuje informacje o pociągach wraz z ich rozkładami jazdy.

Pierwszy wiersz każdego z plików źródłowych stanowi objaśnienie wykorzystywanych kolumn i jest pomijany podczas ładowania danych do systemu. Fragment pliku *lines.csv*, przedstawiający zapis linii 0 oraz jej czterech wariantów, przedstawiono na rysunku 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	ID	Variant	Description	Vertices...								
2	0	0	RKT - Pl. Wolnosci	702	704	709	6001	6003	6012	6005		
3	0	1	Pl. Wolnosci - Stadion	6005	6013	6004	6019	6021	6023	6025	6027	6029
4	0	2	Stadion - Pl. Wolnosci	6029	6030	6028	6024	6022	6020	6003	6012	6005
5	0	9	Pl. Wolnosci - RKT	6005	6013	6004	6002	710	703	701		

Rys. 3. Plik źródłowy zawierający definicje linii, otwarty w edytorze arkuszy kalkulacyjnych

Po uruchomieniu pojawia się główne okno programu oraz komunikat o poprawnym załadowaniu modelu sieci (rys. 4). Wywołanie określonej funkcji odbywa się poprzez naciśnięcie odpowiedniego przycisku.

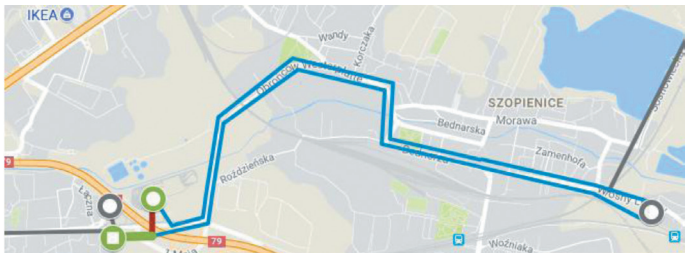


Rys. 4. Ekran początkowy aplikacji uruchomionej w systemie Windows

Najważniejszą funkcję programu, którą jest wyznaczanie alternatywnej trasy przejazdu (techniczne aspekty aplikacji, jak i jej pozostałe funkcje opisano szerzej w pracy [25]), uruchamia się poprzez naciśnięcie przycisku *Trasa alternatywna*. Użytkownik pytany jest o czas, numer pociągu, dla którego trasa jest wyznaczana, oraz numer zablokowanego odcinka. W odpowiedzi otrzymuje przebieg proponowanej trasy, jej długość oraz przewidywany rzeczywisty czas przejazdu, obliczony z uwzględnieniem pozostałych pociągów kursujących na tej trasie. Następnie przedstawiana jest propozycja kolejnego kursu, zakładająca powrót na stałą trasę. Czas rozpoczęcia tego kursu jest równy czasowi przyjazdu na dany przystanek końcowy (jeżeli wybrana

krańcówka jest pusta) lub odjazdowi ostatniego pociągu, który odbywał wcześniej postój na tym przystanku.

Wygenerowana trasa dowodzi, że istnieje możliwość dojazdu do punktu docelowego z wykorzystaniem innej ścieżki. Wynik działania algorytmu ilustruje rysunek 5. Kolorem zielonym oznaczono trasę podstawową: kwadrat oznacza przystanek początkowy (Zawodzie Zajezdnia), kółko oznacza przystanek końcowy (Zawodzie Zajezdnia Dysp.). Kolorem czerwonym zaznaczono odcinek wyłączony z ruchu, a kolorem niebieskim wygenerowana trasę. Pozostałe trasy i przystanki końcowe opisano kolorem szarym.



Rys. 5. Wygenerowana trasa alternatywna dla pociągu 01
Źródło: opracowanie własne na podstawie map Google

Podsumowanie

W artykule zaproponowano rozwiązanie, które pozwala na usprawnienie pracy osób nadzorujących ruch tramwajów. Analiza problemu przeprowadzona została w oparciu o sieć tramwajową Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, która jest największym tego typu systemem w Polsce oraz jednym z najbardziej złożonych ze względu na dużą liczbę odcinków jednotorowych. Wykonany model matematyczny układu komunikacyjnego oraz sformułowane zasady jego tworzenia pozwalają na przedstawienie za pomocą grafu dowolnej sieci tramwajowej, zawierającej zarówno trasy dwutorowe, jak i jednotorowe z mijankami. Korzystanie z zaproponowanej aplikacji możliwe jest na różnych systemach operacyjnych, bez konieczności stosowania dodatkowego sprzętu. Jej zastosowanie w praktyce pozwala na szybsze niż dotychczas reagowanie na występujące sytuacje kryzysowe. Wyznaczanie awaryjnych tras przejazdu w oparciu o jednolite kryteria może doprowadzić do lepszego wykorzystania zasobów przedsiębiorstwa oraz uniknięcia znaczących strat finansowych po stronie przewoźnika. W ramach przyszłych prac planowane jest dodanie możliwości symulacyjnego wyznaczania wag dla poszczególnych kryteriów wyboru trasy alternatywnej oraz rozszerzenie aplikacji o możliwość wyboru jednej z kilku sugerowanych tras.

Literatura

1. Ernst S., Ligęza A., *A rule-based approach to robust granular planning*, "International Multiconference on Computer Science and Information Technology", Wisła 2008.
2. Ernst S., *Artificial Intelligence Techniques in Real-Time Robust Route Planning*, praca doktorska, AGH, Kraków 2009.
3. Funk P., Vierke G., Bürckert H.J., *An Intercompany Dispatch Support System for Intermodal Transport Chains*, "33rd Hawaii International Conference on System Sciences", Maui 2000.
4. Adamski A., *DISCON: Public Transport Dispatching Robust Control*, "EWGT2013 – 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation", Porto 2014.
5. Żak J., *Decision Support Systems in Transportation*, "Handbook on Decision Making", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2010.
6. Fay A., *A Fuzzy Petri Net approach to decision-making in case of railway track closures*, "IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference", Vancouver 2001.
7. Sawicki P., Kupka P., *Ustalanie lokalizacji zajezdni tramwajowej w systemie komunikacji miejskiej z zastosowaniem metody wspomagania decyzji*, „Transport Miejski i Regionalny", 2016, nr 6.
8. Blasum U. et al., *Scheduling trams in the morning*, "Mathematical Methods of Operations Research", 1999, no 49(1).
9. Winter T., Zimmermann U.T., *Real-time dispatch of trams in storage yards*, "Annals of Operations Research", 2000, no 96(1).
10. Wielka Encyklopedia PWN – hasło: transport, tom 27, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
11. *Żory – Bezpłatna Komunikacja Miejska*, http:// zory.trasownik.net/ (dostęp 09.07.2016).
12. Kruszyna M., *Niektóre aspekty nowej ustawy o publicznym transporcie zbiorowym*, „Przegląd Komunikacyjny", 2011, nr 01–02.
13. Drdla P., Bulíček J., *Crisis Situations in Urban Public Transport* "Perner's Contacts", 2012, no VII(4).
14. *Transport szynowy – niezależna strona informacyjna*, http://www.transportszynowy.pl/ (dostęp: 09.07.2016).
15. *Innovative Technologies for Light Rail and Tram: A European reference resource*, University College London, http://www.polisnetwork.eu/eu-projects/sintropher/ (dostęp: 12.10.2016).
16. Drogoś J., *Charakterystyka sieci tramwajowej Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego*, „Tramwaje w Polsce", Księży Młyn, Łódź 2013.
17. *Wojewódzki Przegląd Komunikacyjny*, http://wpk.katowice.pl/ (dostęp 12.08.2016).
18. Haładyj T., *Zwiększenie elastyczności i poprawa niezawodności sieci tramwajowej w Częstochowie. Studium funkcjonalno-przestrzenne urządzenia miejsca do zawracania tramwajów w centrum miasta*, Częstochowski Klub Miłośników Komunikacji Miejskiej, Częstochowa 2013.
19. Wiśniewski P., Ligęza A., *An Approach to Robust Urban Transport Management. Mixed Graph-Based Model for Decision Support*, „International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing", Zakopane 2017.
20. *Schemat linii tramwajowych*, Tramwaje Śląskie SA, http://www.tram- silesia.pl/www/index.php/26252/rr7472015/ (dostęp 21.12.2015).
21. *System Informacji Pasażerskiej*, Komunikacyjny Związek Komunalny GOP, http://rozklady.kzkgop.pl (dostęp 12.08.2016).
22. *Komunikacja w liczbach. Objaśnienia wybranych definicji*, Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej, http:// ssl.igkm.com.pl/ ankieta/ definicje.pdf (dostęp: 12.08.2016).
23. Jaworski J., Palka Z., Szymański J., *Matematyka dyskretna dla informatyków. Część I: Elementy kombinatoryki*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2007.
24. *JUNG – Java Universal Network/Graph Framework*, http://jung.sourceforge.net/ (dostęp: 12.08.2016).
25. Wiśniewski P., Kluza K., Ligęza A., *Decision Support System for Robust Urban Transport Management*, "2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems", Prague 2017.

KATARZYNA SOLECKA
dr inż., Politechnika Krakowska,
Katedra Systemów Transportowych,
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków,
e-mai: ksolecka@pk.edu.pl
DAMIAN MADERAK
mgr inż., absolwent Politechniki
Krakowskiej, kierunek Transport
e-mail: damian.maderak39@wp.pl

Ocena miejskiego systemu transportu publicznego w Krakowie przez osoby starsze[1]

Streszczenie: Artykuł dotyczy oceny funkcjonowania systemu miejskiego transportu publicznego w Krakowie przez osoby starsze. Osoby starsze odgrywają coraz większą rolę w społeczeństwie. W związku z tym pojawia się potrzeba wprowadzenia zmian i udogodnień w różnych sferach życia w celu zaspokojenia ich podstawowych potrzeb, związanych z ich funkcjonowaniem w miastach i aglomeracjach. Osoby starsze częściej podróżują transportem publicznym, ponieważ ich stan zdrowia zmniejsza predyspozycje do kierowania pojazdami. Transport publiczny często jest jedynym ze środków transportu, z którego mogą oni korzystać. Aby transport publiczny działał dobrze musi spełniać pewne wymogi zarówno w zakresie wyposażenia samych środków transportu, jak i zakresie infrastruktury. Zadaniem zarządców i organizatorów transportu jest zatem pomóc tej grupie osób w realizacji ich podstawowych potrzeb z zakresu podróży transportem publicznym. W celu poznania oczekiwań osób starszych w odniesieniu do funkcjonowania transportu publicznego, poznania ich stopnia zadowolenia i satysfakcji z obecnych usług transportu publicznego, przeprowadzono w Krakowie badania ankietowe. Badania ankietowe przeprowadzono wśród osób starszych na wybranych przystankach autobusowych i tramwajowych w Krakowie. W artykule przedstawiono szczegółową analizę uzyskanych wyników badań ankietowych. Na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano zmiany i rozwiązania, jakie powinno się wprowadzić, aby transport publiczny był bardziej przyjazny dla osób starszych. Wyniki badań wskazują pewien kierunek działania, jaki należy podjąć, aby zachęcić osoby starsze do podróży transportem publicznym. Ponadto w artykule poruszono kwestie starości i starzenia się społeczeństwa w Polsce, Małopolsce i Krakowie.
Słowa kluczowe: osoby starsze, osoby niepełnosprawne, miejski transport publiczny.

Wprowadzenie

W obecnych czasach obserwujemy starzenie się społeczeństwa, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu udziału osób starszych w życiu społecznym. Osoby starsze odgrywają coraz większą rolę w społeczeństwie. W związku z tym pojawia się potrzeba wprowadzenia zmian i udogodnień w różnych sferach życia w celu zaspokojenia ich podstawowych potrzeb związanych z funkcjonowaniem w miastach i aglomeracjach. Starzenie się związane jest ze stopniowym spadkiem sprawności fizycznej, wzrostem częstotliwości występowania niepełnosprawności. Jednak wiele osób starszych prowadzi ciągle aktywny tryb życia, co wiąże się z potrzebą częstego przemieszczania się m.in. z wykorzystaniem transportu publicznego. Zadaniem zarządców i organizatorów transportu jest zatem pomoc tej grupie osób w realizacji ich potrzeb. Osobom młodym, w pełni sprawnym fizycznie, czasami trudno jest określić wszystkie czynniki mające wpływ na poprawę komfortu podróży transportem publicznym z punktu widzenia osób starszych. Istotnym jest przeprowadzanie okresowej oceny funkcjonowania sytemu transportu publicznego przez samych zainteresowanych. Najprostszą metodą, aby poznać potrzeby osób starszych, jest wywiad lub badanie ankietowe.

Starzenie się społeczeństwa a transport publiczny

Starość nie jest terminem jednoznacznym. Różne źródła [1, 2, 3, 4, 5] podają odmienne definicje tego pojęcia. Według Bień J., Cichoń K. i inni [1] jest to okres występujący najpóźniej w rozwoju życia człowieka, w którym następuje wiele zmian regresywnych. Dolną granicę wieku, w którym człowiek osiąga starość dostępne źródła podają różnie. W wielu klasyfikacjach przyjmuje się 60 lat, a w innych nawet 75. Erikson [3] definiuje starość jako ostatni etap życia, który zaczyna się w wieku 60-65 lat. Należy zwrócić uwagę, że podział starości zmienia się wraz z wydłużeniem życia oraz poprawą jego jakości. W literaturze anglosaskiej [2] starość została podzielona na trzy okresy:

- młodzi starzy (young old) – 60/65–74 lata,
- starzy starzy (old old) – 75–84 lata,
- najstarsi starzy (the oldest old) – ponad 85 lat i więcej.

Starzenie się jako zjawisko dotyczące całego społeczeństwa danego kraju polega na wzroście udziału w populacji osób starszych. Zwane jest starzeniem demograficznym. Wzrost udziału ludzi starszych jest spowodowany kilkoma procesami, z których najistotniejszymi są obniżanie się liczby urodzeń oraz wydłużanie trwania życia. Poziom starości populacji określany jest najczęściej na podstawie udziału osób starszych w populacji. Nazywa się to współczynnikiem starości [2]. Do określenia procesu starzenia demograficznego wykorzystuje się także inne miary, takie jak [2]:

- wskaźnik starości, czyli liczba osób w wieku 65 lat i więcej przypadająca na 100 osób w wieku poniżej 15 lat;
- indeks starości, czyli stosunek liczby seniorów (65 lat i więcej) do łącznej liczby ludzi w wieku 0–19 lat;
- relacja odwrotna, czyli stosunek liczby dzieci do liczby seniorów. Ta statystyka wskazuje ile przypada wnuków na 100 dziadków;
- wskaźnik natężenia, czyli stosunek liczby seniorów do liczby ludzi dorosłych,

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2017. Wkład autorów w publikację: K. Solecka 40%, D. Maderak 60%.

- współczynnik wsparcia, określający potencjał opiekuńczy, czyli możliwości udzielenia wsparcia osobie starszej przez rodzinę, rozpatrywany w dwóch wariantach:
  - współczynnik potencjalnego wsparcia, który określa stosunek osób w wieku 15–64 lat do liczby osób w wieku 65 i więcej lat;
  - współczynnik wsparcia rodziców, czyli liczba osób w wieku 85 i więcej przypadająca na 100 osób w wieku 50–64 lat.
- współczynnik potencjału pielęgnacyjnego, czyli stosunek liczby kobiet w wieku 45–64 lat do liczby osób w wieku 80 i więcej lat.

Badania demograficzne wskazują, że największy wpływ na poziom starzenia się społeczeństwa ma natężenie urodzeń [5]. Od ponad 20 lat w Polsce notujemy spadek liczby urodzeń, który powoduje zmniejszenie udziału grup wiekowych ludzi młodych, co prowadzi do zwiększenia średniego wieku społeczeństwa [4]. W 2001 roku w Polsce było około 5,6 mln ludzi w wieku poprodukcyjnym. Liczba ta według prognoz ma się zwiększyć w roku 2030 do 9,6 mln. W województwie małopolskim liczba ludności w 2015 roku to 3,37 mln ludzi, co daje 4 miejsce w kraju [6]. W porównaniu do lat poprzednich liczba ludności województwa zwiększyła się. Liczba mężczyzn w roku 2015 wyniosła 1,64 mln, a kobiet 1,74 mln.

Miasto Kraków, zgodnie z danymi statystycznymi [7], w 2015 roku zamieszkane było przez 761 069 osób (z czego 53,4% stanowiły kobiety, a 46,6% mężczyźni). Grupa osób starszych (w wieku od 65 lat) wynosi 137 829 osób, co stanowi 18,1% ogółu ludności. Zgodnie z prognozami GUS w 2030 r. w Krakowie będzie mieszkało 749 307 osób, w tym 53,5% ludności stanowić będą kobiety i 46,5% – mężczyźni. Oznacza to, że prognozuje się spadek liczby ludności o około 1,5% na przestrzeni 15 lat. Udział liczby osób starszych tj. w wieku 65 lat i więcej, wzrosnąć ma do poziomu 23,2%.

Przez wiele wieków ludzie kierowali się przekonaniem, że wygodniej dla nich jest mieszkać na starość w miastach, jak najbliżej centrów. Takie życie dla osób starszych było korzystne, ponieważ mieli oni łatwiejszy dostęp do miejsc, do których musieli uczęszczać, takich jak np. sklepy, szpitale, urzędy. Natomiast w dzisiejszych czasach ludzie wolą opuścić miasto, szczególnie w starszym wieku, aby starość spędzić bliżej natury z dala od miejskiego zgiełku. Niestety osiedlanie się na obrzeżach miast powoduje problemy dla osób starszych nawet w korzystaniu z podstawowych usług. Osoby starsze, zwłaszcza mieszkający w rejonach podmiejskich, nierzadko rezygnują z aktywności i mobilności ze względu na niesprzyjające warunki transportowe. W związku z powyższymi problemami współczesne miasta podejmują próbę odnowy [8]. Jest ona narzędziem polityki i planowania przestrzennego. Ma na celu poprawę funkcjonowania i dostosowanie miast do potrzeb wszystkich mieszkańców, ze szczególnym naciskiem na potrzeby osób starszych.

Osoby starsze, które przestają mieć możliwość prowadzenia własnego samochodu ze względu na swój stan zdrowia i związane z tym ograniczenia mobilnościowe, bardzo często rezygnują z podróży lub je ograniczają. Głównym powodem takiej decyzji jest uciążliwość związana z planowaniem procesu podróży oraz konieczności pokonywania barier w dostępie do transportu. Problem zapewniania dostępności transportu publicznego dla osób starszych jest bardzo skomplikowany. Planowanie podróży powinno obejmować całą podróż, a nie tylko jej część. Istotne jest udzielenie kompleksowej i adekwatnej do potrzeb informacji pasażerskiej, tak aby możliwe było całościowe i kompleksowe zaplanowanie podróży. Organizatorzy transportu publicznego powinni jak najlepiej dostosować funkcjonowanie transportu publicznego do osób starszych, w związku z tym niezbędne jest przekazywanie kompletnej informacji o potrzebach osób starszych (np. udostępnianie wyników z badań i wywiadów przeprowadzanych w tej grupie osób), osobom projektującym i zarządzającym systemami transportu publicznego. Takie działania dają możliwość właściwego zaplanowania funkcjonowania transportu publicznego, uwzględniając oczekiwania osób starszych.

Udogodnienia dla osób starszych w miejskim transporcie publicznym można rozważać pod kątem następujących elementów: tabor, infrastruktura przystankowa, dostępność informacji i oznakowanie przystanków, taryfa przewozowa i dostępność biletów, rola kierowcy w podróży osób starszych. Szczegółowy opis stosowanych rozwiązań poprawiających dostępność transportu publicznego pod kątem osób starszych, wchodzących w skład powyżej wymienionych elementów, zostały przedstawione w pracy Maderaka D.[9]. W dalszej części artykułu podano wyniki badań ankietowych przeprowadzonych wśród osób starszych, dotyczących oceny funkcjonowania transportu publicznego w Krakowie [9].

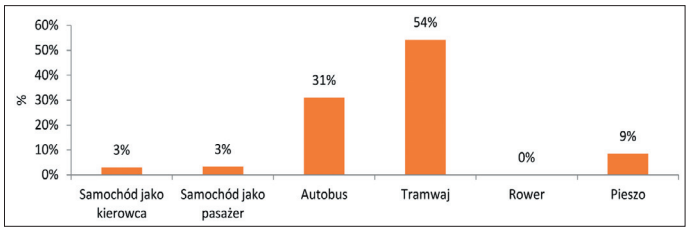
Postrzeganie i ocena transportu miejskiego w Krakowie przez osoby starsze

W celu poznania poziomu zadowolenia i satysfakcji osób starszych z obecnie funkcjonującego miejskiego transportu publicznego zostały przeprowadzone badania ankietowe wśród osób w wieku 60 i więcej lat, na wybranych przystankach autobusowych i tramwajowych w Krakowie. Badania przeprowadzono głównie w obszarach, w których poruszają się osoby starsze, np. obszar hali targowej, Tomex, ulica Batorego, okolice Dworca Głównego, jak również na węzłach przesiadkowych, takich jak Rondo Czyżyńskie i Rondo Mogilskie. W badaniu wykorzystano dwie metody: ankietę i wywiad oparty na tym samym kwestionariuszu w zależności od predyspozycji respondenta. Wypełnienie ankiety zajmowało około 10–15 minut. Kwestionariusz składał się z dwóch części:

- pierwsza cześć zawiera pytania zamknięte oraz otwarte, które mają na celu dostarczenie informacji na temat oczekiwań, stopnia zadowolenia, satysfakcji respondentów dotyczących usług transportu publicznego;
- druga część to metryczka respondenta. Metryczka ma na celu dostarczyć informacji głównie natury personalnej tj. płeć, wiek.

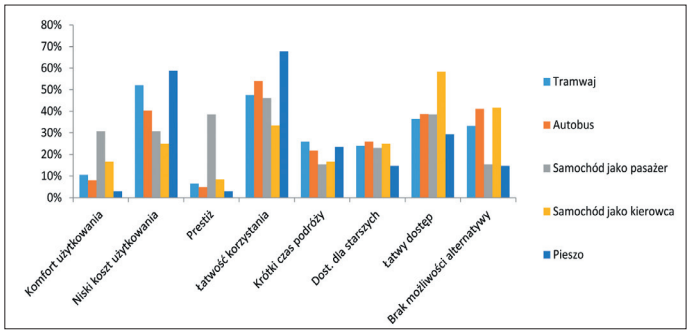
Badania ankietowe przeprowadzono na próbie 400 osób (błąd wielkości 5%). Wśród 400 respondentów, 55,5% stanowiły kobiety, 45,5% mężczyźni. Struktura wieku wśród ankietowanych została podzielona na trzy przedziały wiekowe. Pierwszy z nich obejmuje osoby w wieku od 60 do 74 lat i stanowi najliczniejszą grupę osób wśród ankietowanych – 85%. Druga to wiek od 75 do 84 lat – stanowi ją 13%. Trzecią grupę obejmują osoby w wieku 85 i więcej lat (w tej grupie znalazło się tylko 9 osób ankietowanych tj.2%). Można zauważyć sporą różnicę, wynikającą z tego, że osoby w wieku ponad 75 lat bardzo rzadko wychodzą z domu, a co za tym idzie – proporcjonalnie rzadziej korzystają z transportu miejskiego.

Pierwsze pytanie ankiety dotyczyło wyboru środka transportu najczęściej używanego do podróży po Krakowie. Najczęściej wybieraną opcją był tramwaj – 54% ankietowanych, prawie dwa razy mniej ankietowanych wskazało na autobus – 31%, 9% respondentów wskazało na podróże piesze, natomiast znikome liczby osób wskazały na jazdę samochodem – 6 %, czy to jako kierowca, czy pasażer (rys. 1). Jest to zrozumiałe, gdyż miejscem przeprowadzania ankiet były przystanki, czyli miejsca w których rzadko spotkać można osoby korzystające najczęściej z indywidualnych środków transportu.



Rys. 1. Udział osób korzystających najczęściej z danego środka transportu w podróżach po Krakowie
Źródło: opracowanie własne

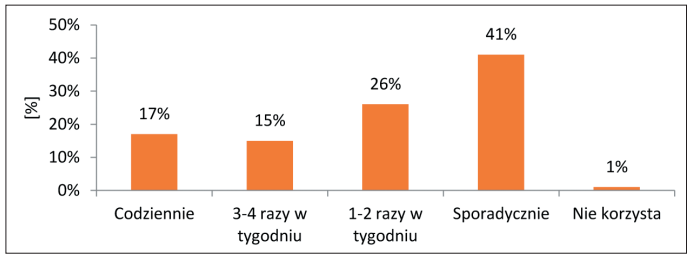
Pytanie drugie ściśle powiązane jest z pytaniem pierwszym. Należało w nim wskazać najważniejsze powody wyboru środka transportu. Można było podać maksymalnie trzy powody spośród ośmiu zaproponowanych. Rysunek 2 przedstawia udział osób wskazujących dany powód, w stosunku do wszystkich osób, którzy wybrali dany środek transportu.



Rys. 2. Udział osób wskazujących dany powód wśród wszystkich respondentów, którzy wybrali dany środek transportu
Źródło: opracowanie własne

Wśród osób, które wybrały tramwaj, najwięcej odpowiedziało, że z powodu niskiego kosztu użytkowania (52%) i łatwości korzystania (47%). Zdecydowanie najmniej wskazało na prestiż (6%) i komfort użytkowania (11%). Dla autobusu sytuacja ma się bardzo podobnie: 54% wskazało na łatwość korzystania, 40% na niski koszt użytkowania. Wśród osób, które wskazały na samochód – jako pasażer – najczęstszym argumentem tego wyboru była łatwość korzystania (46%) i prestiż (38%). Wśród osób, które wskazały samochód jako kierowca ponad połowa wybrała łatwy dostęp oraz możliwości wyboru innego środka. Respondenci, którzy zadeklarowali, że podróżują pieszo najczęściej wybierali jako powód łatwość korzystania (68%) i niski koszt użytkowania (59%)

Kolejne pytanie dotyczyło częstości korzystania z transportu publicznego. Najwięcej osób odpowiedziało, że korzysta sporadycznie z transportu publicznego – 42% (rys. 3). Tylko dwie osoby odpowiedziały, że w ogóle nie korzystają z transportu publicznego, co jest zrozumiałe z uwagi na miejsce wykonywania badań.

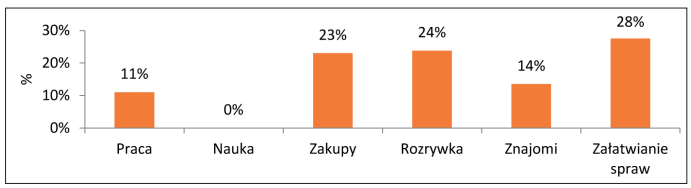


Rys. 3. Częstość korzystania z usług transportu publicznego
Źródło: opracowanie własne

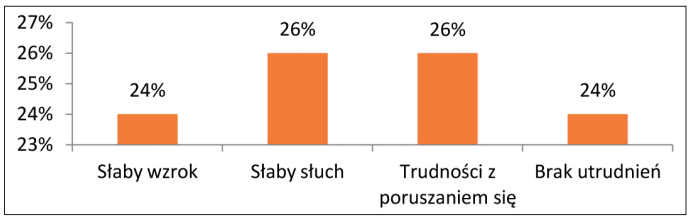
Kolejne pytanie dotyczyło biletu, z jakiego korzysta ankietowany, podróżując transportem publicznym. Najwięcej osób (64%) podróżuje bez biletu ze względu na wiek uprawniający do bezpłatnych przejazdów, czyli 70 lat. 24% ankietowanych wskazała na bilet jednorazowy, a 12% osób jeździ, korzystając z biletu okresowego.

Pytanie następne dotyczyło celu, w jakim osoby starsze odbywają podróże po mieście (rys. 4). Tutaj każda osoba wskazywała po jednym celu. Najwięcej osób wskazało na załatwianie różnych spraw – 28% , niewiele mniej wskazało na rozrywkę 24% i zakupy – 23%.

W kolejnym pytaniu ankietowani mieli wskazać największe osobiste trudności w podróżowaniu transportem publicznym wynikające z jakiegoś problemu zdrowotnego (rys. 5). Można było wskazać więcej niż jedną odpowiedź lub wskazać na brak takich utrudnień. W związku z tym liczba wskazanych dysfunkcji jest dużo większa od liczby



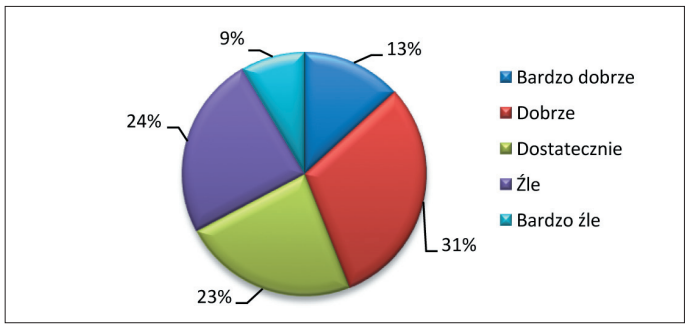
Rys. 4. Liczba osób podróżujących transportem publicznym w danym celu
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Udział osób posiadających daną dysfunkcję utrudniającą podróż transportem publicznym
Źródło: opracowanie własne

ankietowanych i wynosi 504. Do wyboru były odpowiedzi: słaby wzrok, słaby słuch i trudności z poruszaniem się. Najwięcej osób wskazało na trudności z poruszaniem się i słaby słuch – po 26%. Niewiele mniej wskazało na słaby wzrok i brak trudności – po 24%.

Kolejne pytanie polegało na ocenie funkcjonowania transportu publicznego w Krakowie. Wyniki obrazuje rysunek 6. Około 31% ankietowanych oceniło ogólnie działanie transportu publicznego – dobrze. Następne 24% osób oceniło źle, a 23% – dostatecznie. 13% oceniło na poziomie bardzo dobrym działanie transportu publicznego, a najmniej osób (9%) na poziomie bardzo złym.



Rys. 6. Ogólna ocena funkcjonowania transportu publicznego
Źródło: opracowanie własne

Tabela 1

Parametry dotyczące przystanków i węzłów przesiadkowych	
Parametr	**Średnia ważona**
Czas dojścia do przystanku	3,4
Równość nawierzchni chodników	3,1
Dostępność informacji na przystanku (rozkłady jazdy, tablice elektroniczne)	3,2
Wyposażenie przystanku w wiaty, ławki, kosze itp.	3,6
Dostępność biletów na przystanku	3,0
Bezpieczeństwo oczekiwania na przystanku	3,3
Sprawność poruszania się po węzłach przesiadkowych	2,8
Wyposażenie węzłów wielopoziomowych w windy, schody ruchome	3,0
Łatwość zmiany środka transportu	**2,9**

Tabela 2

Parametry dotyczące taboru	
Parametr	**Średnia ważona**
Bezpieczeństwo jazdy	**3,3**
Komfort przy wsiadaniu i wysiadaniu	**3,2**
Dostępność miejsca siedzącego	**2,9**
Dostosowanie wnętrza pojazdów dla osób niepełnosprawnych	3,1
Kupno biletu w automacie w pojeździe	2,7
Czystość pojazdów	3,4
Informacje głosowe w pojeździe	3,3
Stosunek kierowców i motorniczych do pasażerów	3,4
Zewnętrzna identyfikacja pojazdu	3,6

Tabela 3

Parametry dotyczące organizacji przewozów	
Parametr	**Średnia ważona**
Punktualność pojazdów komunikacji zbiorowej	**3,0**
Częstość kursowania	**3,1**
Bezpośredniość połączeń	**3,2**
Niezawodność (awarie)	3,1
Cena biletów	3,3

Pytanie ósme stanowiło ocenę poszczególnych parametrów dotyczących funkcjonowania transportu publicznego w Krakowie. Ocena przeprowadzona została w pięciostopniowej skali, gdzie cyfra 5 oznaczała całkowitą satysfakcję z danego parametru, a cyfra 1 całkowity brak satysfakcji. Parametry zostały podzielone na trzy grupy:

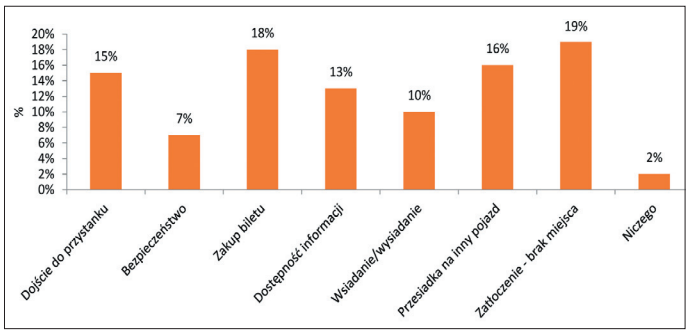
- dotyczące przystanków i węzłów przesiadkowych (9 parametrów),
- dotyczących taboru (9 parametrów),
- dotyczących organizacji przewozów (5 parametrów).

Najwyżej ocenionym parametrami były: czas dojścia do przystanku oraz wyposażenie przystanku w wiaty, ławki, kosze itp. oraz zewnętrzna identyfikacja pojazdu, czystość pojazdu oraz stosunek kierowców i motorniczych do pasażerów (tabela 1,2,3) .

Dodatkowo, oprócz oceny parametrów w poszczególnych grupach, respondent miał podać trzy najważniejsze parametry dla każdej grupy. Najważniejsze parametry dla danej grupy zaznaczono kolorem szarym w tabelach 1,2,3.

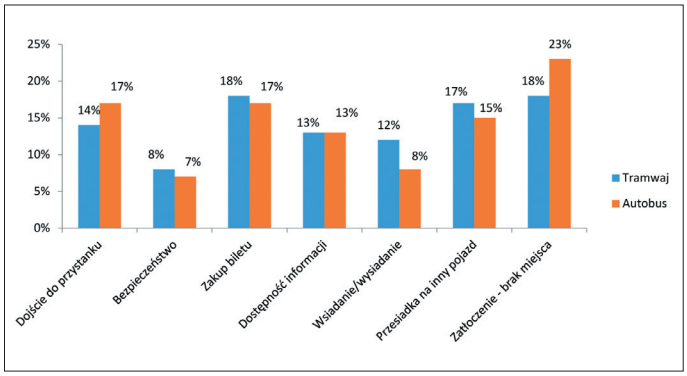
Pytanie dziewiąte dotyczyło wskazania takich etapów i czynników podróży transportem publicznym, które wywołują u ankietowanych największe obawy. Można było wskazać jedną, dwie lub trzy z wymienionych propozycji. Wszystkich odpowiedzi było łącznie 925. Wyniki przedstawia rysunek 7. Najwięcej osób wskazało, że w podróżach transportem publicznym najbardziej obawia się zatłoczenia pojazdów – 19% i w konsekwencji braku miejsca siedzącego. Najmniej osób wskazało – brak bezpieczeństwa w podróży – 7%. Około 18% respondentów obawia się, czy poradzi sobie przy zakupie biletu, 16% obawia się podróży z przesiadką, a 15% obawia się dojścia do przystanku. Stosunkowo mała część osób wskazała na problemy przy wsiadaniu i wysiadaniu z pojazdu – 10%. Tylko 2% osób wskazało, że nie ma żadnych obaw związanych z podróżowaniem transportem publicznym.

Rysunek 8 przedstawia czynniki podróży transportem publicznym, które wymienili ankietowani wskazujący tramwaj lub autobus jako najczęściej wybierany środek transportu do podróży po mieście. Odpowiedzi przez osoby, które wybrały tramwaj było łącznie 501, a autobus 293.



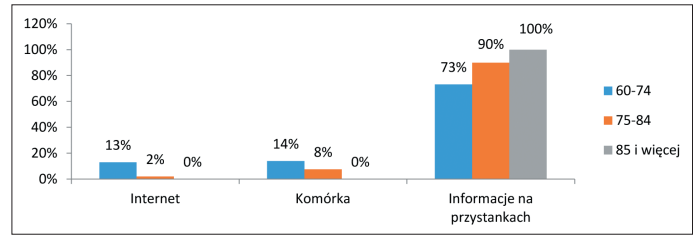
Rys. 7. Udział poszczególnych czynników podróży, których respondenci najbardziej się obawiają
Źródło: opracowanie własne

Najwięcej osób, które wybrały tramwaj wskazało jako obawę zatłoczenie pojazdów i w konsekwencji brak miejsca siedzącego (18%). Najmniej, czyli 8% wskazało jako obawę brak bezpieczeństwa w podróży. Dość dużo, bo aż 18% osób obawia się, czy poradzi sobie przy zakupie biletu, przesiadce na inny pojazd (17%) i dojściu do przystanku (14%). Mniej osób wskazało na brak dostępności informacji (13%) oraz problemy przy wsiadaniu i wysiadaniu (12%). Najwięcej osób, które wybrały autobus, wskazało jako obawę zatłoczenie pojazdów i w konsekwencji brak miejsca siedzącego (23%). Najmniej, czyli 7% wskazało jako obawę brak bezpieczeństwa w podróży. Dość dużo, bo aż 17% osób obawia się, czy poradzi sobie przy zakupie biletu i dojściu do przystanku.



Rys. 8. Udział osób które boją się danych etapów i czynników podróży, przedstawiony dla najczęściej wybieranego środka transportu publicznego
Źródło: opracowanie własne

Kolejne pytanie dotyczące oceny transportu miało wskazać, skąd ankietowany czerpie informację o rozkładach jazdy, o zmianach w ruchu i o komunikatach dotyczących organizacji przewozów transportu publicznego. Wyniki zostały przedstawione dla różnych grup wiekowych (rys. 9). Zdecydowana większość respondentów korzysta z informacji na przystanku – 73% osób w wieku 60–74 lat, 91% osób w wieku 75–84 lat oraz 100% ankietowanych w wieku 85 i więcej. Z aplikacji mobilnych i Internetu korzysta o wiele mniej ankietowanych. Dla respondentów z przedziału wiekowego 60–74 lat – 13% osób korzysta z Internetu, a 14% z aplikacji mobilnych. Dla respondentów z przedziału wieku 75–84 lat – 2% osób czerpie informacje z Internetu, a 8% z aplikacji mobilnych.



Rys. 9. Udział osób korzystających z danego źródła informacji dotyczącej transportu publicznego przedstawiony dla różnych grup wiekowych
Źródło: opracowanie własne

Ostatnie pytanie polegało na wskazaniu, co należy poprawić i wprowadzić w transporcie publicznym, aby ułatwić podróż osobom starszym. Pytanie różniło się tym od poprzednich, że respondent miał za zadanie wymyślić odpowiedzi sam, a nie wybrać z zaproponowanych. Zaproponowanych rozwiązań było łącznie 801. Odpowiedzi respondentów były różne w treści i formie. Najczęściej wymienianym udogodnieniem była:

- likwidacja taboru wysokopodłogowego na rzecz niskopodłogowego;
- budowa specjalnych punktów informacji zaprojektowanych szczególnie dla potrzeb osób starszych;
- poprawa oświetlenia przystanków, szczególnie nocą;
- poprawa czytelności informacji, tzn. większa i wyraźniejsza czcionka, aby ułatwić odczytanie ich osobom o słabym wzroku;
- zwiększenie liczby miejsc siedzących na przystankach,
- utrzymanie czystości na przystankach;
- poprawa jakości infrastruktury transportowej;
- poprawa działania dynamicznej informacji pasażerskiej;
- zapewnienie ogrzewania we wszystkich pojazdach;
- poprawa standardu siedzeń w pojazdach transportu publicznego, wygodniejsze siedzenia.

Propozycja zmian w celu poprawy funkcjonowania miejskiego transportu publicznego w Krakowie pod kątem osób starszych

Na podstawie analiz przedstawionych w niniejszym artykule zaproponowano rozwiązania i zmiany, jakie powinny nastąpić w transporcie publicznym w Krakowie:

- likwidacja wysokopodłogowych wagonów tramwajowych, które stanowią znaczne utrudnienie w podróżowaniu osób starszych, szczególnie w momencie wsiadania i wysiadania z pojazdu. Niestety działanie jest bardzo kosztowne i może być wprowadzane stopniowo przez dłuższy czas;
- wprowadzanie większych wagonów tramwajowych i autobusów w godzinach największego zatłoczenia, w celu zwiększenia komfortu i bezpieczeństwa jazdy osób starszych. Większy tabor posiada więcej miejsc siedzących, co spowoduje większą możliwość znalezienia wolnego miejsca przez osobę starszą;
- wprowadzenie poręczy i uchwytów w pojazdach MPK w kolorze jaskrawym, najlepiej żółtym, tak jak

to ma miejsce w autobusach Mobilis. Ułatwi to i zwiększy znacznie bezpieczeństwo podróży osobom słabowidzącym, czyli sporej grupie osób starszych, jak pokazały badania ankietowe;
- wprowadzenie schodów ruchomych w miejscach, gdzie ich nie ma, czyli np. w przejściu podziemnym przy przystanku tramwajowym „Sanktuarium Bożego Miłosierdzia" w Łagiewnikach;
- budowanie ścieżek prowadzenia dla niewidomych;
- poprawa infrastruktury przystankowej;
- dostosowanie wysokości torowisk tramwajowych i platform przystankowych, jak również dostosowanie taboru (z obniżaniem podłogi), w celu możliwie największego wyrównania platformy przystanku i podłogi tramwaju/autobusu, np. na przystanku „Teatr Bagatela" nawet tabor niskopodłogowy nie jest dostępny dla osób na wózkach inwalidzkich i utrudnia wejście osobom starszym oraz matkom z dziećmi;
- budowa specjalnych punktów obsługi przeznaczonych dla osób starszych;
- poprawa aglomeracyjnych usług transportowych w celu zwiększenia dostępności dla osób mieszkających w peryferiach miasta;
- poprawa dostępności biletów, zaprojektowanie bardziej przyjaznych automatów dla osób starszych;
- przebudowa przystanków zatokowych na przylądkowe, które są znacznie przyjaźniejsze dla ludzi starszych i niepełnosprawnych;
- przeprogramowanie sygnalizacji świetlnej, tak aby zlikwidować problemy, z którymi borykają się osoby starsze przy przejściu przez pasy, czyli zbyt krótki czas sygnału zielonego w obszarze przystanków transportu publicznego, przez co osoby o ograniczonych zdolnościach ruchowych nie zdążają przejść przez jezdnię przed zakończeniem wyświetlania tego sygnału. Problemem jest zbyt długi sygnał czerwonego światła na przejściach dla pieszych w obrębie przystanków, przez co często osoby starsze nie mogą zdążyć na nadjeżdżający tramwaj lub autobus, np. na rondzie Kocmyrzowskim, przy wejściu na Tomex;
- specjalne szkolenia ułatwiające i zwiększające dostęp do transportu publicznego dla osób starszych, na których będą mogli być poinformowani o nowoczesnych rozwiązaniach, jak korzystać z automatów biletowych, gdzie znaleźć pomoc i informacje o transporcie publicznym, jak bezpiecznie, sprawnie korzystać z transportu publicznego, komfortowo i bezstresowo przemieszczać się po węzłach przesiadkowych;
- szkolenie osób starszych odnośnie nowości informatycznych dotyczących transportu publicznego, czyli np., jak korzystać z Internetu i aplikacji mobilnych w celu łatwiejszego dostępu do szeregu informacji z zakresu przemieszczania się;
- bezpośrednia współpraca osób starszych z ludźmi zarządzającymi transportem miejskim w celu wspólnego opracowania rozwiązań i metod usprawniających transport publiczny w mieście;
- wprowadzenie możliwości skorzystania z pomocy specjalnie delegowanych do tego asystentów, podczas korzystania z transportu publicznego.

Wprowadzanie udogodnień w mieście to proces czasochłonny i będzie trwał niemal zawsze, ponieważ ciągle będą powstawać nowe pomysły, efektywniejsze rozwiązania i mniej kosztowne rozwiązania. Nie można potraktować wprowadzania poprawy w transporcie jako jednorazowego przedsięwzięcia tylko jako zjawisko współgrające z codziennym życiem i funkcjonowaniem transportu w mieście. Proces doskonalenia działania transportu publicznego powinien przebiegać na dwóch płaszczyznach. Jedna z nich powinna być ukierunkowana na wdrażanie nowych rozwiązań, których osoby starsze potrzebują, a druga na eliminowanie utrudnień i przeszkód jakie pojawiają się podczas korzystania z transportu publicznego przez osoby starsze. Do pierwszej grupy można zaliczyć m.in. wprowadzenie większych i niskopodłogowych wagonów tramwajowych, budowa schodów ruchomych, wind, więcej ścieżek dla niewidomych czy budowa specjalnych punktów obsługi pasażerów starszych. Natomiast do grupy drugiej można zaliczyć m.in.: malowanie poręczy na jaskrawe kolory, dostosowanie wysokości torowisk tramwajowych, przebudowa przystanków na przylądkowe czy przeprogramowanie sygnalizacji świetlnej. Obie grupy elementów powinny ze sobą współgrać i być rozwijane w podobnym tempie tak, aby jak najlepiej udoskonalić działanie transportu publicznego pod kątem osób starszych.

Literatura

1. Bień J., Cichoń K. i inni., *Wielka ilustrowana encyklopedia powszechna*, Wydawnictwo Gutenberg Print, Warszawa 2002.
2. *Raport na temat sytuacji osób starszych w Polsce*, Instytut Pracy i Spraw Socjalnych, Warszawa, grudzień 2012.
3. Erikson E.H., *Dopełniony cykl życia*, Rebis, Warszawa 2002.
4. *Starzenie się społeczeństwa polskiego,* Biuro Analiz Sejmowych, Warszawa, 28 czerwca 2012.
5. *Starzenie się społeczeństwa polskiego i jego skutki,* Biuro analiz i dokumentacji, Zespół Analiz i Opracowań Tematycznych, Warszawa, kwiecień 2011.
6. Rocznik statystyczny Województwa Małopolskiego -http://krakow.stat.gov.pl/files/gfx/krakow/pl/defaultstronaopisowa-/1164/1/1/2016_05_w_pl.pdf, dostęp: 14.08.2017
7. *Statystyczne Vademecum Samorządowca 2016*, Urząd Statystyczny w Krakowie.
8. Labus A., *Strategie odnowy miast depopulacji i starzenia się społeczeństwa w trzech skalach przestrzennych*. Forum Przestrzenie Miejskie pt. *Budownictwo infrastrukturalne – miejskie w programach finansowych Unii Europejskiej*. Ogólnopolska konferencja naukowa, Katowice 12 czerwca 2015
9. Maderak D., *Ocena miejskiego systemu transportu publicznego w Krakowie przez osoby starsze*, praca magisterska na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej napisana pod kierunkiem dr inż. Katarzyny Soleckiej, Kraków 2017.

KRYSTIAN BANET
mgr inż., Politechnika Krakowska, Katedra Systemów Transportowych, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, email: kbanet@pk.edu.pl
ANDRZEJ SZARATA
dr hab. inż., prof. Politechniki Krakowskiej, Katedra Systemów Transportowych, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, email: aszarata@pk.edu.pl

Kształtowanie optymalnego systemu miejskiego transportu zbiorowego w miastach średniej wielkości na przykładzie Częstochowy[1]

Streszczenie: Planowanie optymalnej siatki połączeń transportu publicznego wpisuje się w problem decyzyjny i optymalizacyjny zwany problemem marszrutyzacji. W artykule skupiono się na sieci transportu zbiorowego w Częstochowie i zaproponowano kilka wariantów modyfikacji jej istniejącego układu. W tym celu przeprowadzono analizy symulacyjne bazujące na modelu stanu istniejącego systemu transportowego Częstochowy. Na potrzeby analiz wzięto pod uwagę łącznie dziewięć kombinacji (wariantów), w ramach których założono trzy możliwości kształtowania układu (dostępności) linii miejskiej komunikacji zbiorowej oraz pięć możliwych układów częstotliwości ich kursowania. W każdym z wariantów przeprowadzono pełny rozkład modelu podróży, a poprzez szereg analiz symulacyjnych obserwowano wpływ zmian częstotliwości i dostępności linii miejskiego transportu zbiorowego na wyniki symulacji. Na podstawie kryteriów wyjściowych (liczba pasażerów, koszty funkcjonowania linii oraz średni czas podróży) dokonano porównania wariantów i wyboru wariantu rekomendowanego. W przypadku miasta średniej wielkości, jakim jest Częstochowa, optymalnym rozwiązaniem okazał się wariant pośredni – tj. zakładający średni stopień częstotliwości kursowania przy niepełnym stopniu zasięgu obsługi liniami miejskiego transportu zbiorowego.

Słowa kluczowe: transport zbiorowy, marszrutyzacja, model makroskopowy.

Wprowadzenie

Kształtowanie optymalnej sieci transportu zbiorowego w miastach różnej wielkości bywa często jednym z głównych problemów systemu transportu zbiorowego. Planowanie optymalnej siatki połączeń transportu publicznego wpisuje się w problem decyzyjny i optymalizacyjny zwany problemem marszrutyzacji. Zaplanowane trasy uwzględniać muszą możliwie wysoki stopień obsługi potencjalnych pasażerów. W rozwiązywaniu zadanego problemu należy mieć na uwadze dostosowanie do szeregu ograniczeń, jak np. flota pojazdów przewoźników realizujących przewozy komunikacji miejskiej czy budżet przeznaczony w danej gminie na funkcjonowanie transportu publicznego. Koszt całkowity transportu jest często głównym kryterium optymalizacji marszrut w miastach, choć w jego rozwiązywaniu brane są pod uwagę także inne kryteria optymalizacyjne, a sam problem marszrutyzacji w miastach jest problemem ewoluującym i kompleksowym.

W artykule przeanalizowano problem kształtowania sieci transportu zbiorowego w Częstochowie, mieście na prawach powiatu położonego w północnej części województwa śląskiego [12]. Sieć transportu zbiorowego w Częstochowie składa się z sieci tramwajowej oraz autobusowej. Łączna długość sieci tramwajowej wynosi 14,8 km [7]. Od ukończonej w 2012 roku rozbudowy sieci tramwajowej na os. Błeszno i Wrzosowiak kursują trzy linie tramwajowe, stanowiąc główną oś systemu transportu zbiorowego na kierunku północ–południe. Mimo istnienia podsystemu tramwajowego ten środek transportu nie może być uznany za podstawowy, w istotnym stopniu uzupełniany jest przez komunikacją autobusową. Przykład przebiegu powstałej w ostatnich latach linii tramwajowej na os. Wrzosowiak pokazuje, że część linii miejskiego transportu zbiorowego Częstochowy nie jest wytrasowana w sposób optymalny dla pasażerów. Trasa ta w istotnym stopniu wydłuża czas i odległość dojazdu w porównaniu do dotychczasowego układu linii autobusowych. Artykuł stał się próbą odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób optymalnie kształtować linie miejskiej komunikacji zbiorowej w Częstochowie. Odpowiedź uzyskano poprzez porównanie zaproponowanych wariantów z wariantem bazowym. W wariantach tych modyfikowane były dwa zasadnicze kryteria kształtowania sieci: dostępność (zasięg obsługi miejskim transportem zbiorowym) oraz częstotliwość (interwały kursowania linii autobusowych i tramwajowych).

Problem marszrutyzacji w literaturze

Problem marszrutyzacji polega na wyznaczeniu optymalnych tras przewozowych i jest rozwinięciem problemu komiwojażera [15]. Znalezienie najlepszej struktury linii komunikacji zbiorowej dla miast jest problemem, do rozwiązania którego należy używać metod heurystycznych [5]. Celem pracy [5] było opisanie, jak parametry struktury przestrzennej miasta oddziałują na optymalną strategię transportu publicznego, a w szczególności jak struktura miasta wpływa na przebieg linii komunikacji zbiorowej. Autorzy do rozważań nad problemem marszrutyzacji przyjęli symetryczny model miasta Fielbauma. W literaturze pojawiają się różne modele struktury przestrzennej miasta związane z rozlokowaniem popytu na terenie organizmu miejskiego, tj. model monocentryczny, policentryczny oraz rozproszony [5]. W rozważaniach w [5] wzięto pod uwagę miasto złożone z CBD (*Central Business District*) oraz otaczających dzielnic, z których każda zawiera dzielnicowe subcentrum i węzeł na peryferiach. Problem marszrutyzacji przez autorów [5] rozwiązywany został dla porannej godziny szczytu przy założeniu, że CBD jedynie absorbuje podróże, peryferia jedynie je generują,

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2017. Wkład autorów w publikację: K. Banet 75%, A. Szarata 25%.

a subcentra są jednocześnie generatorami jak i absorbentami podróży. Na bazie opisanego wyżej modelu struktury przestrzennej miasta porównano cztery rodzaje struktury linii komunikacji zbiorowej:

- bezpośredni – zakłada, że każdy pasażer może odbyć podróż między swoim źródłem i celem podróży bez przesiadki; model jest najlepszy w sytuacji zmniejszenia poziomu dyspersji podróży;
- tzw. *hub and spoke* – bazuje na założeniu, że większość podróży wymaga dojazdu do CBD i przesiadki na połączenie do celu podróży; najlepszy model przy znaczącym CBD;
- tzw. *feeder-trunk* – zakłada istnienie jednej linii dowozowej z peryferiów do subcentrum, dalsze podróże odbywają się na bazie modelu bezpośredniego, ale nie uwzględniającego przedmieść; najlepszy model w przypadku rosnących na znaczeniu suburbiów;
- ekskluzywny – bez przystanków pośrednich, zapewniający połączenia wszystkich par źródeł i celów podróży; rekomendowany jest przy rosnącym udziale użytkowników transportu zbiorowego.

Ukształtowanie idealnej sieci transportu zbiorowego, która uwzględnia potrzeby wszystkich, nie jest możliwe, ale istnieje zbiór dobrych praktyk i wskazówek, jak kształtować sieć połączeń, by dążyć do stanu optymalnego. Aby optymalnie wykorzystać potencjał transportu zbiorowego, należy przede wszystkim dążyć do dopasowania układu linii do przemieszczeń pasażerów, które z reguły są przemieszczeniami codziennymi, odbywającymi się w motywacjach obligatoryjnych, czyli tych związanych z pracą i nauką. To stanowi wskazówkę do kształtowania linii transportu zbiorowego nawet w przypadku braku aktualnych danych na temat struktury podróży. Jak ukazano w [5], pasażerowie negatywnie odbierają przesiadki, toteż powinno się zapewnić bezpośrednie połączenia na najważniejszych relacjach poprzez jak najlepsze połączenie obszarów o odpowiadających sobie potencjałach [1]. By dana linia komunikacji zbiorowej stała się atrakcyjną alternatywą podróżowania względem transportu indywidualnego, oprócz atrakcyjnej trasy musi się także charakteryzować względnie wysoką częstotliwością. Według [1] należy dążyć na najważniejszych liniach do zapewnienia przynajmniej od czterech do sześciu autobusów w ciągu godziny w szczytach komunikacyjnych oraz nie mniej niż trzech w okresie tzw. międzyszczytu. Nie zawsze jednak możliwe jest uzyskanie satysfakcjonujących częstotliwości na kilku liniach. Rozwiązaniem tego problemu jest kumulacja linii w korytarzach, co pozwoli na zapewnienie wysokiej częstotliwości wiązki linii. Tworzenie wiązek linii wiąże się z kolejnym aspektem marszrutyzacji, jakim jest zapewnienie układu opartego na czytelnych interwałach międzypojazdowych, które winny być oparte o podzielnik liczby 60 i jego wielokrotności. To ułatwia synchronizację linii w korytarzach oraz pomaga zaznaczyć hierarchizację linii [2]. W trasowaniu linii miejskich najlepszym wariantem jest dążenie do zapewnienia obsługi liniami średnicowymi, przechodzącymi przez obszar centrum miasta z dopuszczonym meandrowaniem tylko na ich końcowych odcinkach [1].

Wszystkie wymienione zasady nie są zazwyczaj możliwe do spełnienia, co wynika z szeregu ograniczeń zewnętrznych, z których największym jest konieczność kontroli kosztów działania systemu transportu zbiorowego. Należy jednak pamiętać, że nawet w sytuacji gdy uda się zminimalizować wpływ ograniczeń zewnętrznych i wypracować optymalny kształt siatki połączeń, nie spowoduje to istotnego wzrostu liczby podróży, jeśli nie zostaną wprowadzone odpowiednie środki zwiększające atrakcyjność podróży transportem zbiorowym, takie jak wydzielone pasy ruchu dla autobusów [1] czy atrakcyjny system taryfowy. Ważne jest także, by układ linii transportu zbiorowego w mieście nie był traktowany jako rzecz niezmienna przez lata. Musi on nadążać za zmianami potrzeb komunikacyjnych mieszkańców. Wynika to ze zmieniającej się więźby podróży, czego powodem są zmiany w strukturze przestrzennej miasta [2].

Charakterystyka przyjętych wariantów

Miasto Częstochowa zamieszkiwane przez 228 179 osób [13] wpisuje się w ogólnopolski trend spadku liczby mieszkańców. Według prognoz Częstochowa w roku 2030 ma liczyć 191 700 mieszkańców [9]. W mieście obserwowany jest także spadek udziału ludności w wieku produkcyjnym: z 63% w roku 2013 do 61,2% w roku 2015 [6]. Zwiększający się udział osób w wieku poprodukcyjnym jest jednym z czynników wpływających na zmianę zachowań komunikacyjnych ogółu mieszkańców. Jest to jeden z czynników, jaki należy mieć na uwadze przy planowaniu rozwoju systemu transportowego miasta.

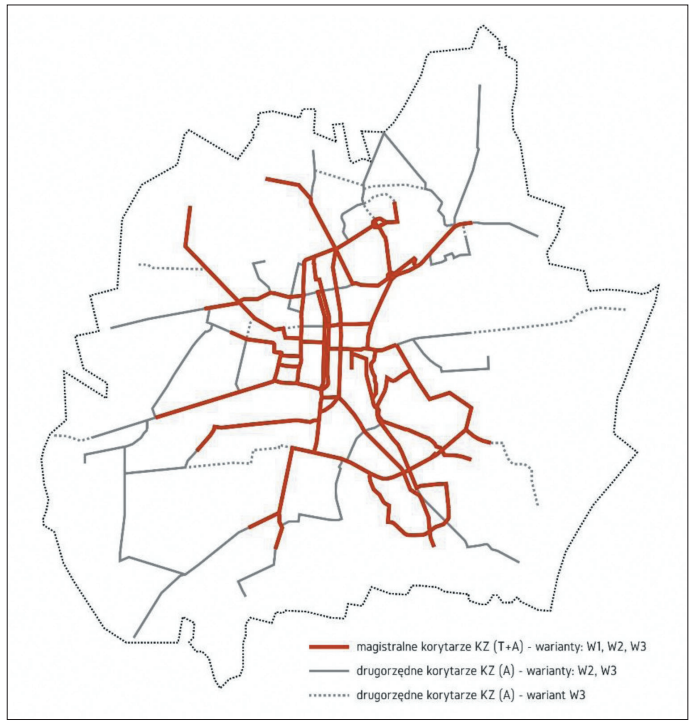
Na potrzeby analiz stan istniejący komunikacji zbiorowej w Częstochowie potraktowano jako wariant bazowy W0. Główną oś tramwajową stanowi w nim połączenie północ–południe z os. Tysiąclecia na Raków. Dodatkowo linia rozgałęzia się w stronę dawnej Huty Częstochowa i szpitala na Kucelinie oraz na ulicę Jagiellońską, gdzie tramwaj meandruje ulicami os. Wrzosowiak i Błeszno, by okrężną trasą dotrzeć do pętli przy Stadionie Raków. Traktowane jako jedna linia, linie 1 i 2 (linia 2 jest jednokierunkowa na skróconej trasie linii nr 1, powrót jako linia nr 1) oraz linia nr 3 funkcjonują w dni powszednie w interwale 12 minut [14]. Mimo istnienia komunikacji tramwajowej bardzo istotną rolę w mieście pełni komunikacja autobusowa. Składa się ona z 26 linii miejskich uzupełnionych o 8 linii podmiejskich, które łączą na bazie porozumień międzygminnych Częstochowę z gminami ościennymi. Stosunkowo wysoka liczba linii przy tej wielkości miasta wskazuje na dominację połączeń o charakterze bezpośrednim między poszczególnymi obszarami. Na potrzeby analiz w wariancie W0 pominięto linie podmiejskie, gdyż głównym celem było zaplanowanie układu sieci odniesionego do więźby podróży miejskich (wewnętrznych), wobec których linie autobusowe podmiejskie mają marginalne znaczenie. Większość linii autobusowych miejskich kursuje w dni powszednie w interwale 30 minut, a ważniejsze z nich co 15 minut [14].

Do oceny procesów transportowych i modelowania zachowań komunikacyjnych mieszkańców stosuje się narzędzia analityczne oraz symulacyjne. W badaniach jako narzędzie posłużył makrosymulacyjny model transportowy dla Częstochowy z 2015 roku wykonany w programie PTV Visum [11]. Jako wariant bazowy (tzw. wariant W0) przyjęto model sieci zaktualizowany i skalibrowany na 2015 r. (od tego czasu nie zaszły istotne zmiany w sieci transportowej miasta), który posłużył następnie do przygotowywania wariantów remarszrutyzacji w odniesieniu do istniejącej sieci połączeń autobusowych i tramwajowych. W pierwszym kroku analiz przeprowadzono rozkład tzw. *TSys-based* w formie testowej, który pozwolił zaobserwować preferowane (pożądane) korytarze podróży, w przypadku wyboru trasy przejazdu niezależnie od jakiegokolwiek układu linii transportu zbiorowego. Wynik tego rozkładu (rys. 1) wskazał na potencjalne korytarze trasowania linii miejskiego transportu zbiorowego. Najchętniej wykorzystywany przez pasażerów jest ciąg alei: Armii Krajowej, Wolności i Niepodległości, który odpowiada przebiegowi istniejącej linii tramwajowej i odzwierciedla empiryczną obserwację, według której większość podróży miejskich odbywa się na osi północ–południe. W tej osi zaobserwowano duże potoki pasażerskie także na trzech ciągach równoległych do ciągu tramwajowego: po jego wschodniej (tj. aleją Wojska Polskiego i ulicą Krakowską/Kanałem Kohna) oraz zachodniej stronie (ulicami: Szajnowicza-Iwanowa i Popiełuszki oraz ulicami: Kilińskiego, Dąbrowskiego, Nowowiejskiego, Śląską i aleją Bohaterów Monte Cassino). Według „testowego" rozkładu podróży pasażerowie podróżujący wzdłuż mniej obciążonej niż oś północ–południe osi wschód–zachód wybraliby podróż przez reprezentacyjną, przechodzącą przez ścisłe centrum miasta, Aleję Najświętszej Maryi Panny na odcinku od placu Daszyńskiego do alei Wolności (1,3 tys. osób), a także korytarzem położonym na północy miasta, częściowo obsługiwanym przez komunikację tramwajową (aleją Wyzwolenia i ulicą Obrońców Westerplatte). Pasażerowie prawie w ogóle nie wybierają podróży tzw. III Aleją oraz głównym, położonym w ciągu drogi krajowej nr 46 korytarzu na osi wschód–zachód (tj. ulicą Dekabrystów).

Otrzymane wyniki posłużyły do zdefiniowania wariantów trasowania linii miejskiego transportu zbiorowego. W pierwszej kolejności wyznaczono korytarze tramwajowe zgodnie z istniejącym układem. Analizy wykazały wyraźne uzasadnienie dla linii tramwajowej od Rakowa do pętli przy Fieldorfa-Nila, która pokrywa się z otrzymanymi symulacyjnie pożądanymi kierunkami przepływu podróży. Tak też ukształtowano główny korytarz tramwajowy, stanowiący trzon komunikacji zbiorowej w mieście. Dużo mniejsze potoki pasażerskie zaobserwowano wzdłuż korytarza tramwajowego od Rakowa do Kucelina (wschodnia odnoga sieci), mimo to są one większe niż na zachodnim odgałęzieniu sieci (linia na os. Błeszno i Wrzosowiak). W toku prac analitycznych symulacje wykazały brak uzasadnienia dla przebiegu istniejącej linii tramwajowej na os. Błeszno i Wrzosowiak. Zamiast tego korytarza pasażerowie wybierają podróż równoległym, zapewniającym szybszy dojazd ciągiem (ulicą Bohaterów Katynia oraz aleją 11 Listopada), który został zakwalifikowany jako główny korytarz autobusowy.

Sieć tramwajowa w Częstochowie nie pozwala na wyodrębnienie jedynie podsystemu tramwajowego jako podstawowego środka transportu. Stąd wyznaczenie głównych korytarzy transportowych obsługiwanych zarówno przez tramwaje, jak i autobusy. Magistralne oraz drugorzędne korytarze autobusowe uzupełniają główną, tramwajową oś (rys. 2) [3]. Wyznaczenie magistralnych oraz drugorzędnych korytarzy autobusowych zostało dokonane celem

Rys. 1. Preferowane korytarze w przypadku wyboru trasy przejazdu niezależnej od obecnego układu linii transportu zbiorowego – wynik rozkładu TSys-based
Źródło: opracowanie własne



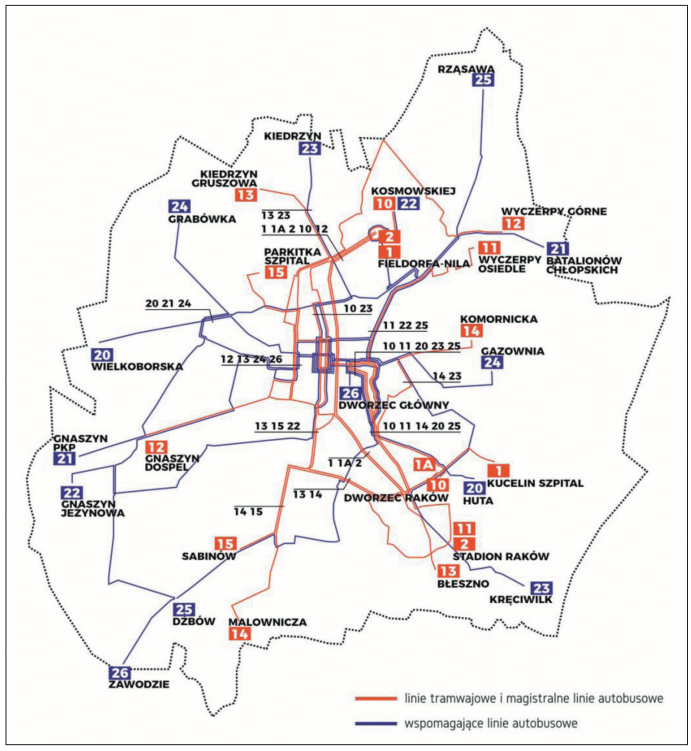
Rys. 2. Wyznaczone korytarze magistralne oraz drugorzędne linii miejskiego transportu zbiorowego w Częstochowie
Źródło: opracowanie własne

przeanalizowania tego, który z kierunków kształtowania sieci wykaże bardziej korzystne wyniki: tj. obsługa transportem zbiorowym tylko magistralnych korytarzy mniejszą liczbą linii, za to z wysoką częstotliwością, czy też obsługa głównych i drugorzędnych korytarzy większą liczbą linii, ale z mniejszą częstotliwością.

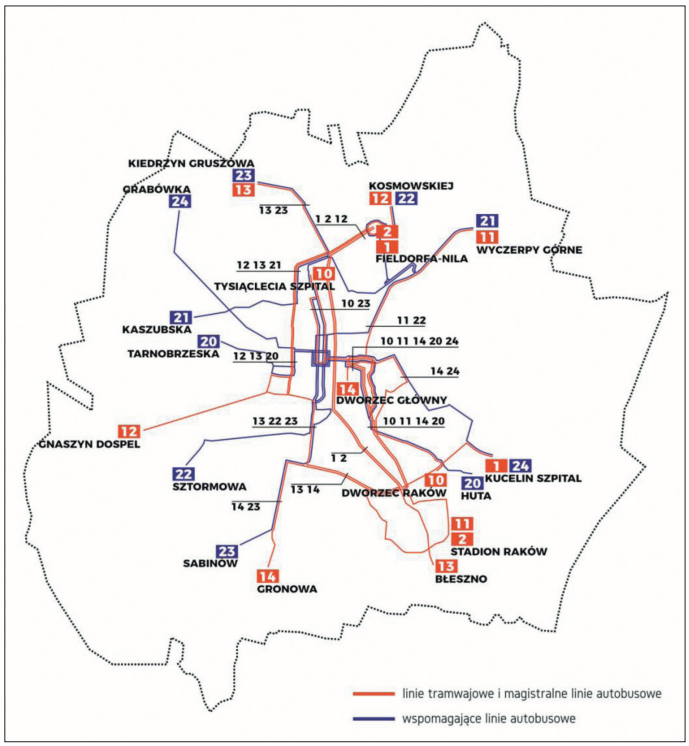
Pierwszym kryterium doboru wariantów była dostępność (kształtu) sieci miejskiego transportu zbiorowego. Opracowano trzy warianty układu sieci:

- W1 (rys. 3) zakłada obsługę tylko głównych korytarzy transportowych i bazuje na dwóch liniach tramwajowych oraz 10 autobusowych, z czego 5 z nich kursuje z większą częstotliwością (magistralne linie autobusowe), a reszta z dwukrotnie mniejszą (wspomagające linie autobusowe);
- W2 (rys. 4) zakłada obsługę głównych oraz większości drugorzędnych korytarzy transportowych i składa się z dwóch linii tramwajowych oraz 13 autobusowych, z czego 6 z nich to magistralne linie autobusowe, a reszta to wspomagające linie autobusowe – linia tramwajowa nr 1 posiada skrócone przejazdy wariantowe do dworca na Rakowie jako linia 1A;
- W3 (rys. 5) zakłada obsługę głównych oraz wszystkich drugorzędnych korytarzy transportowych, bazuje na idei bezpośredniości połączeń przy jednoczesnej redukcji częstotliwości kursowania i składa się z dwóch linii tramwajowych oraz 20 autobusowych, z czego 4 z nich kursują z większą częstotliwością (magistralne linie autobusowe), a reszta z dwukrotnie mniejszą (wspomagające linie autobusowe). Linia tramwajowa nr 1 posiada, podobnie jak w wariancie W2, skrócone przejazdy wariantowe do dworca na Rakowie.

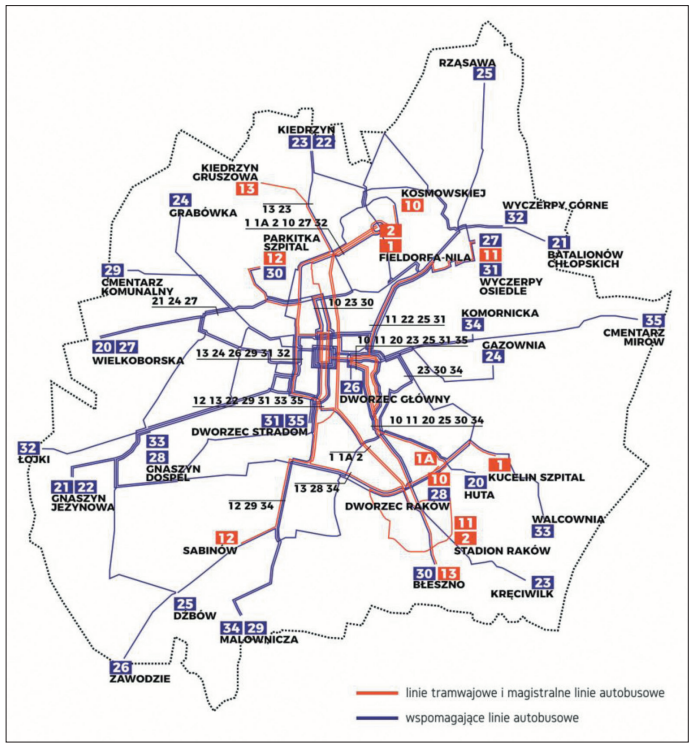
Celem znalezienia obszarów o odpowiadających sobie potencjałach, a tym samym lepszego dopasowania oferty przewozowej, tj. układu linii do potrzeb pasażerów, zbadano kierunki przemieszczeń pasażerów z wybranych rejonów komunikacyjnych reprezentujących głównie obszary zabudowy mieszkaniowej wielo- i jednorodzinnej. Analizy wykazały dominujący ruch w stronę Śródmieścia ze wszystkich analizowa-



Rys. 4. Wariant W2 linii miejskiego transportu zbiorowego w Częstochowie
Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Wariant W1 linii miejskiego transportu zbiorowego w Częstochowie
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Wariant W3 linii miejskiego transportu zbiorowego w Częstochowie
Źródło: opracowanie własne

nych obszarów. Istotnymi generatorami podróży są także dwa główne tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej, tj. os. Tysiąclecie z os. Północ oraz os. Raków. Dodatkowym założeniem przy kształtowaniu układu linii było unikanie pokrywania się linii tramwajowych i autobusowych, co osiągnięto na większości odcinków tramwajowych, przede wszystkim na głównej osi, tj. na alejach Wolności i Niepodległości.

Drugim kryterium doboru wariantów było zróżnicowanie kształtowania częstotliwości linii. Stworzono pięć wariantów interwałów międzypojazdowych w godzinach szczytów komunikacyjnych:

- A – 3/7,5/15 min,
- B – 5/10/20 min,
- C – 6/12/24 min,
- D – 7,5/15/30 min,
- E – 10/20/40 min.

Każdy z nich opisany jest przez trzy interwały kursowania pojazdów: pierwszy dotyczy głównej linii tramwajowej, drugi to interwał wspomagającej linii tramwajowej oraz autobusów magistralnych, a trzeci wskazuje interwał linii wspomagających. W obrębie każdego z wariantów zasięgu obsługi (W1, W2, W3) wzięto pod uwagę trzy warianty częstotliwości, co dało łącznie dziewięć wariantów. Na potrzeby artykułu zastosowano oznaczenia trzyliterowe, np. W2C, co oznacza wariant W2 dostępności sieci, w którym linie kursują z interwałami zdefiniowanymi przez wariant C. W obrębie wariantów dostępności sieci stworzono następujące podwarianty interwałów w szczytach komunikacyjnych:

- w wariancie W1: 3/7,5/15 minut (wariant W1A), 5/10/20 minut (wariant W1B) oraz 6/12/24 minut (wariant W1C);
- w wariancie W2: 5/10/20 minut (wariant W2B), 6/12/24 minut (wariant W2C) oraz 7,5/15/30 minut (wariant W2D);
- w wariancie W3: 6/12/24 minut (wariant W3C), 7,5/15/30 minut (wariant W3D) oraz 10/20/40 minut (wariant W3E).

Każdy z dziewięciu przedstawionych wariantów jest możliwy do wprowadzenia w stanie istniejącym z ewentualnym powiększeniem parku taborowego. Każdy z nich bazuje jedynie na zmianie układu linii i częstotliwości – natomiast bez zakładania realizacji nowych inwestycji czy wdrażania usprawnień w transporcie zbiorowym, np. dodatkowych pasów dla ruchu autobusów czy rozwoju systemu sterowania ruchem i priorytetów dla komunikacji zbiorowej. Pełne zestawienie proponowanych wariantów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Interwały kursowania pojazdów w opracowanych wariantach

środek transportu	interwał w godzinach szczytu komunikacyjnego [min]								
	W1A	W1B	W1C	W2B	W2C	W2D	W3C	W3D	W3E
tramwaje	3/7,5	5/10	6/12	5/10	6/12	7,5/15	6/12	7,5/15	10/20
autobusy	7,5/15	10/20	12/24	10/20	12/24	15/30	12/24	15/30	20/40

Źródło: opracowanie własne

W analizach symulacyjnych uwzględniono także aspekt zróżnicowanej uciążliwości poszczególnych składowych czasów podróży [8]. Jednym z głównych czynników standardu podróży jest czas jej trwania [4]. W poszczególnych wariantach o zróżnicowanej częstotliwości uwzględniono zmienną wartość tzw. kary czasowej odpowiadającej uciążliwości przesiadki postrzeganej przez pasażerów. Jest ona najniższa w wariantach, które bazują na liniach tramwajowych kursujących co 3–6 minut – gdzie kara czasowa za przesiadkę wynosi od 3 do 5 minut, natomiast w pozostałych wariantach o niższych częstotliwościach wzrasta ona do 10 minut.

W badaniach skupiono się na analizie parametrów sieci transportu zbiorowego i znalezieniu zależności między zasięgiem obsługi transportem zbiorowym a częstotliwością pojazdów. W każdym z wariantów wzięto pod uwagę parametry dla rozkładu ruchu w godzinie szczytu popołudniowego (15:00–16:00) i porównano je z parametrami wariantu bazowego W0. W każdym z wariantów zastosowano rozkład bazujący na częstotliwościach zamiast rozkładu bazującego na rozkładach jazdy. Zastosowany rozkład rekomendowany jest w przypadku sieci o wysokich, czytelnych interwałach, a takie cechy spełniają zaproponowane warianty. W każdym z wariantów wykonano rozkład w trzech krokach iteracyjnych celem stabilizacji podziału zadań przewozowych i odczytano następujące parametry ilościowe:

- liczbę pasażerów korzystających z transportu zbiorowego;
- pracę przewozową dla autobusów (w pojkm, pojh i wozokm);
- pracę przewozową dla tramwajów (w pojkm, pojh i wozokm);
- średnią prędkość podróży: autobusem, tramwajem (km/h);
- średni czas podróży transportem zbiorowym (min);
- średni udział podróży z przesiadkami.

Poza czynnikami ilościowymi charakteryzującymi funkcjonowanie systemu transportowego, rozpatrzono również aspekty finansowe, które w sposób istotny wpływają na ocenę celowości procesu inwestycyjnego [10] czy procesu remarszrutyzacji. Na podstawie informacji nt. pracy przewozowej w wozokilometrach i danych na temat stawek za wozokilometry możliwe było oszacowanie kosztu funkcjonowania transportu zbiorowego, jaki jest ponoszony przez miasto (w przeliczeniu na jedną godzinę szczytu). Do obliczeń przyjęto stawkę 6,45 zł netto za 1 wozokilometr (autobusy) i 17,00 zł netto za 1 pociągokilometr (tramwaje).

Wyniki symulacji w modelu transportowym

Rozkład ruchu w transporcie zbiorowym w stanie istniejącym (wariant W0) pokazał, że mimo istnienia sieci tramwajowej bardziej obciążone są trasy autobusowe. Najwięcej pasażerów przewożą linie kursujące w osi północ–południe po obu stronach korytarza tramwajowego (ulicami: Krakowską/Kanałem Kohna i aleją Wolności oraz Śląską/Nowowiejskiego). Duże potoki pasażerskie obserwowane

są także na osi wschód–zachód, łączącym główny ciąg tramwajowy z równoległymi do niego ciągami autobusowymi po zachodniej stronie Śródmieścia (ulica Jana III Sobieskiego). Najbardziej obciążonymi w mieście trasami są trasy w stronę północnych osiedli tj. os. Tysiąclecia i os. Północ oraz południowych: Rakowa i Sabinowa. Pełne zestawienie parametrów dla wariantu bazowego W0 przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Parametry sieci transportu zbiorowego w godzinie szczytu popołudniowego dla wariantu W0	
Parametr	**Wartość**
Interwał T [min]	12/24
Interwał A [min]	15/30/60
Liczba pasażerów TZ	9427
Praca przewozowa T [pash]	257
Praca przewozowa T [paskm]	5133
Praca przewozowa A [pash]	1690
Praca przewozowa A [paskm]	42 683
Liczba wozokm T	209
Liczba wozokm A	1749
Liczba wozokm T+A	1958
Koszt funkcjonowania TZ [zł]	14 837
Średnia prędkość podróży T [km/h]	20,0
Średnia prędkość podróży A [km/h]	25,2
Średni czas podróży TZ [min]	40,5
Kara za przesiadki [min]	10
Średni udział przesiadek	0,2
Praca przewozowa SO [pojh]	9591
Praca przewozowa SO [pojkm]	32 7957
Średnia prędkość podróży SO [km/h]	34,2

Źródło: opracowanie własne

Rozkład ruchu w transporcie zbiorowym w każdym z podwariantów wariantu W1 pokazuje, że pomimo silnej osi tramwajowej najczęściej wybierane są linie autobusowe, które obsługują równoległy do tramwajowego, położony na zachodzie Śródmieścia ciąg (Bohaterów Monte Cassino – Słowackiego – Pułaskiego – Popiełuszki – Szajnowicza-Iwanowa) wraz z jego rozgałęzieniami do obsługiwanych liniami tramwajowymi obszarów: os. Tysiąclecie na północy (ulica Obrońców Westerplatte) oraz os. Wrzosowiak na południu (ulica Jagiellońska). Potoki te są widocznie większe aniżeli wzdłuż tras tramwajowych. Nadal jednak widać duże obciążenie ciągów w osi północ–południe, np. główny ciąg tramwajowy (aleja Niepodległości/Wolności) oraz równoległy do niego, po jego wschodniej stronie ciąg autobusowy (ulice: Krakowska/Kanał Kohna). Duże potoki pasażerskie obserwowane są także w I Alei NMP (oś wschód–zachód). Najbardziej obciążone są trasy w stronę: Rakowa, os. Tysiąclecia, os. Północ, ale także Sabinowa, Wyczerpów (północny wschód) i Gnaszyna (południowy zachód). Zestawienie parametrów sieci dla wariantów W1 w godzinie popołudniowego szczytu komunikacyjnego przedstawiono w tabeli 3.

Rozkład ruchu w transporcie zbiorowym w wariantach W2 pokazał, że najchętniej wybieranymi przez pasażerów

Tabela 3

Parametry sieci transportu zbiorowego w godzinie szczytu popołudniowego dla podwariantów wariantu W1			
Parametr	**Wartości dla podwariantów**		
	W1A	**W1B**	**W1C**
Interwał T [min]	3/7,5	5/10	6/12
Interwał A [min]	7,5/15	10/20	12/24
Liczba pasażerów TZ	8990	8870	8776
Praca przewozowa T [pash]	307	313	317
Praca przewozowa T [paskm]	6130	6262	6331
Praca przewozowa A [pash]	1389	1341	1318
Praca przewozowa A [paskm]	34 757	33 555	32 973
Liczba wozokm T	588	381	318
Liczba wozokm A	1302	977	814
Liczba wozokm T+A	1890	1358	1132
Koszt funkcjonowania TZ [zł]	18 399	12 780	10 651
Średnia prędkość podróży T [km/h]	20,0	20,0	20,0
Średnia prędkość podróży A [km/h]	25,0	25,0	25,0
Średni czas podróży TZ [min]	36,0	37,4	38,6
Kara za przesiadki [min]	3	5	5
Średni udział przesiadek	0,5	0,3	0,3
Praca przewozowa SO [pojh]	12 699	12 713	12 725
Praca przewozowa SO [pojkm]	391 547	391 777	391 977
Średnia prędkość podróży SO [km/h]	30,8	30,8	30,8

Źródło: opracowanie własne

ciągami są te same ciągi jak w wariancie W1. Duże potoki pasażerskie obserwowane są także w głównym, położonym w ciągu drogi krajowej nr 46 korytarzu na osi wschód–zachód (aleja Jana Pawła II) oraz w dwóch innych ciągach na osi wschód–zachód: na południu (ulica Piastowska) i zachodzie miasta (ulica Wyszyńskiego). Najbardziej obciążone są podobne trasy jak w wariancie W1, a także w stronę Lisińca/Grabówki (północny zachód). Zestawienie parametrów sieci dla wariantów W2 w godzinie popołudniowego szczytu komunikacyjnego przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Parametry sieci transportu zbiorowego w godzinie szczytu popołudniowego dla podwariantów wariantu W2			
Parametr	**Wartości dla podwariantów**		
	W2B	**W2C**	**W2D**
Interwał T [min]	5/10	6/12	7,5/15
Interwał A [min]	10/20	12/24	15/30
Liczba pasażerów TZ	9613	9512	9375
Praca przewozowa T [pash]	284	288	295
Praca przewozowa T [paskm]	5682	5755	5901
Praca przewozowa A [pash]	1669	1646	1578
Praca przewozowa A [paskm]	41 769	41 190	39 487
Liczba wozokm T	361	301	241
Liczba wozokm A	1595	1329	1063
Liczba wozokm T+A	1956	1630	1304
Koszt funkcjonowania TZ [zł]	16 420	13 682	10 946
Średnia prędkość podróży T [km/h]	20,0	20,0	20,0
Średnia prędkość podróży A [km/h]	25,0	25,0	25,0
Średni czas podróży TZ [min]	37,5	38,8	40,6
Kara za przesiadki [min]	5	5	10
Średni udział przesiadek	0,4	0,4	0,2
Praca przewozowa SO [pojh]	10 794	10 807	10 822
Praca przewozowa SO [pojkm]	356 996	357 238	357 521
Średnia prędkość podróży SO [km/h]	33,1	33,1	33,0

Źródło: opracowanie własne

Rozkład ruchu w transporcie zbiorowym w wariantach W3 pokazał, że najbardziej obciążonym ciągiem jest ponownie równoległy do tramwajowego, położony na zachodzie Śródmieścia ciąg (Bohaterów Monte Cassino – Słowackiego –Pułaskiego–Popiełuszki–Szajnowicza-Iwanowa) wraz z jego rozgałęzieniami os. Tysiąclecia na północy (ulica Obrońców Westerplatte) oraz os. Wrzosowiak na południu (ulica Jagiellońska). Zauważono także duże obciążenie innych, równoległych do opisanego ciągów (Krakowska/Kanał Kohna oraz ciąg tramwajowy wzdłuż alej: Niepodległości i Wolności). Dodatkowo w osi wschód–zachód najbardziej obciążone są: I Aleja NMP, Okulickiego, Mirowska, Piastowska, Wyszyńskiego, aleja Jana Pawła II. Największe potoki pasażerskie obserwowane są na trasach w stronę Rakowa, os. Tysiąclecia i os. Północ. Parametry charakteryzujące sieć komunikacji zbiorowej w Częstochowie w godzinie popołudniowego szczytu komunikacyjnego w wariantach W3 przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Parametry sieci transportu zbiorowego w godzinie szczytu popołudniowego dla podwariantów wariantu W3

Parametr	Wartości dla podwariantów		
	W3C	W3D	W3E
Interwał T [min]	6/12	7,5/15	10/20
Interwał A [min]	12/24	15/30	20/40
Liczba pasażerów TZ	9582	9438	9212
Praca przewozowa T [pash]	282	290	293
Praca przewozowa T [paskm]	5647	5801	5863
Praca przewozowa A [pash]	1648	1578	1531
Praca przewozowa A [paskm]	41 219	39 460	38 299
Liczba wozokm T	301	241	180
Liczba wozokm A	1628	1302	977
Liczba wozokm T+A	1929	1543	1157
Koszt funkcjonowania TZ [zł]	15 610	12 488	9367
Średnia prędkość podróży T [km/h]	20,0	20,0	20,0
Średnia prędkość podróży A [km/h]	25,0	25,0	25,0
Średni czas podróży TZ [min]	38,1	41,6	43,2
Kara za przesiadki [min]	5	10	10
Średni udział przesiadek	0,3	0,2	0,1
Praca przewozowa SO [pojh]	10 515	10 532	10 557
Praca przewozowa SO [pojkm]	350 386	350 719	351 189
Średnia prędkość podróży SO [km/h]	33,3	33,3	33,3

Źródło: opracowanie własne

Porównanie wariantów

Każdy z wariantów proponowanych zmian został porównany z wariantem bazowym W0. W analizie porównawczej za najbardziej istotne parametry do oceny końcowej wariantów uznano:

- liczbę pasażerów korzystających z transportu zbiorowego w godzinie szczytu popołudniowego;
- koszt funkcjonowania transportu zbiorowego, jaki jest ponoszony przez miasto (w przeliczeniu na jedną godzinę szczytu);
- średni czas podróży.

W tabelach 6–8 porównano parametry każdego z wariantów z wariantem W0.

Tabela 6

Zmiana procentowa liczby pasażerów w badanych wariantach w porównaniu z wariantem bazowym W0

Warianty dostępności sieci	Warianty interwałów kursowania				
	A	B	C	D	E
W1	-4,6%	-5,9%	**-6,9%**	-	-
W2	-	**+2,0%**	+0,9%	-0,6%	-
W3	-	-	+1,6%	+0,1%	-2,3%

Źródło: opracowanie własne

Analizując liczbę pasażerów w wariantach W1, W2 i W3 (tab. 6), można zaobserwować jej spadek wraz ze zmniejszaniem częstotliwości kursowania – ale także i stopniem dostępności sieci. W wariancie W1, w którym obsługiwane są tylko główne korytarze, spadki liczby pasażerów są najbardziej istotne (o ok. 4,6% do 6,9% w stosunku do wariantu W0). W pozostałych dwóch wariantach, tj. W2 i W3 przy najlepszej i średniej częstotliwości kursowania liczba pasażerów jest większa niż w wariancie bazowym. W wariancie W2B liczba pasażerów wzrasta o 2,0%, a w W3C o 1,6%. W ogólnym podsumowaniu zmiany liczby pasażerów przemawiają za wariantami W2B i W3C, jednakże wiąże się z nimi wzrost kosztów funkcjonowania transportu zbiorowego, który wzrasta m.in. przez wyższy udział pracy przewozowej tramwajów.

Tabela 7

Zmiana procentowa kosztu funkcjonowania transportu zbiorowego w badanych wariantach w porównaniu z wariantem bazowym W0

Warianty dostępności sieci	Warianty interwałów kursowania				
	A	B	C	D	E
W1	**+24,0%**	-13,9%	-28,2%	-	-
W2	-	+10,7%	-7,8%	-26,2%	-
W3	-	-	+5,2%	-15,8%	**-36,9%**

Źródło: opracowanie własne

Analizując koszt funkcjonowania transportu zbiorowego (tab. 7), widoczna jest zależność jego spadku w obrębie każdego z wariantów dostępności sieci wraz ze zmniejszaniem częstotliwości kursowania. Spadek całościowej pracy przewozowej nie jest równoznaczny ze spadkiem kosztów funkcjonowania, na co wpływ ma udział poszczególnych środków transportu w wykonywaniu pracy przewozowej. W wariancie W2C, który podobnie jak wariant W2B cechuje się wzrostem liczby pasażerów, koszty funkcjonowania transportu spadają o 7,8%. Lepiej kształtuje się wariant W3, gdzie spadek kosztów jest największy mimo zwiększenia zasięgu obsługi. Największy spadek kosztów widoczny jest w wariancie W3E – o 36,9% – jednak wiąże się z tym także spadek liczby pasażerów o 2,3%. Sięgające 13–28% spadki kosztów obserwowane są także w wariantach: W1B i W1C, nie mniej jednak spadki liczby pasażerów w nich są zbyt duże. Najmniejsze koszty generuje wariant bezpośrednich połączeń, ale za to z najgorszą częstotliwością, tj. wariant W3E.

Analizując czas podróży (tab. 8), widoczna jest zależność jego wzrostu w każdym z wariantów wraz ze spad-

kiem częstotliwości kursowania, ale także ze wzrostem dostępności sieci. Jest on najniższy w wariancie W1, czyli tam, gdzie oferowane są często kursujące pojazdy, ale obsługujące tylko główne ciągi transportowe (tj. model przesiadkowy). W porównaniu do wariantu bazowego największemu skróceniu, tj. o 11,1% czas podróży uległ w wariancie W1A. Największy jego wzrost widoczny jest w modelu bezpośrednim o najmniejszej częstotliwości, czyli w wariancie W3E – całkowity czas podróży wzrósł tu o 6,7%.

Tabela 8

Zmiana procentowa czasu trwania podróży w badanych wariantach w porównaniu z wariantem bazowym W0

Warianty dostępności sieci	Warianty interwałów kursowania				
	A	B	C	D	E
W1	**-11,1%**	-7,7%	-4,7%	-	-
W2	-	-7,4%	-4,2%	+0,2%	-
W3	-	-	-5,9%	+2,7%	**+6,7%**

Źródło: opracowanie własne

Rekomendacje

Biorąc pod uwagę przeanalizowane warianty, opisane różnymi parametrami, a zwłaszcza liczbą pasażerów, kosztem funkcjonowania transportu zbiorowego i średnim czasem podróży transportem zbiorowym, postanowiono zarekomendować wariant, który dał pozytywne wyniki we wszystkich trzech analizowanych parametrach tj. wariant W2C. Wariant W1 został odrzucony głównie ze względu na widoczne spadki liczby pasażerów w każdym przypadku, mimo jednoczesnych spadków kosztów funkcjonowania transportu zbiorowego oraz średniego czasu podróży. Lepsze wyniki pod względem kosztu funkcjonowania transportu zbiorowego dał wariant W3 niż wariant W2, aczkolwiek w wariancie W3D i W3E czas podróży i liczba pasażerów osiągają gorsze wartości niż w wariancie W2C, który jako jedyny przy jednoczesnym wzroście liczby pasażerów pozwolił na spadek kosztów funkcjonowania transportu zbiorowego i czasu trwania podróży:

- liczba pasażerów wzrosła o 0,9%,
- koszty funkcjonowania spadły o 7,8%,
- średni czas podróży spadł o niemal 2 minuty, tj. o 4,4%.

Lepsze parametry pod względem liczby pasażerów i czasu podróży osiąga wprawdzie wariant W2B, jednak jego wprowadzenie wiąże się ze wzrostem kosztów funkcjonowania transportu o 10,7%.

Drugim z wariantów, który można zarekomendować, jest wariant W3C. Daje on lepszy niż wariant W2C wynik pod względem liczby pasażerów i średniego czasu podróży, jednak wiąże się, ze wzrostem kosztów funkcjonowania transportu zbiorowego o 5,2%. Wobec powyższego widać, że oba rekomendowane warianty to warianty bazujące na interwale 6/12/24 minuty i pozwalające na zwiększenie liczby pasażerów. W przypadku możliwości zwiększenia nakładów finansowych na transport zbiorowy zarekomendowano wariant W3C.

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych w artykule analiz wskazują na potencjalną możliwość bardziej efektywnego wykorzystania systemu transportu zbiorowego w podróżach wewnętrznych w obrębie Częstochowy, poprzez optymalizację jego obecnego układu połączeń oraz interwału kursowania. Wskazują one, że możliwe jest utrzymanie stałej lub nieco wyższej liczby pasażerów przy jednoczesnej redukcji kosztów funkcjonowania transportu zbiorowego oraz pewnego spadku czasu podróży. Sugeruje to, że istniejący układ linii transportu zbiorowego w Częstochowie bazuje na zbyt dużej liczbie linii o charakterze bezpośrednim o stosunkowo niskich interwałach kursowania. Na podstawie podjętego w badaniach klasycznego problemu marszrutyzacji transportu zbiorowego wykazano optymalne efekty w wariancie pośrednim, tj. W2C, który pozwala na rozwiązania pośrednie, a nie skrajne, tj. niepełna dostępność sieci oraz średni takt kursowania pojazdów: 12/24 minuty dla większości linii.

Literatura

1. Bauer M., *Zasady kształtowania marszrut linii autobusowych w miastach średnich,* „Transport Miejski i Regionalny", 2012, nr 11.
2. Bauer M., Szałkowski M., *Propozycje zmian układu linii transportu zbiorowego w Krakowie,* „Transport Miejski i Regionalny", 2012, nr 9.
3. Dąbek P., *Transport zbiorowy jako podstawa atrakcyjności centrum miasta*, „Transport Miejski i Regionalny", 2013, nr 1.
4. Dudek M., Rudnicki A., *Wpływ czynnika jakości na dobór rodzaju środka przewozowego miejskim transportem zbiorowym*, „Transport Miejski i Regionalny", 2008, nr 2.
5. Fielbaum A., Jara-Diaz S., Gschwender A., *Optimal public transport networks for a general urban structure,* "Transportation Research", Part B 94, 2016.
6. *Miasto Częstochowa*, Statystyczne Vademecum Samorządowca, Urząd Statystyczny w Katowicach, 2016.
7. *Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Miasta Częstochowy* – Załącznik do Uchwały Nr 238/XX/2015 Rady Miasta Częstochowy z dnia 30 grudnia 2015 r.
8. Rudnicki, A., *Jakość komunikacji miejskiej*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, 1999.
9. *Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Częstochowy* – tekst ujednolicony, lipiec 2015 r.
10. Szarata A., *Metodyka badań strategicznych wariantów rozwoju systemu transportu zbiorowego w obszarach zurbanizowanych*, „Transport Miejski i Regionalny", 2015, nr 7.
11. Szarata A. z zespołem, *Model transportowy dla miasta Częstochowy*, Opracowanie dla Urzędu Miasta Częstochowa, 2015.

Źródła internetowe

12. Częstochowa – informacje o mieście, http://www.czestochowa.pl/page/21,informacje-o-miescie.html – dostęp 30.04.2017 r.
13. Miasta największe pod względem liczby ludności, http://stat.gov.pl/statystyka-regionalna/rankingi-statystyczne/miasta-najwieksze-pod-wzgledem-liczby-ludnosci/ – dostęp 30.04.2017 r.
14. Miejski Zarząd Dróg i Transportu w Częstochowie – Rozkład jazdy, http://mzd.czest.pl/publiczny-transport-zbiorowy/rozklady-jazdy – dostęp 1.05.2017 r.
15. Problem komiwojażera, http://www.mini.pw.edu.pl/MiNI wyklady/grafy/prob-komiw.html – dostęp 23.05.2017r.

Od Redakcji

Członkowie władz SITK RP w obchodach jubileuszowych 15-lecia działalności kontrolnej Inspekcji Transportu Drogowego

W dniu 29 września 2017 roku, w Bibliotece Narodowej w Warszawie, odbyły się uroczystości jubileuszowe działalności kontrolnej Inspekcji Transportu Drogowego w Polsce. Uroczystości jubileuszowe otworzył główny inspektor Transportu Drogowego **dr inż. Alvin Gajadhur,** witając zaproszonych gości i przedstawicieli Wojewódzkich Inspektoratów Transportu Drogowego oraz Głównego Inspektoratu.

W uroczystej gali udział wzięli znamienici goście – przedstawiciele władz państwowych, urzędów centralnych, parlamentarzyści RP, organizacji i stowarzyszeń branżowych, w tym między innymi: małżonka Prezydenta RP **Agata Kornhauser-Duda**, marszałek Senatu **Stanisław Karczewski,** minister Infrastruktury i Budownictwa **Andrzej Adamczyk**, członek RM **Elżbieta Witek,** przewodniczący sejmowej komisji infrastruktury **Bogdan Rżońca**, wyróżnieni i nagrodzeni inspektorzy oraz pracownicy ITD z całej Polski. Liczne listy gratulacyjne z życzeniami, w tym od marszałka Sejmu Marka Kuchcińskiego odczytała dyrektor Gabinetu Głównego Inspektora **Urszula Nowinowska.**

Podczas obchodów 15-lecia działalności kontrolnej ITD na polskich drogach nie zabrakło najwyższych odznaczeń, w tym medali za długoletnią służbę oraz odznaczeń resortowych zasłużony dla Transportu RP, które wyróżnionym inspektorom i pracownikom ITD wręczyli minister infrastruktury i budownictwa Andrzej Adamczyk i główny inspektor Transportu Drogowego dr inż. Alvin Gajadhur.

W ramach obchodów jubileuszowych, przed uroczystą galą, odbyła się również Międzynarodowa Konferencja pt. „Bezpieczeństwo w Transporcie Drogowym". W panelu dyskusyjnym udział wzięli: **Bogdan Oleksiak** – dyrektor Departamentu Transportu Drogowego z Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa, Łukasz Bryła – zastępca głównego inspektora transportu drogowego, **Grzegorz Bukowski** – zastępca naczelnika Wydziału Inspekcji z Wojewódzkiego Inspektoratu Transportu Drogowego w Olsztynie, **Marek Glaser** z Federalnego Urzędu ds. Transportu Towarowego z Niemiec oraz **Frederie Bechana** reprezentujący organizację europejską Euro Controle Route.

Dyskusja dotyczyła roli Inspekcji Transportu Drogowego zarówno w kraju, jak i na arenie międzynarodowej, a także zachodzących zmian i problemów w transporcie drogowym.

W uroczystościach uczestniczyli przedstawiciele władz Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP: **Seweryn Kaczmarek** – jako Wiceprezes Zarządu Krajowego SITK RP oraz pierwszy główny Inspektor Transportu Drogowego w Polsce i **Kazimierz Gabryś** przewodniczący Krajowego Sądu Koleżeńskiego SITK RP – pierwszy pracownik i Dyrektor Generalnego Inspektoratu Transportu Drogowego. Od podstaw, począwszy od 2001 roku, organizowali oni w Ministerstwie Transportu – w ramach projektu PHARE – Inspekcję Transportu Drogowego w Polsce. Powołanie ITD było spełnieniem jednego z warunków akcesyjnych Unii Europejskiej i stanowiło gwarancję wiarygodności Polski jako państwa graniczącego z UE i ubiegającego się o członkostwo we Wspólnocie.

Inspekcja Transportu Drogowego powołana została na mocy Ustawy z dnia 6 września 2001 roku o transporcie drogowym. Celem utworzenia tej wyspecjalizowanej służby było i jest zapewnienie uczciwej konkurencji w transporcie drogowym, poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego i ochrona środowiska. W ciągu 15 lat inspektorzy ITD skontrolowali ponad 2 mln 640 tysięcy pojazdów, wydali 373 tysięcy decyzji administracyjnych nakładających kary na przewoźników drogowych, nałożyli 353 tysięcy mandatów na kierowców z ustawy o transporcie drogowym oraz 244 tysięcy mandatów za łamanie prawa o ruchu drogowym. Inspektorzy zatrzymali 188 tysięcy dowodów rejestracyjnych niesprawnych pojazdów.

W celu poprawy infrastruktury drogowej inspektorzy uczestniczyli w kontroli wagi samochodów ciężarowych. W okresie 15 lat zważyli ponad ćwierć miliona pojazdów, nakładając 37 tysięcy decyzji administracyjnych na przewoźników drogowych i 28 tysięcy mandatów na kierowców nie przestrzegających dopuszczalnych norm załadunku towarów.

Przeprowadzono również 236 tysięcy kontroli ADR (przewozów materiałów niebezpiecznych), 397 tysięcy kontroli przewozu osób, 32,5 tysięcy kontroli transportu zwierząt i 49,5 tysięcy kontroli przewozu odpadów.

Rocznie inspektorzy ITD dokonują ponad 200 tysięcy kontroli drogowych. Najczęściej ujawniane naruszenia to te dotyczące nieprzestrzegania przez kierowców przepisów dotyczących czasu prowadzenia pojazdów oraz obowiązujących przerw i odpoczynków, a także związane z nieprawidłowym używaniem urządzeń rejestrujących do opat za korzystanie z dróg.

Wszystkie te działania miały ogromny wpływ na poprawę przestrzegania przepisów obowiązujących w transporcie drogowym, w szczególności przepisów dotyczących czasu pracy kierowców, co miało bezpośrednie przełożenie na wzrost bezpieczeństwa w ruchu drogowym.

Obecnie w Inspekcji Transportu drogowego pracuje ok. 700 inspektorów realizujących zadania z zakresu kontroli transportu drogowego i kontroli prawidłowości uiszczania opłaty elektronicznej za przejazdy po dogach krajowych. Oprócz działań kontrolnych, inspektorzy ITD angażują się w akcje o charakterze profilaktyczno-edukacyjnym, których celem jest poprawa bezpieczeństwa na polskich drogach.

Polska Inspekcja Transportu Drogowego jest oceniana jako jedna z najlepszych służb kontroli drogowej w Europie.

Opracował: Kazimierz Gabryś

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP Oddział w Krakowie

przy udziale:

- Krajowej Sekcji Kolejowej SITK RP
- Politechniki Krakowskiej – Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego
- PKP Polskich Linii Kolejowych SA
- Małopolskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa w Krakowie

zaprasza do udziału w XVI Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej

NOWOCZESNE TECHNOLOGIE I SYSTEMY ZARZĄDZANIA W TRANSPORCIE SZYNOWYM

29 listopada–1 grudnia 2017 r., Hotel Mercure KASPROWY ZAKOPANE

TEMATYKA KONFERENCJI

- Nowoczesne technologie w projektowaniu, budowie, utrzymaniu, diagnostyce i eksploatacji infrastruktury kolejowej i taboru szynowego do przewozu osób i rzeczy.
- Inwestycje perspektywy 2014–2020.
- Rozwój transportu szynowego w aglomeracjach.
- Certyfikacja i dopuszczenia do eksploatacji podsystemów strukturalnych wynikających z interoperacyjności.
- Nowoczesne modele zarządzania infrastrukturą.
- Zagadnienia transportu szynowego w kształceniu na uczelniach technicznych.

PATRONAT HONOROWY

- Andrzej Adamczyk – Minister Infrastruktury i Budownictwa
- Ignacy Góra – Prezes Urzędu Transportu Kolejowego
- Piotr Ćwik – Wojewoda Małopolski
- Jacek Krupa – Marszałek Województwa Małopolskiego
- Krzysztof Mamiński – Prezes Zarządu PKP SA
- Ireneusz Merchel – Prezes Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe SA
- Adam Wielądek – Honorowy Przewodniczący UIC
- Andrzej Gołaszewski – Prezes Honorowy SITK RP Senior
- Janusz Dyduch – Prezes Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP

PATRONAT MEDIALNY

budownictwo inżynieryjne.pl

przegląd komunikacyjny

TRANSPORT MIEJSKI I REGIONALNY
URBAN AND REGIONAL TRANSPORT

tts TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO koleje • tramwaje • metro

SITK RP Oddział w Krakowie
ul. Siostrzana 11, 30-804 Kraków
tel: (12) 658-93-72, (12) 658-93-74 fax: (12) 659-00-76
e-mail: anna.bujak@sitkrp.org.pl lub janina.mrowinska@sitkrp.org.pl

Więcej informacji na temat wydarzenia:
http://www.sitk.org.pl/nowoczesne-technologie-i-systemy-zarzadzania-w-transporcie-szynowym-2017