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 (Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Krakowie)
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. dr hab. inż. Stanisław Gaca (Politechnika Krakowska – inżynieria ruchu), dr inż. Ryszard Janecki (Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Krakowie), 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 Zurowska (Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Oddział w Krakowie)

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 półrocznym 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, 2020

Informacje dodatkowe
Za treść i formę ogłoszeń oraz reklam Redakcja nie odpowiada.

Spis treści

Grzegorz Krawczyk, Barbara Kos, Robert Tomanek 3
Kierunki zmian modelu mobilności na podstawie badań zachowań komunikacyjnych klasy kreatywnej w polskich metropoliach
Trends of changes in the mobility model based on research on transport behaviors of the creative class in Polish metropolises

Wiesław Starowicz, Grzegorz Dyrkacz 9
Transport zbiorowy na żądanie na przykładzie Krakowa
Collective public transport on demand on the example of Kraków

Maciej Helbin, Olgierd Wyszomirski 16
Ewolucja informacji o usługach w zbiorowym transporcie miejskim na przykładzie Zarządu Komunikacji Miejskiej w Gdyni
Evolution of information on services in collective urban transport on the example of the Public Transport Board in Gdynia

Wojciech Bąkowski 22
Niedoskonałości współpracy naukowców i praktyków w rozwiązywaniu problemów miejskiego publicznego transportu zbiorowego
Deficiencies in cooperation between researchers and practitioners in solving urban public transport problems

Mariusz Izdebski, Marianna Jacyna, Piotr Kisielewski 26
Zastosowanie algorytmu mrówkowego do wyznaczania przydziału pojazdów do zadań w miejskim transporcie zbiorowym
Application of the ant algorithm to determine the allocation of vehicles to urban public transport tasks

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
Nowy Komunikat Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 31 lipca 2019 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych wraz z przypisaną liczbą punktów w obszarze transportu obejmuje tylko niektóre wydawane w Polsce anglojęzyczne czasopisma. Pomimo, że *Transport Miejski i Regionalny* nie znajduje się na liście, Redakcja podjęła decyzję o dalszym wydawaniu czasopisma, chcąc być platformą aktualnej wiedzy dla samorządów, zarządców transportu, operatorów i przewoźników.

Prenumerata TMiR w 2020 roku
Cena egzemplarza – **25 zł** (zagraniczna – **12 euro** z kosztami przesyłki)
Koszt prenumeraty półrocznej – **150 zł** (zagraniczna – **72 euro** z kosztami przesyłki)
Koszt prenumeraty rocznej – **300 zł** (zagraniczna – **144 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

Grzegorz Krawczyk, Barbara Kos, Robert Tomanek

Trends of changes in the mobility model based on research on transport behaviors of the creative class in Polish metropolises

Abstract: The article presents the results of studies on mobility behaviors of the creative class carried out in the agglomerations of Warsaw, Gdańsk and Katowice. Creative class mobility and transport preferences have also been analyzed. Theoretical and practical conclusions were presented on the basis of the results of the conducted research. The creative class is willing to resign from cars but expects an increase in the quality of public transport first of all accessibility is required. The results of creative class research should be applied when creating transport policy in metropolises.

Key words: mobility, sustainable mobility, creative class.

Wiesław Starowicz, Grzegorz Dyrkacz

Collective public transport on demand on the example of Kraków

Abstract: The on-demand bus service is mainly aimed at people living in sparsely populated areas, where it is highly unprofitable to maintain permanent lines. It significantly reduces passenger waiting time at a bus stop and provides easy access to interchanges of public transport lines running to the city center. It encourages the increased mobility of citizens on the outskirts of cities, especially those not yet served due to insufficient demand for regular transport. It allows to handle a larger area with fewer vehicles. It can be a perfect complement to conventional transport offer. The article, against the background of theoretical considerations about the service, presents the results of its functioning under the name TELE-BUS in Kraków. The service was launched in 2007. The results include an analysis of the variability of the volume of transport, the number of completed journeys, the average annual number of passengers carried on the journey, the average annual length of the journey and transport work.

Key words: public transport, public collective transport on demand, TELE-BUS.

Maciej Helbin, Olgierd Wyszomirski

Evolution of information on services in collective urban transport on the example of the Public Transport Board in Gdynia

Abstract: Under the influence of changes in available information technologies, passengers expect better and better information about services. Information solutions used by organizers and operators of urban public transport have undergone far-reaching changes in recent years.The article presents modern applied information solutions in urban public transport. The role of information in this transport has been shown on the example of the Public Transport Board in Gdynia. In connection with the introduction in the Tri-City a modern TRISTAR traffic management system and the purchase of many modern buses and trolleybuses, the information system for passengers about the services of this organizer has been significantly developed. An important role in this system is played by websites and internet applications that are constantly improving their functionality, providing both static and dynamic information about urban public transport services. Innovative and modern information carriers and internet applications have become the basis for the evolution of transport services. It can be assumed that thanks to the Internet of Things will continue to develop applications presenting available travel methods together with all necessary information to make rational or optimal decisions in the given conditions determining transport behavior.

Key words: urban public transport, transport postulates, service-related information.

Wojciech Bąkowski

Deficiencies in cooperation between researchers and practitioners in solving urban public transport problems

Abstract: Two very unfavourable processes have emerged in the functioning of urban public transport: the exploitation of used rolling stock and a continuous increase in the amount of urban transport subsidies. One of the reasons for these phenomena is the poor cooperation between the scientific community and practitioners. The article presents imperfections in the methodology of studying problems of the public transport functionning. On the other hand, it has been shown that there are imperfections in public transport management at the level of municipal authorities. The lack of changes in the approach to studying processes in urban transport by practitioners and scientists is unfavorable for the implementation of modern solutions in urban transport system.

Key words: urban transport, public transport, cooperation between researchers and practitioners.

Mariusz Izdebski, Marianna Jacyna, Piotr Kisielewski

Application of the ant algorithm to determine the allocation of vehicles to urban public transport tasks

Abstract: The article describes the application of the ant algorithm in the problem of vehicle allocation to tasks in public transport. The analyzed allocation problem is a complex optimization problem that classifies it as NP-difficult. In the area of public transport issues it is a basic problem that should be solved in the process of constructing timetables and work plans for vehicles and drivers. The purpose of this publication was to develop a new optimization tool adequate to the analyzed issue of the allocation of vehicles to tasks in public transport. The presented ant algorithm is a new approach used to solve allocation issues in public transport and is the basis for further research on the development of new optimization methods in the studied problem. The developed algorithm minimizes the number of vehicles while minimizing working time and the distance traveled by the operating vehicles. A mathematical model has been developed on the issue of allocation of vehicles in public transport, i.e. decision variables, constraints and criterion functions were defined. The restrictions on the allocation result from the duration of the courses on a given business day, legal restrictions on the driver's working time and driving time, as well as the available number of vehicles. The problem was presented in a multi-criteria aspect, where the decisive factor in assessing the effective allocation is the time and distance covered by all vehicles carrying out the assigned tasks. The article presents the general concept of the ant algorithm, which is in the process of verification on theoretical data and real databases of public transport companies.

Key words: public transport, vehicle assignment, ant algorithm.

GRZEGORZ KRAWCZYK
dr, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Katedra Transportu, 1 Maja 50, 40-069 Katowice, e-mail: grzegorz.krawczyk@ue.katowice.pl
BARBARA KOS
dr hab., prof. UEK, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Katedra Transportu, 1 Maja 50, 40-069 Katowice, e-mail: barbara.kos @ue.katowice.pl
ROBERT TOMANEK
dr hab., prof. UEK, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Katedra Transportu, 1 Maja 50, 40-069 Katowice, e-mail: robert.tomanek @ue.katowice.pl

Kierunki zmian modelu mobilności na podstawie badań zachowań komunikacyjnych klasy kreatywnej w polskich metropoliach[1]

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań zachowań mobilnościowych klasy kreatywnej przeprowadzonych w aglomeracjach: warszawskiej, gdańskiej i katowickiej. Analizowano także preferencje komunikacyjne klasy kreatywnej. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań sformułowano wnioski o znaczeniu teoretycznym i praktycznym. Klasa kreatywna jest skłonna do odejścia od samochodów, jednak oczekuje wzrostu jakości publicznego transportu zbiorowego – przede wszystkim dostępności. Wyniki badań klasy kreatywnej należy wykorzystać w kreowaniu polityki transportowej w metropoliach.
Słowa kluczowe: mobilność, zrównoważona mobilność, klasa kreatywna

Wprowadzenie

Modele mobilności miejskiej ulegają ciągłym zmianom. W szczególności duża dynamika przekształceń charakterystyczna jest dla obszarów aglomeracyjnych. Mobilność ma istotne znaczenie dla funkcjonowania systemów miejskich – jest wyznacznikiem jakości życia oraz czynnikiem wzrostu konkurencyjności gospodarki. Mobilność kształtowana jest przez wiele czynników, w szczególności przez media oraz w efekcie naśladownictwa zachowań jednostek i grup społecznych.

Na obszarach metropolitalnych prowadzona jest różnorodna działalność, a w szczególności służąca realizacji wyższych funkcji miejskich, takich jak administracja, kultura, sztuka, nauka i edukacja. Realizacja tych funkcji tworzy warunki dla rozwoju klasy kreatywnej. Autorzy niniejszego artykułu zwrócili uwagę na rolę tej grupy społecznej w kształtowaniu mobilności. Aby zbadać mobilność klasy kreatywnej, przeprowadzono badania pierwotne za pomocą kwestionariusza ankiety w trzech polskich metropoliach: Warszawie, Trójmieście i aglomeracji katowickiej (obszar związku metropolitalnego pod nazwą Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia /GZM/). Wyniki badań pozwoliły na charakterystykę zachowań komunikacyjnych klasy kreatywnej oraz tendencji zmian, które będą oddziaływać na modele mobilności w metropoliach.

W artykule wykorzystano wyniki powyższych badań empirycznych oraz przeglądu literatury przeprowadzonego w ramach projektu badawczego realizowanego w Uniwersytecie Ekonomicznym w Katowicach latach 2018–2020 i poświęconego mobilności w metropoliach. Szerzej wyniki badań zaprezentowano w monografiach wydanych w 2018 i 2020 roku[2]. W artykule przedstawiono także wyniki niepublikowane do tej pory, a zidentyfikowane w badaniach empirycznych klasy kreatywnej.

Charakterystyka klasy kreatywnej

Termin „klasa kreatywna" został użyty przez R. Floridę w 2002 roku w pracy pt.: *The Rise of the Creative Class*[3] (*Narodziny klasy kreatywnej*). Według Floridy podstawą wydzielenia jest wykonywanie pracy polegającej na tworzeniu nowych i znaczących rozwiązań (o charakterze twórczym, innowacyjnym i artystycznym). R. Florida wyróżnił dwie podgrupy klasy kreatywnej:

- superkreatywny rdzeń, tworzony przez naukowców, inżynierów, artystów, projektantów i architektów, programistów, przedstawicieli środowisk opiniotwórczych (np. autorów literatury faktu, wydawców, analityków);
- twórczych profesjonalistów pracujących w dziedzinach wymagających zaawansowanej wiedzy i umiejętności, np. osoby zatrudnione w: zawodach prawniczych, sektorach hi-tech, branży usług finansowych ochronie zdrowia oraz specjalistów w zakresie zarządzania.

Klasa kreatywna jest motorem napędowym lokalnego i regionalnego rozwoju. Jej przedstawiciele są wykształceni, żyją w otwartym i tolerancyjnym otoczeniu. R. Florida model rozwoju związany z istnieniem klasy kreatywnej opisał za pomocą akronimu 3T: technologia, talent, tolerancja. Klasa kreatywna ze względu na swój status i ekspozycję społeczną ma charakter opiniotwórczy, a jej przedstawiciele są liderami rozwoju w lokalnych społecznościach. Dlatego klasa ta wyznacza wzorce mobilności i szybciej adaptuje zmiany zachowań propagowane w środowisku klasy kreatywnej światowych metropolii. W szczególności klasa kreatywna kreuje wzorce zachowań charakterystycznych dla zrównoważonej mobilności miejskiej, ponieważ:

- członkowie grupy posiadają stabilną sytuację materialną, stąd też będą mniej negatywnie nastawieni do zgodnych z paradygmatem zrównoważonego rozwoju działań restrykcyjnych np. ograniczenie dostępu starszych samochodów (lub samochodów z silnikiem diesla) do centrum miasta;

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2020. Procentowy udział wkładu autorów w publikację: Krawczyk 50%, Kos 25%, Tomanek 25%

[2] B. Kos, G. Krawczyk, T. Tomanek, *Modelowanie mobilności w miastach*, UE w Katowicach, Katowice 2018 oraz B. Kos, G. Krawczyk, T. Tomanek, *Inkluzywna mobilność we metropoliach*, UE Katowice, Katowice 2020.

[3] R. Florida, *The Rise of Creative Class: And How It's Transforming Work, Leisure, Community and Everyday Life*, Basic Book, New York 2002.

- ze względu na międzynarodowe kontakty (np. praca w globalnym koncernie) i większą skłonność do podróży, chętnie sięgają do zagranicznych wzorców w kontekście rozwiązywania lokalnych problemów transportowych – np. zatłoczenia;
- przedstawiciele klasy kreatywnej są świadomi negatywnego oddziaływania transportu na otoczenie (w tym środowisko naturalne) i są w stanie zmienić własne nawyki transportowe;
- nie czują obaw w kontakcie z nowoczesną technologią i szybciej niż reszta społeczeństwa adaptują nowe rozwiązania;
- cechą charakterystyczną dla klasy kreatywnej jest otwartość i tolerancja, która przejawia się także w akceptacji zachowań transportowych innych osób, które np. korzystają z roweru w dojazdach do pracy.

Rozwój miast powoduje wzrost znaczenia klasy kreatywnej. Jest ona niezbędnym czynnikiem rozwojowym, a także odgrywa coraz większą rolę sprawczą w systemach polityki lokalnej. Dlatego właśnie obserwacja zachowań mobilnościowych klasy kreatywnej oraz wykorzystanie wiedzy o tych zachowaniach odgrywa coraz większą rolę w zarządzaniu mobilnością miejską i metropolitalną.

Zachowania i preferencje komunikacyjne klasy kreatywnej w świetle badań

Charakterystyka zachowań komunikacyjnych klasy kreatywnej została sporządzona w oparciu o wyniki badań empirycznych zrealizowanych w 2019 roku w Uniwersytecie Ekonomicznym w Katowicach przez Centrum Badań i Transferu Wiedzy, w ramach prowadzonych przez autorów badań statutowych. Badania zostały przeprowadzone na grupie celowej w trzech polskich ośrodkach metropolitalnych: Warszawie, Trójmieście oraz Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM). Podstawowe dane badanych obszarów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Charakterystyka obszarów uwzględnionych w badaniach klasy kreatywnej

Przekrój danych	Liczba mieszkańców [os.]	Powierzchnia [km²]	Liczba samochodów osobowych [poj.]	Gęstość zaludnienia [os./km²]	Wskaźnik motoryzacji [poj./1000 os.]
Warszawa[1]	1 777 972	517	1 332 923	3 439	750
Trójmiasto[2]	748 986	414	463 543	1 809	619
GZM[3]	1 758 096	1 065	938 049	1 651	534

[1] dane dla M. st. Warszawa, [2] dane łączne dla miast: Gdańsk, Gdynia, Sopot, [3] dane łączne dla miast: Bytom, Chorzów, Dąbrowa Górnicza, Gliwice, Katowice, Mysłowice, Piekary Śląskie, Ruda Śląska, Siemianowice Śląskie, Sosnowiec, Świętochłowice, Tychy, Zabrze.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie Bank Danych Lokalnych GUS https://bdl.stat.gov.pl/BDL/start

W każdym z ośrodków przeprowadzono 150 wywiadów ankietowych metodą PAPI, w konsekwencji łącznie dla całego badania uzyskano 450 w pełni zrealizowanych badań kwestionariuszowych. Badanie zostało przeprowadzone w okresie od 15 lipca do 15 września 2019 roku. Dobór próby miał charakter celowy. Ze względu na specyfikę grupy badanie zostało przeprowadzone w wybranych zakładach pracy, które spełniały dwa kryteria: mieściły się na obszarze wskazanych metropolii oraz kwalifikowały się do grupy branż kreatywnych.

Struktura zawodowa uczestników badania przedstawia się następująco:

- działalność artystyczna: 57,56%,
- badania i rozwój: 36,44%,
- branża reklamowa: 6,00%.

Podstawowym narzędziem zaspakajania potrzeb mobilnościowych przez klasę kreatywną w badanych metropoliach jest samochód. Średnia liczba samochodów osobowych w gospodarstwach domowych wyniosła 1,17 (przy wartości mediany równej 1). Dane dla poszczególnych metropolii przedstawiają się następująco:

- Warszawa: 1,18,
- Trójmiasto: 0,99,
- GZM: 1,35.

Wysoki wskaźnik motoryzacji zanotowany w aglomeracji katowickiej jest prawdopodobnie efektem rozległości obszaru metropolitalnego oraz gorszej dostępności transportowej transportu zbiorowego. W tabeli 2 przedstawiono liczbę samochodów w gospodarstwach domowych. Jest ona wysoka, w szczególności widać, że GZM ma znacząco więcej gospodarstw z trzema i więcej samochodami.

Tabela 2

Liczba samochodów w gospodarstwach domowych respondentów

Przekrój danych	Brak samochodu [%]	1 samochód [%]	2 samochody [%]	3 samochody i więcej[%]
Ogólnie	14,2	59,1	22,9	3,8
Warszawa	8,1	67,1	22,8	2,0
Trójmiasto	18,0	66,7	14,0	1,3
GZM	16,0	44,0	32,0	8,0

Źródło: opracowanie własne

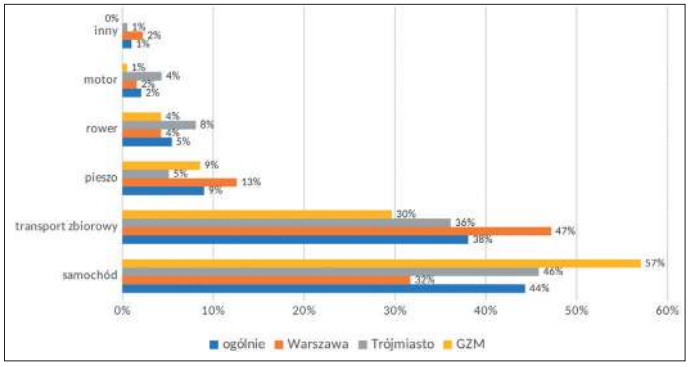
Na podstawie sporządzonych dzienniczków podróży można zauważyć (zob. tab. 3), że o ile średnia liczba przemieszczeń i podróży kształtuje się na podobnym poziomie, o tyle już w przypadku średniej odległości podróży w aglomeracji katowickiej notuje się znacznie większe dystanse. To skłania do wniosku, że duży udział gospodarstw domowych, z przynajmmniej dwoma i więcej samochodami, jest efektem wtórnym zapotrzebowania na realizację potrzeb mobilnościowych przez słabszą dostępność alternatywnych możliwości. Silne powiązanie wykorzystania samochodu i transportu zbiorowego widać z zestawienia modal split dla badanych

Tabela 3

Liczba podróży realizowanych przez respondentów (fotografia dnia roboczego)

Przekrój danych	Średnia liczba przemieszczeń w dobie	Średnia liczna podróży w dobie	Średnia odległość podróży [km]	Średni dobowy dystans respondenta [km]
Ogólnie	2,69	2,32	11,60	26,91
Warszawa	2,97	2,34	9,53	22,30
Trójmiasto	2,47	2,17	11,38	24,74
GZM	2,64	2,45	13,77	33,69

Źródło: opracowanie własne



Rys. 1. Modal split podróży klasy kreatywnej
Źródło: opracowanie własne

obszarów metropolitalnych (rys. 1). Szczególnie duży udział samochodów w zaspokajaniu potrzeb mobilnościowych zanotowano także w aglomeracji katowickiej.

Zmiana modelu mobilności w metropoliach wymaga przejścia pasażerów z transportu indywidualnego na zbiorowy. W badaniach zapytano respondentów o ocenę czynników zachęcających do takiego zachowania (tab. 4). Poza Trójmiastem najwyżej oceniane jest obniżanie cen biletów. Jednak można zauważyć, że dominują instrumenty poprawiające jakość transportu zbiorowego. Klasa kreatywna zdaje się też akceptować konieczność zmiany modelu mobilności, ponieważ tylko 2% ankietowanych całkowicie odrzuca przejście z samochodu do transportu zbiorowego.

Tabela 4

Czynniki zachęcające do rezygnacji z transportu indywidualnego na rzecz transportu publicznego przez respondentów

Zakres danych	obniżenie cen biletów [%]	wyższa częstotliwość kursowania [%]	powstanie parkingów P&R [%]	dogodniejsza lokalizacja przystanków [%]	podniesienie komfortu [%]	rozbudowa siatki połączeń [%]	powstanie węzłów przesiadkowych [%]	inne [%]	nic mnie nie przekona [%]
Ogólnie	22,9	19,0	8,2	11,0	12,5	15,8	7,1	1,4	2,1
Warszawa	25,4	18,8	6,9	12,2	12,4	15,2	8,1	0,3	0,8
Trójmiasto	13,6	14,6	13,9	15,2	17,4	14,2	8,5	0,0	2,5
GZM	28,9	23,6	4,3	5,6	7,8	18,0	4,3	4,0	3,4

Źródło: opracowanie własne

Rolę samochodu w obsłudze mobilności (a może także w poczuciu wolności wynikającym z chęci swobody w dostępie do środków transportowych) podkreśla zidentyfikowana w badaniach niechęć do restrykcyjnych instrumentów polityki transportowej mających na celu ograniczenie korzystania z samochodów. To rodzi istotny wniosek praktyczny – instrumenty restrykcyjne muszą być bezpośrednio i wyraźnie powiązane z instrumentami o pozytywnym wydźwięku.

Wykorzystanie rowerów (deklarowane na poziomie 5% – rys. 1) w równoważeniu mobilności jest wyraźnie mniejsze (tab. 5). W GZM ponad ¼ respondentów odrzuca możliwość używania roweru w codziennych podróżach. Na podstawie odpowiedzi można uznać, że w badanych metropoliach występują różnice w zakresie dostępności liniowej infrastruktury rowerowej – w szczególności mniej rozwinięta jest w aglomeracji katowickiej, co znajduje odbicie

Tabela 5

Identyfikacja głównych czynników zachęcających respondentów do realizacji codziennych podróży rowerem

Przekrój danych	zadaszony parking [%]	dostępność dróg rowerowych [%]	dostępność parkingów B&R [%]	możliwość pozostawienia roweru w bezpiecznym miejscy, w punkcie docelowym [%]	inne [%]	nic mnie nie przekona [%]
Ogólnie	12,4	23,4	20,2	26,3	0,8	16,8
Warszawa	15,2	18,2	21,2	26,9	1,5	17,0
Trójmiasto	14,7	20,2	26,0	29,8	0,8	8,5
GZM	6,6	33,2	12,4	21,7	0,0	26,1

Źródło: opracowanie własne

w silniej postulowanym rozwoju dróg rowerowych oraz znacznie mniejszym zainteresowaniu parkingami rowerowymi. Wydaje się, że rower jeszcze długo będzie pełnił przede wszystkim funkcje rekreacyjne.

O rzeczywistym zainteresowaniu rowerami w zaspokajaniu potrzeb przewozowych w miastach świadczą odpowiedzi na pytanie dotyczące wykorzystania roweru w zależności od pogody (tab. 6). Okazuje się, że tylko 6,8% respondentów deklaruje chęć stałego używania roweru, a w GZM odsetek ten wynosi jeszcze mniej bo 3,9%. Jeśli respondenci deklarują, że roweru będą używać tylko przy dobrej pogodzie i poza zimą, to tym samym traktują rower jako uzupełniający środek transportu i sprzęt sportowo-rekreacyjny. Potwierdza to przypuszczenie, że rowery jeszcze przez wiele lat będą służyć głównie rekreacji. Wzrostu transportowego znaczenia roweru (po spełnieniu wymagań dotyczących infrastruktury) można upatrywać w kształtowaniu zachowań komunikacyjnych młodszych pokoleń – niezależnie od klasy społecznej.

Tabela 6

Wykorzystanie rowerów przez respondentów w zależności od warunków pogodowych

Przekrój danych	Bez względu na warunki pogodowe, również zimą [%]	Bez względu na warunki pogodowe, za wyjątkiem zimy [%]	Tylko w przypadku dobrej pogody [%]
Ogólnie	6,8	21,5	71,7
Warszawa	3,6	27,5	68,8
Trójmiasto	12,5	25,0	62,5
GZM	3,9	10,9	85,2

Źródło: opracowanie własne

Kwestia rozwoju zeroemisyjnej i niskoemisyjnej motoryzacji budzi coraz więcej wątpliwości – nie tylko ekspertów, ale także mediów i przede wszystkim użytkowników. Pojazdy elektryczne w ostatnich latach traktowane są jako potencjalna alternatywa motoryzacji o napędzie spalinowym, zwłaszcza w perspektywie 10–20 lat. Jednak dziś rozwój elektromobilności indywidualnej napotyka na następujące bariery:

- wysoka cena pojazdów – nawet z uwzględnieniem dopłat[4],

[4] E. Bednarz, *Wciąż nie ruszył nabór na dopłaty do samochodów elektrycznych dla osób fizycznych. Firmy poczekają jeszcze dłużej*, „Rzeczpospolita" z 19.01.2020, https://www.rp.pl/MP-Firma/301189978-Co-sie-dzieje-z-doplatami-do-aut-elektrycznych-dla-firm.html, 25.01.2020.

- brak infrastruktury ładowania,
- opóźnienia startu i coraz mniejsza rola programu dopłat do ceny samochodów elektrycznych,
- wzrost cen energii elektrycznej (w tym ładowania w szybkich ładowarkach)[5],
- ograniczenia użyteczności pojazdów z napędem elektrycznym (niski zasięg).

Nie można się zatem dziwić, że klasa kreatywna sceptycznie pochodzi do planów zakupu pojazdu elektrycznego, a szerzej niskoemisyjnego. Największe zainteresowanie przejawia zakupem pojazdów hybrydowych – po części jest to zapewne wynikiem ich upowszechnienia w ofertach koncernów samochodowych w efekcie polityki klimatycznej Unii Europejskiej (tab. 7).

Tabela 7

Plany respondentów w zakresie wymiany samochodu spalinowego na elektryczny lub hybrydowy

Przekrój danych	Nie zamierzam [%]	Elektryczny [%]	Hybrydowy plug-in [%]	Hybrydowy [%]
Ogólnie	70,8	4,9	7,2	17,1
Warszawa	69,7	7,6	5,5	17,2
Trójmiasto	67,6	5,8	13,7	12,9
GZM	75,0	1,4	2,7	20,9

Źródło: opracowanie własne

Respondentów poproszono o odniesienie się do propozycji różnych wariantów ograniczenia ruchu samochodów osobowych w centrum miast. Dla każdego z przedstawionych zdań, odpowiadający mogli odnieść się w 5 stopniowej skali Likerta od „zdecydowanie się nie zgadzam" do „zdecydowanie się zgadzam". Wyniki zagregowano do trzech rodzajów nastawienia w stosunku do zapisanych zdań: pozytywnego, negatywnego i braku zdania. Wyniki przedstawione w tabeli 8 wskazują, że przedstawiciele klasy kreatywnej są skłonni do pogodzenia się z ograniczeniami w dostępie samochodów osobowych do centrum miasta. Koniecznym elementem budowy akceptacji dla takich rozwiązań jest danie czegoś w zamian. Największą przychylnością respondentów charakteryzowały się rozwiązania polegające na: zapewnieniu możliwości szybkiego dojazdu do centrum transportem publicznym oraz wysokiej dostępności transportu publicznego. W odpowiedziach zauważalna jest nieufność respondentów do tzw. nowoczesnych rozwiązań, np. w zakresie *sharing economy* oraz elektromobilności.

Klasa kreatywna racjonalnie podchodzi do kwestii zaspokajania potrzeb przewozowych. Wtórność transportu powoduje, że prymat dostępności znajduje wyraz w wysokim wykorzystaniu samochodów w realizacji potrzeb przewozowych. Transport zbiorowy jest traktowany jako alternatywa motoryzacji indywidualnej, jednak pod warunkiem spełnienia wymagań jakościowych. Natomiast elektromobilność indywidualna wydaje się odległą, na razie, mało realną perspektywą.

Tabela 8

Zdanie respondentów w zakresie ograniczenia ruchu samochodów osobowych w centrach miast

Stwierdzenie	Negatywne nastawienie	Brak zdania	Pozytywne nastawienie
Wjazd samochodów osobowych do centrum miasta powinien być ograniczony (np. poprzez wprowadzenie opłat, zakaz wjazdu w godz. szczytu itp.).	38,0%	18,9%	43,1%
Akceptuję ograniczenie dostępu samochodu do ścisłego centrum miasta w przypadku możliwości krótkiego czasu dojazdu transportem publicznym.	24,2%	20,9%	54,9%
Akceptuję ograniczenie dostępu samochodu do ścisłego centrum miasta w przypadku niskiej ceny transportu publicznego.	24,9%	24,2%	50,9%
Akceptuję ograniczenie dostępu samochodu do ścisłego centrum miasta w przypadku wysokiej dostępności transportu publicznego (krótki czas dojścia do przystanku)	22,7%	23,8%	53,6%
Akceptuję ograniczenie dostępu samochodu do ścisłego centrum miasta w przypadku bezpośredniego połączenia do centrum transportem publicznym.	21,6%	28,0%	50,4%
Akceptuję ograniczenie dostępu samochodu do ścisłego centrum miasta w przypadku możliwości dojazdu rowerem.	28,9%	32,9%	38,2%
Akceptuję ograniczenie dostępu samochodu do ścisłego centrum miasta w przypadku rozwoju *carsharingu* – system płatnego krótkookresowego wynajmu np. Traficar (samochody w tym systemie mogłyby wjechać do centrum).	29,1%	38,4%	32,4%
Akceptuję ograniczenie dostępu samochodu do ścisłego centrum miasta w przypadku możliwości dojazdu za pomocą innych środków transportu w systemie płatnego, krótkookresowego wynajmu (np. hulajnogi elektryczne)	33,3%	28,4%	38,2%

Źródło: opracowanie własne

Kierunki zmian zachowań mobilnościowych

Klasa kreatywna może wyznaczać i wyznacza trendy w zakresie zmiany modeli mobilności miejskiej. Wydaje się, że przedstawiciele tej klasy podzielają wartości kreowane przez liderów zmiany polityki klimatycznej. Mogą zatem wyznaczać tendencje akceptowane przez społeczności miejskie[6]. Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy literatury przedmiotu można sformułować następujące kierunki zmian zachowań mobilnościowych na obszarach miejskich i metropolitalnych:

- kluczowym instrumentem zarządzania mobilnością w miastach, a zwłaszcza w metropoliach, jest i będzie transport zbiorowy, dlatego rozwój transportu zbiorowego należy traktować jako główny obszar aktywności w zakresie metropolitalnej polityki mobilnościowej;
- zeroemisyjny rower ma przede wszystkim znaczenie sportowe i rekreacyjne, jego rola w miejskich, intermodalnych łańcuchach mobilności sprowadza się do obsługi tzw. ostatniej mili, rozwój infrastruktury rowerowej i *bikesharingu* powinien uwzględniać te uwarunkowania;
- indywidualna elektromobilność w bliższej perspektywie czasowej nie wpłynie na modele obsługi mobilności.

[5] A. Woźniak, *Podwyżki prądu dobiją program elektromobilności*, „Rzeczpospolita" z 27.01.2020, https://www.rp.pl/ENERGIA-Elektromobilnosc/301279906-Podwyzki-pradu-dobija-program-elektromobilnosci.html, 30.01.2020.

[6] *Cities of tomorrow. Challenges, visions, ways forward*, EU, Brussels 2011, http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/citiesoftomorrow/citiesoftomorrow_final.pdf, 10.01.2020.

Równoważenie mobilności może być realizowane za pomocą zróżnicowanych narzędzi, zwykle zaleca się stosowanie ich w sposób kompleksowy i dopasowany do warunków lokalnych[7]. Szczególną rolę jednak (zwłaszcza w polskich warunkach) ma do spełnienia transport zbiorowy. Transport zbiorowy daje możliwości masowej obsługi przewozów – to szczególnie cenna cecha w warunkach metropolitalnych. Jest zatem alternatywą dla motoryzacji indywidualnej – kosztowną, ale sprawdzoną i rzeczywistą (w przeciwieństwie do różnych nowinek, które rozbudzają emocje i wyobraźnię, jednak nie są w stanie zmienić prymatu samochodu w obsłudze mobilności miejskiej). Warunkiem przejścia z samochodów jest wzrost dostępności transportu zbiorowego oraz intermodalność przejawiająca się akceptacją restrykcji samochodowych pod warunkiem możliwości szybkiego dojazdu transportem zbiorowym. Same ograniczenia wjazdowe bez alternatyw spotykają się ze sprzeciwem. Klasa kreatywna zwraca uwagę także na koszty dojazdu, jednak kluczowe w ocenie możliwości przejścia do systemu transportu zbiorowego jest podniesienie jakości usług (wzrost oferty transportu zbiorowego, wzrost częstotliwości, poprawa dostępności). Nawet jeśli akceptacja alternatywy w postaci transportu zbiorowego jest zawyżona ze względu na „poprawność polityczną", to należy zwrócić uwagę, że znacznie mniejszy odsetek respondentów wyraża zgodą na przejście z samochodów do systemu rowerowego, a tym bardziej *carsharingu* czy środków transportu osobistego. Taka opinia oznacza, że równoważenie mobilności w miastach wymaga istotnych nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych na transport zbiorowy. Natomiast nadzieje na osiągnięcie zakładanych celów mobilnościowych i środowiskowych za pomocą narzędzi niskokosztowych (redukcja cen biletów albo nawet wprowadzenie bezpłatnego transportu w miastach[8], rozwój środków transportu osobistego, *carsharingu* i *bikesharingu*) nie są oparte na rzeczywistym pomiarze preferencji komunikacyjnych (zakładając, że klasa kreatywna wyznacza tendencje i możliwości, należy oczekiwać, że sytuacja, o której mowa, definiowana jest w perspektywie długookresowej).

Inaczej jest w przypadku rowerów – w polskich warunkach nie są i zapewne długo nie będą alternatywą dla motoryzacji indywidualnej czy też transportu zbiorowego. Udział rowerów w obsłudze potrzeb przewozowych w miastach europejskich nie przekracza kilku, kilkunastu procent (za wyjątkiem miast skandynawskich oraz holenderskich)[9]. Wydaje się, że czynniki przestrzenne stanowią swego rodzaju „szklany sufit" dla zwiększenia tego wskaźnika, zwykle odległość i czas dojazdu (poza kwestiami klimatycznymi podawane są jako przyczyny rezygnacji z wyboru roweru w dojazdach miejskich[10]). Gotowość korzystania z rowerów deklarowana przez respondentów reprezentujących klasę kreatywną w przypadku dobrych warunków pogodowych należy traktować jako uznanie dla sportowej i rekreacyjnej roli roweru (co łączy się ze zmianą modelu zarządzania czasem wolnym)[11]. Rower ma duże znaczenie dla poprawy zdrowia społecznego[12]. Europejska Federacja Rowerzystów (European Cyclists' Federation) szacuje roczne korzyści „rowerowe" UE-28 (z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych) na poziomie ponad 513 mld euro[13]. Z tego około 191 mld euro to efekt pozytywnego wpływu mobilności rowerowej na zdrowie. Dlatego też rower wraz z mobilnością pieszą oraz przemieszczaniem się środkami tzw. transportu osobistego (deski, hulajnogi) uznawane są za elementy tzw. aktywnej mobilności czy aktywnego transportu (*active mobility, active transport)* – chodzi tu o środki napędzane siłą mięśni, natomiast środki wspomagane elektrycznie traktowane są jako przykłady transportu hybrydowego[14]. Niewątpliwie aktywna mobilność i transport hybrydowy przynoszą istotne korzyści zdrowotne związane ze zmianą stylu życia, a w konsekwencji są czynnikami budowania kapitału społecznego współczesnych metropolii. Na obszarach dużych miast rośnie znaczenie rowerów publicznych dostępnych w formule konsumpcji kolaboratywnej *(bikesharingu)*. Dlatego należy rowery, zwłaszcza w formule *bikesharingu*, traktować jako środek obsługi tzw. ostatniej mili – rowery powinny zwiększać dostępność transportu zbiorowego (w tym zwłaszcza szynowego). Oznacza to konieczność sprawnej obsługi przez operatorów tego typu systemów transferu rowerów pomiędzy stacjami postojowymi, tak aby zapewnić ich dostępność. W badanych metropoliach systemy *bikesharingu* nie spełniają tej roli. W Warszawie i GZM funkcjonują systemy trzeciej generacji (rowery pobiera się i oddaje do stacji postojowych), w dodatku system GZM jest słabo rozwinięty i dopiero teraz integrowany (umowy z operatorem systemu zawierano oddzielnie w poszczególnych miastach). Natomiast w Trójmieście w 2019 roku funkcjonował zintegrowany system czwartej generacji (możliwość pozostawienia i odbioru roweru poza stacją postojową) z rowerami wspomaganymi elektrycznie. Niestety system trójmiejski przerósł możliwości operatora i zakończył działalność[15].

Elektromobilność traktowana jest przez respondentów przedstawianych badań z rezerwą. Skłonność respondentów do skorzystania z możliwości płatnego wypożyczenia samochodu elektrycznego jest bardzo niska i dominują

[7] W. Starowicz, *Zarządzanie mobilnością wyzwaniem polskich miast*, „Transport Miejski i Regionalny", 2011, nr 1, s. 42–47.

[8] R. Tomanek, *Rola bezpłatnego transportu zbiorowego w równoważeniu mobilności w miastach*, „Transport Miejski i Regionalny", 2017, nr 7, s. 5–9.

[9] *The benefits of cycling. Unlocking their potential for Europe,* European Cyclist' Federation 2018, https://ecf.com/resources/cycling-facts-and-figures, 3.03.2019.

[10] M. Sutton, *33 key cities where cycling is growing its modal share*, „Cycling Industry News" 2019, nr 3, https://cyclingindustry.news/five-key-cities-where-cycling-is-taking-modal-share-from-cars/, 3.03.2019.

[11] R. Tomanek, *Zeroemisyjna mobilność miejska na przykładzie systemu rowerowego w aglomeracji górnośląskiej*, „Transport Miejski i Regionalny", 2018, nr 10, s. 28–33.

[12] D. Banister, *The sustainable mobility paradigm*, „Transport Policy" 2008, nr 15, s. 73–78.

[13] M. Naun, H. Haubold, *The EU cycling economy. Arguments for an integrated cycling policy*, European Cyclists' Federation, Brussels 2016, https://ecf.com/sites/ecf.com/files/FINAL%20THE%20EU%20CYCLING%20ECONOMY_low%20res.pdf, 3.03.2019.

[14] M. Held, J. Schindler, T. Litman, *Cycling and Active Mobility – Establishing a Third Pillar of Transport Policy,* in: R. Gerike and J. Parkin (eds), *Cycling and Active Mobility – Establishing a Third Pillar of Transport Policy,* Ashgate Publishing 2015, s. 214–217, https://www.researchgate.net/publication/285199541_Cycling_and_active_mobility_-_establishing_a_third_pillar_of_transport_policy, 16.09.2019.

[15] M. Korolczuk, *Mevo już nie działa. Operator złożył wniosek o upadłość*, Trójmiasto.pl, 29.10.2019, https://www.trojmiasto.pl/wiadomosci/Mevo-przestalo-dzialac-Operator-zlozy-wniosek-o-upadlosc-n139270.html, 17.02.2020.

odpowiedzi negatywne. Nikłe jest zainteresowanie elektromobilnością indywidualną, co zapewne wynika z cen zakupu samochodów elektrycznych czy hybrydowych (70% respondentów nie zamierza kupować samochodu elektrycznego ani hybrydowego). Trzeba zaznaczyć jednak, że respondenci rozważając zakup samochodu elektrycznego, dostrzegają walory ekologiczne jako czynnik takiej konwersji. Kiedy pytano o motywy zakupu samochodu niskoemisyjnego, to najczęściej wymienianym czynnikiem był korzystniejszy wpływ na środowisko. W szczególności mniejsze znaczenie miało spodziewane dofinansowanie zakupu oraz ułatwienia w dostępie do śródmieścia. Natomiast na podobnym poziomie istotności wskazywano niższe koszty eksploatacji. Można uznać, że klasa kreatywna docenia ekologiczne walory samochodu elektrycznego i niższe koszty eksploatacji, natomiast z większą rezerwą podchodzi do instrumentów polityki transportowej, które pozwoliłyby na dofinansowanie zakupu samochodu oraz łatwiejsze korzystanie z niego w przestrzeni miejskiej. Kluczową barierą wyboru samochodu elektrycznego bądź hybrydowego jako następnego pojazdu indywidualnego jest bariera dochodowa. Być może, że dodatkowo ochłodzeniu oczekiwań stawianych wobec elektromobilności będzie sprzyjać wzrost cen energii powodowany niezrównoważonym mixem energetycznym Polski, gdzie aż 75% energii elektrycznej produkowane jest z węgla kamiennego i brunatnego[16].

Podsumowanie

Klasa kreatywna dostrzega znaczenie równoważenia mobilności. Akceptuje, choć nie bezwarunkowo i nie bez oporów, instrumenty skłaniające do zamiany samochodu na transport zbiorowy i transport zeroemisyjny. Opór budzą działania, które przy powszechnym użyciu samochodów oznaczałby ograniczenie dostępu do miast – wszak respondenci dojeżdżają głównie samochodami do pracy i miejsc zamieszkania. Zrównoważenie ustępuje tu postulatowi inkluzywności. Samochód pozwala na realizację potrzeb mobilnościowych w największym stopniu, a poprzez szeroki dostęp do tego środka transportu (większy nawet niż w przypadku rowerów) jest też kluczowym narzędziem mobilności miejskiej. Ograniczenia dochodowe, rezerwa i sceptycyzm wobec mobilności zeroemisyjnej oraz coraz powszechniejszych ofert mobilności w postaci konsumpcji kolaboratywnej (ekonomii współdzielenia) podkreślają rolę publicznego transportu zbiorowego jako alternatywy motoryzacji indywidualnej. Trzeba tu wyraźnie zaznaczyć, że indywidualny transport samochodowy jeszcze przez wiele lat będzie oparty na tradycyjnych napędach spalinowych. Natomiast transport zbiorowy z racji masowości i stosowania od ponad 100 lat napędu elektrycznego (koleje miejskie, metro, tramwaje, trolejbusy) jest zdecydowanie efektywniejszy środowiskowo.

Przychylna postawa klasy kreatywnej dla polityki równoważenia mobilności miejskiej przejawia się w akceptacji (aczkolwiek nie bezwarunkowej) przechodzenia do systemów transportu zbiorowego. Ponadto respondenci badań dostrzegają i doceniają walory napędów zeroemisyjnych. Dlatego obok walorów poznawczych przeprowadzonych badań mają one też znaczenie praktyczne – dla miejskiej polityki zrównoważonej mobilności.

Literatura

1. Banister D., *The sustainable mobility paradigm*, „Transport Policy", 2008, nr 15.
2. Bednarz E., *Wciąż nie ruszył nabór na dopłaty do samochodów elektrycznych dla osób fizycznych. Firmy poczekają jeszcze dłużej,* „Rzeczpospolita" z 19.01.2020, https://www.rp.pl/MP-Firma/301189978-Co-sie-dzieje-z-doplatami-do-aut-elektrycznych-dla-firm.html, 25.01.2020.
3. *Cities of tomorrow. Challenges, visions, ways forward*, EU, Brussels 2011, http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/citiesoftomorrow/citiesoftomorrow_final.pdf, 10.01.2020.
4. Florida R., *The Rise of Creative Class: And How It's Transforming Work, Leisure, Community and Everyday Life*, Basic Book, New York 2002.
5. Held M., Schindler J., Litman T., *Cycling and Active Mobility – Establishing a Third Pillar of Transport Policy,* in: R. Gerike and J. Parkin (eds), *Cycling and Active Mobility – Establishing a Third Pillar of Transport Policy,* Ashgate Publishing 2015, https://www.researchgate.net/publication/285199541_Cycling_and_active_mobility_-_establishing_a_third_pillar_of_transport_policy, 16.09.2019.
6. Korolczuk M., *Mevo już nie działa. Operator złożył wniosek o upadłość*, Trójmiasto.pl, 29.10.2019, https://www.trojmiasto.pl/wiadomosci/Mevo-przestalo-dzialac-Operator-zlozy-wniosek-o-upadlosc-n139270.html, 17.02.2020.
7. Kos B., Krawczyk G., Tomanek R., *Inkluzywna mobilność w metropoliach*, UE Katowice, Katowice 2020.
8. Kos B., Krawczyk G., Tomanek R., *Modelowanie mobilności w miastach*, UE w Katowicach, Katowice 2018.
9. Naun M., Haubold H., *The EU cycling economy. Arguments for an integrated cycling policy*, European Cyclists' Federation, Brussels 2016, https://ecf.com/sites/ecf.com/files/FINAL%20THE%20EU%20CYCLING%20ECONOMY_low%20res.pdf, 3.03.2019.
10. Oksińska B., *Fiasko węglowej polityki rządu*, „Rzeczpospolita" 17.02.2020, https://www.rp.pl/ENERGIA-Energetyka-zawodowa/302169938-Fiasko-weglowej-polityki-rzadu-Poczatek-wiekszych-zmian.html, 17.02.2020.
11. Starowicz W., *Zarządzanie mobilnością wyzwaniem polskich miast*, „Transport Miejski i Regionalny", 2011, nr 1.
12. Sutton M., *33 key cities where cycling is growing its modal share*, „Cycling Industry News", 2019, nr 3, https://cyclingindustry.news/five-key-cities-where-cycling-is-taking-modal-share-from-cars/, 3.03.2019.
13. *The benefits of cycling. Unlocking their potential for Europe,* European Cyclist' Federation 2018, https://ecf.com/resources/cycling-facts-and-figures, 3.03.2019.
14. Tomanek R., *Rola bezpłatnego transportu zbiorowego w równoważeniu mobilności w miastach*, „Transport Miejski i Regionalny", 2017, nr 7.
15. Tomanek R., *Zeroemisyjna mobilność miejska na przykładzie systemu rowerowego w aglomeracji górnośląskiej*, „Transport Miejski i Regionalny", 2018, nr 10.
16. Woźniak A., *Podwyżki prądu dobiją program elektromobilności,* „Rzeczpospolita" z 27.01.2020, https://www.rp.pl/ENERGIA-Elektromobilnosc/301279906-Podwyzki-pradu-dobija-program-elektromobilnosci.html, 30.01.2020.

[16] B. Oksińska, *Fiasko węglowej polityki rządu*, „Rzeczpospolita", 17.02.2020, https://www.rp.pl/ENERGIA-Energetyka-zawodowa/302169938-Fiasko-weglowej-polityki-rzadu-Poczatek-wiekszych-zmian.html, 17.02.2020.

STAROWICZ WIESŁAW
prof. dr hab. inż., Politechnika Krakowska, Katedra Systemów Transportowych, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: wstar@pk.edu.pl
DYRKACZ GRZEGORZ
mgr inż., Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA w Krakowie, ul. Jana Brożka 3, 30-347 Kraków, e-mail: gdyrkacz@mpk.krakow.pl

Transport zbiorowy na żądanie na przykładzie Krakowa[1]

Streszczenie: Usługa przewozów autobusowych na żądanie skierowana jest głównie do osób zamieszkujących obszary o słabym zaludnieniu, gdzie utrzymywanie stałych linii jest wysoce nierentowne. Znacznie skraca czas oczekiwania pasażera na przystanku i zapewnia łatwy dojazd do węzłów przesiadkowych stałych linii komunikacji zbiorowej prowadzących do centrum miasta. Sprzyja zwiększaniu mobilności mieszkańców peryferii miast, zwłaszcza dotychczas nieobsługiwanych z powodu braku dostatecznego popytu na komunikację regularną. Daje możliwość obsługi większego obszaru przy użyciu mniejszej ilości pojazdów. Może stanowić doskonałe uzupełnienie konwencjonalnej oferty przewozowej. W artykule, na tle rozważań teoretycznych o usłudze, przedstawiono wyniki jej funkcjonowania pod nazwą TELE-BUS w Krakowie. Usługa została uruchomiona w 2007 roku. Wśród wyników zawarto analizę zmienności wielkości przewozów, liczby zrealizowanych kursów, średniej rocznej wielkości liczby przewożonych pasażerów w kursie, średniej rocznej długości kursu oraz pracy przewozowej.
Słowa kluczowe: transport publiczny, transport zbiorowy na żądanie, TELE-BUS.

Wprowadzenie

Regularny transport zbiorowy autobusowy realizowany jest tylko po wyznaczonych trasach i w określonym czasie. Funkcjonuje on według określonych rozkładów jazdy udostępnianych pasażerom i wywieszonych na przystankach. Na obszarach peryferyjnych miast zdarza się, że autobusy regularnych linii wykonują „puste" przebiegi, tzn. nie przewożą pasażerów. Długie trasy, niska częstotliwość kursowania i niska frekwencja pasażerów są przyczyną słabego wykorzystania transportu zbiorowego. W konsekwencji często prowadzi to do likwidowania linii na tych obszarach. Stąd, chcąc zapewnić mieszkańcom dostęp do transportu zbiorowego, zrodziła się potrzeba wprowadzenia bardziej elastycznej usługi przewozowej niż tradycyjnie kursujące autobusy, tak by odpowiadała ona potrzebom potencjalnych pasażerów. Usługa taka powinna zapewnić efektywną ofertę przewozową, charakteryzującą się: racjonalnymi kosztami, dopasowaniem podaży do popytu i elastycznością w zaspokajaniu potrzeb.

W sytuacjach, w których klasyczna obsługa terenu nie przynosiłaby oczekiwanych rezultatów, bo większość podróżnych wybrałaby z uwagi na mnogość przesiadek czy częstotliwość kursów indywidualny środek transportu, usługa na żądanie może doprowadzić do większego zainteresowania podróżnych, ale i oszczędności po stronie operatora. Do obsługi potrzeba wówczas bowiem mniejszej liczby autobusów. Choć prawo w transporcie publicznym wymaga wskazywania trasy linii komunikacyjnej i godzin planowanych odjazdów, możliwe jest określenie, że przejazd odbywa się tylko wówczas, gdy dokonana jest jego rezerwacja. Na usługę taką miasta nie decydują się jednak powszechnie. Są przykłady miast w kilku krajach europejskich z takimi rozwiązaniami (Włochy: Florencja, Genua, Szwecja (Sztokholm), Finlandia (Keski-Usimaa), Belgia (Limburg, wschodnia Flandria).

Pierwszym miastem w Polsce, które wdrożyło to rozwiązanie, był Kraków, nazywając transport na żądanie usługą TELE-BUS. Usługa została uruchomiona przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne 14 lipca 2007 r. jako jedno z zadań projektu CIVITAS-CARAVEL[2]. Przyjęty model funkcjonowania usługi będzie omówiony w dalszej części artykułu.

Drugim miastem w Polsce był Szczecin, który wdrożył usługę transport na żądanie w kwietniu 2016 r. (obsługa dzielnicy Podjuchy) i rozszerzył ją we wrześniu 2018 r. (odległych od miasta Gumieńca, Osowa i Warszewa). Przewozy realizowaną są przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne według innego modelu niż w Krakowie (wyznaczonymi trzema liniami o trasie dostosowanej każdorazowo do zgłoszeń pasażerów).

Charakterystyka miejskich przewozów autobusowych na żądanie

Usługa transport zbiorowy na żądanie jest innowacyjnym rozwiązaniem stosowanym w dwóch polskich miastach (Kraków, Szczecin). Jest ona realizowana pomimo braku jej definicji w Ustawie o transporcie zbiorowym. Gdyby chcieć interpretować definicje publicznego transportu zbiorowego i przystanku komunikacyjnego, to pewnie nie mógłby się odbywać.

Publiczny transport zbiorowy według ustawy to powszechnie dostępny regularny przewóz osób wykonywany w określonych odstępach czasu i po określonej linii komunikacyjnej, liniach komunikacyjnych lub sieci komunikacyjnej[3].

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2020. Procentowy udział wkładu autorów w publikację: W. Starowicz 50%, G. Dyrkacz 50%,

[2] Obuchowicz A., *Usługa TELE-BUS – przewozy transportem zbiorowym na żąda*nie, „Transport Miejski i Regionalny", 2008, nr 7/8.

[3] Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym, art. 4.

Przystanek komunikacyjny według ustawy to miejsce przeznaczone do wsiadania lub wysiadania pasażerów na danej linii komunikacyjnej, w którym umieszcza się informacje dotyczące w szczególności godzin odjazdów środków transportu, a ponadto w transporcie drogowym[4].

Zresztą Ministerstwo Infrastruktury ma negatywny stosunek do objęcia systemów transportu na żądanie definicją publicznego transportu zbiorowego, powołując się na ewentualne trudności dla pasażerów w zakresie rozróżnienia charakteru usług oferowanych przez przewoźników autobusowych oraz zaawansowany etap prac legislacyjnych nad projektem ustawy o publicznym transporcie zbiorowym. Wskazuje jednocześnie, że w obecnych uwarunkowaniach legislacyjnych najbliższą formułą dla transportu na żądanie byłaby formuła transportu okazjonalnego[5].

Tymczasem transport zbiorowy na żądanie jest realizowany za granicą i zdefiniowany przez Dyrektoriat Generalny Komisji Europejskiej ds. Energii i Transportu w 2003 roku (European Commission – Directorate General for Energy and Transport) jako *Demand Responsive Transport* (DRT) [1]. DRT jest zaawansowaną formą transportu publicznego, ukierunkowaną na zaspokojenie potrzeb użytkownika. Jest usługą transportu publicznego, uruchamianą dopiero po wcześniejszym zgłoszeniu zapotrzebowania na nią. Użytkownik zgłasza potrzebę przejazdu na danej trasie z odpowiednim wyprzedzeniem, co pozwala operatorowi na zoptymalizowanie trasy przejazdu czy grupowanie przewozów. Minimalizuje to tym samym istniejący, w wypadku systemów regularnych, problem pustych przewozów oraz znacząco redukuje koszty obsługi transportowej (zmniejszenie obciążenia finansowego dla organizatorów transportu). Sam transport na żądanie charakteryzuje się elastycznymi trasami i rozkładem jazdy, pojazdami o małej i średniej wielkości (mikro- i midibusami), kursującymi po łączonych trasach, wiążących miejsca wsiadania i wysiadania zgodnie z potrzebami pasażerów.

Jak widać z tego określenia, celem usługi transport zbiorowy na żądanie jest lepsze dostosowanie oferty publicznego transportu do potrzeb mieszkańców, zwiększenie zasięgu obsługi i pozyskanie nowych klientów oraz racjonalne wykorzystanie taboru. Zapewnia to atrakcyjną ofertę przewozową na obszarach o niskiej gęstości zabudowy, tak by ich mieszkańcy mieli dostęp do centrum miasta, przy równoczesnej redukcji kosztów eksploatacyjnych ponoszonych przez przewoźników. Powinno to skutkować utrzymaniem, a nawet zwiększeniem udziału transportu zbiorowego w podróżach niepieszych. Usługa transport zbiorowy na żądanie służy także realizacji celów społecznych, takich jak: poszerzenie dostępnych form odbywania podróży oraz stworzenie bardziej zrównoważonego systemu transportu miejskiego. Powinna ona zatem przynosić korzyści, zarówno pasażerom, jak i przewoźnikom.

Wprowadzenie elastycznej usługi przewozowej, dostosowującej się do bieżącego zapotrzebowania, zarówno w zakresie rozkładu jazdy, jak również trasy przejazdu, wymaga:

- wyboru obszaru, na którym ma funkcjonować usługa;
- stworzenia odpowiedniego modelu usług uwzględniającego lokalne wymogi przewoźnika i pasażera;
- utworzenia centrum zarządzania realizacją usługi;
- przeprowadzenia spotkań i kampanii marketingowych skierowanych do wszystkich potencjalnych, zainteresowanych usługą grup mieszkańców.

Obszar, na którym zamierza się wprowadzić usługę transport zbiorowy na żądanie, to zwykle peryferyjna część miasta o niskiej gęstości zaludnienia, z ograniczoną ofertą regularnego transportu publicznego (np. niska częstotliwość kursowania, trudności z dojazdem z powodu wąskich i krętych uliczek itp.).

Według [3] można sformułować cztery modele funkcjonowania usługi transport zbiorowy na żądanie:

- **Model 1 – zdefiniowany rozkład jazdy oraz marszruta.** Model ten jest bardzo podobny do funkcjonowania tradycyjnych linii regularnych. Rozkład jazdy, trasy oraz przystanki są wcześniej ustalone. Elastyczność usług polega na podjęciu decyzji odnośnie realizacji poszczególnych kursów bądź ich fragmentów w zależności od wcześniejszych rezerwacji. Praktycznym przykładem wdrożenia modelu jest usługa, w której początkowa część kursu jest zawsze realizowana zgodnie z rozkładem jazdy, a końcowa jest uzależniona od wystąpienia zgłoszeń (czyli na żądanie). Poszczególne kursy lub ich fragmenty odbywają się tylko wtedy, jeśli jest co najmniej jedno zgłoszenie.
- **Model 2 – częściowo ustalony rozkład jazdy oraz marszruta z możliwymi odchyleniami przebiegu.** W tym modelu ustalone są dwa rodzaje przystanków. Wybrane przystanki z ustalonym czasem rozkładowym są obsługiwane obligatoryjnie (niezależnie od rezerwacji), a pozostałe ustalone przystanki „na żądanie" są obsługiwane tylko po zgłoszeniu klienta, że chce wsiąść lub wysiąść. Model ten jest rekomendowany do obsługi obszarów pasmowych, zagospodarowanych ekstensywnie, gdzie źródła i cele podróży nie są usytuowane w bezpośredniej bliskości głównej osi komunikacyjnej. Na żądanie klienta (po dokonaniu

[4] Ibidem.

[5] W dniu 28 maja 2019 Ministerstwo Infrastruktury odpowiedziało tak na petycję złożoną przez Regionalne Biuro Gospodarki Przestrzennej Województwa Zachodniopomorskiego w Szczecinie dotyczącą wprowadzenia zmian do ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym dotyczących uwzględnienia w zapisach ustawy jednoznacznych regulacji dotyczących elastycznych systemów transportowych szczególnie w zakresie publicznych systemów transportu na żądanie (http://rbgp.pl/wp-content/uploads/2019/06/2019_05_28_petycja_odpowiedz_MI.pdf). Złożenie petycji było jedną z inicjatyw w ramach realizowanego obecnie projektu LAST MILE (*Działanie 3A – Działania na rzecz uwzględnienia elastycznych systemów transportowych w prawodawstwie krajowym*). Międzynarodowy projekt „LAST MILE – zrównoważona mobilność w obszarach ostatniej mili w regionach turystycznych" realizowany jest w ramach programu Interreg Europa. Polskim partnerem projektu jest Województwo Zachodniopomorskie reprezentowane przez Regionalne Biuro Gospodarki Przestrzennej Województwa Zachodniopomorskiego w Szczecinie. Działanie 3A skierowane jest na poziom krajowy i dotyczy konieczności uporządkowania i uzupełnienia zapisów legislacyjnych, w szczególności ustawy o publicznym transporcie zbiorowym oraz ustawy o transporcie drogowym. Pozwoliłoby to na jednoznaczne zdefiniowanie systemów elastycznych (szczególnie systemów transportu na żądanie) w polskim prawodawstwie oraz na określenie ich roli w procesie budowania systemów transportu publicznego. http://rbgp.pl/projekt-last-mile-wiecej-informacji).

wcześniejszego zgłoszenia) pojazd może zjechać z głównego kierunku trasy. W przypadku braku zgłoszeń pojazd porusza się po głównej trasie, obsługując przystanki obligatoryjne. Pozwala to zrezygnować z niepotrzebnych, meandrujących fragmentów tras, oszczędzając pracę przewozową. W praktyce dyspozytor będzie musiał znaleźć kompromis odnośnie liczby możliwych zjazdów z kierunku głównego trasy, biorąc pod uwagę konieczność zapewnienie buforu czasowego na przystanku krańcowym.

- **Model 3 – ustalone lokalizacje przystanków w obszarze oraz czas odjazdu z przystanku początkowego**. Podstawowym założeniem tego modelu jest, że określone przystanki są obsługiwane zgodnie z rezerwacją klientów. Ta najbardziej elastyczna forma usługi bierze pod uwagę wszystkie zgłoszone przez klientów czasy odjazdów i przyjazdów na przystanki oraz kombinacje przystanków (wsiadania i wysiadania). Jednak w praktyce dyspozytor wprowadza ograniczenia, aby uzyskać większą wydajność usługi oraz ułatwić połączenia z regularnymi liniami transportu publicznego. Przy kolejnych zgłoszeniach klientów stopień spełnienia ich oczekiwań będzie uzależniony od zgłoszeń wcześniejszych. Już w czasie rezerwacji klient otrzymuje natychmiastową odpowiedź na swoje zgłoszenie: czy autobus będzie mógł o zamówionej porze pojawić się w miejscu przez niego wskazanym, czy nie. Jeśli nie, to dyspozytor proponuje inne rozwiązanie, np. późniejszą godzinę lub inny przystanek. Innymi słowy, model ten ustala dowolną marszrutę wśród zbioru dostępnych przystanków, czyli działa z dużą elastycznością. Dobór trasy uwzględnia lokalizację głównych rodzajów celów, takich jak: parkingi, stacje kolejowe, szkoły, szpitale itp.
- **Model 4 – punkty obsługi określone przez klienta**. W modelu tym klienci mogą podróżować pomiędzy wskazanymi przez nich punktami, np. praca, dom, szkoła, sklep, centrum usługowe, szpital. Zamawianie taksówki jest najbardziej bezpośrednią odpowiedzią na takie potrzeby. Usługi transportu na żądanie mogą zapewnić ten sam efekt, łącząc podróże klientów w możliwie ograniczoną liczbę przejazdów. Usługę taką można nazwać od drzwi do drzwi lub zbiorową taksówką, przy zachowaniu równowagi pomiędzy wymogiem efektywności oraz postulatem elastyczności usługi. Ustalone przystanki zastępuje się punktami wskazanymi przez klienta, co jest dogodniejsze dla specyficznej grupy użytkowników np. dla osób starszych i niepełnosprawnych. W modelu tym tworzona marszruta, jedna z możliwych, prowadzi przez wszystkie sensowne do obsłużenia zgłoszone punkty.

Zarządzanie usługą transport zbiorowy na żądanie realizowane jest zazwyczaj przez dyspozytornię miejskiego przedsiębiorstwa przewozowego realizującego usługę, z którą klienci mogą się kontaktować, zamawiając (rezerwując) usługę telefonicznie, wysyłając SMS-a lub przez internet.

W podejściu zaproponowanym w [2] wyszczególnia się trzy sposoby rezerwacji usług:

- **Rezerwacja z wyprzedzeniem, np. z tygodniowym**. Dotyczy to także klientów, stałych użytkowników systemu, którzy powinni potwierdzić korzystanie z usługi co najmniej raz w tygodniu. Dyspozytornia opracowuje na następny dzień dla poszczególnych brygad przebiegi tras oraz szczegółowy rozkład jazdy (czasy przyjazdu na ustalone przystanki). Ten sposób rezerwacji upraszcza procedury operacyjne i pozwala na proste zarządzanie zasobami (pojazdy, zgłoszenia klientów).
- **Rezerwacja w czasie rzeczywistym**. Sposób ten pozwala na bieżącą rezerwację usługi. Pojazdy muszą być wyposażone w terminale umożliwiające kontakt głosowy kierowcy z dyspozytorem, który powinien posiadać wysokie kwalifikacje. Dyspozytornia powinna być wyposażona w urządzenia techniczne i oprogramowanie usprawniające zarządzanie bieżącymi zgłoszeniami klientów.
- **Mieszany sposób rezerwacji**, pozwalający klientowi zamawiać usługę, zarówno w dniach poprzedzających jej realizację, jak również w dniu, w którym chce z niej skorzystać, jednak z co najmniej z dwugodzinnym wyprzedzeniem. Na podstawie rezerwacji dokonanych w dniach poprzedzających usługę tworzony jest bazowy rozkład jazdy, wg procedury stosowanej w sposobie rezerwacji z wyprzedzeniem. Uwzględnianie rezerwacji z bieżącego dnia modyfikuje bazowy rozkład jazdy, o czym dyspozytor informuje kierowców telefonicznie. Sposób ten ewoluuje ku zarządzaniu rezerwacjami w czasie rzeczywistym.

Nieco inny podział sposobów rezerwacji przedstawiono w pracy [3]:

- **Rezerwacja w czasie rzeczywistym**. Opracowywanie rozkładów jazdy odbywa się na bieżąco z uwzględnieniem napływających poszczególnych zgłoszeń klientów. Dyspozytor udziela klientowi natychmiastowej odpowiedzi o czasie realizacji zgłoszenia. Termin realizacji kolejnych zgłoszeń jest ograniczany spełnianiem zgłoszeń wcześniejszych. W tym przypadku rozkład jazdy może być mało efektywny.
- **Rezerwacja w ustalonych przedziałach czasu**. Po zebraniu wszystkich zgłoszeń odnoszących się do określonego przedziału czasu dokonuje się optymalizacji marszrut i rozkładów jazdy. Następnie operator telefonicznie informuje każdego z klientów o szczegółach realizacji zgłoszenia. Sposób ten zapewnia większą efektywność rozkładu jazdy. Wadą jest niedogodność wynikająca z oczekiwania klienta na informację dotyczącą terminu realizacji usługi.

Charakterystyka przewozów autobusowych na żądanie w Krakowie

W Krakowie zastosowano model elastycznej trasy, w którym wyznaczone są przystanki leżące na wybranym obszarze, miejsca do zawracania oraz miejsca postojowe, gdzie

autobusy mogą zakończyć kurs i oczekiwać na kolejne zgłoszenie. Usługę transportu zbiorowego na żądanie nazwano TELE-BUS.

Działania wdrożenia transportu zbiorowego na żądanie jest zgodne z polityką transportową miasta. W polityce transportowej Krakowa z 2007 roku[6] wskazano usługę TELE-BUS jako instrument lepszego dostosowania transportu zbiorowego do potrzeb pasażerów, a w jej aktualizacji w roku 2016[7] wskazano wśród środków realizacji polityki transportowej w zakresie transportu publicznego „lepsze dostosowanie transportu zbiorowego do potrzeb pasażerów, poprzez dostosowywanie usługi do indywidualnych potrzeb podróżnych w wybranych obszarach miasta (usługa TELE-BUS)".

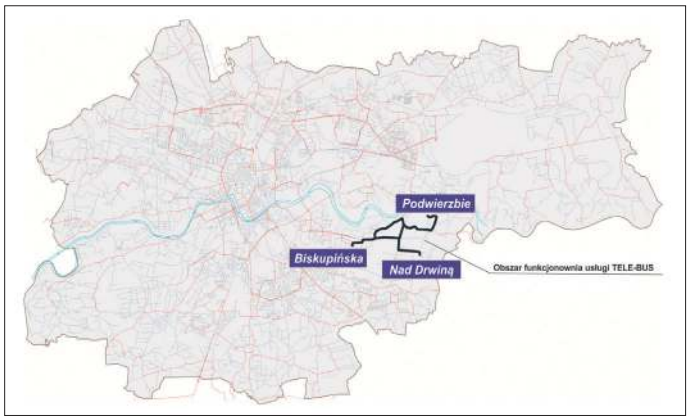
Dyspozytornia usługi TELE-BUS jest wyposażona w komputerowy system wspierający prace dyspozytorów. Dzięki niemu możliwe jest modyfikowanie na bieżąco tras przejazdu oraz rozkładów jazdy, przy zachowaniu pełnej kontroli nad liczbą pojazdów i trasami kursów [4].

Cena za przejazd autobusem TELE-BUS jest identyczna jak dla innych linii komunikacji miejskiej w Krakowie. W pojazdach TELE-BUS zachowują ważność okresowe bilety sieciowe (na wszystkie linie) oraz okresowe bilety na regularne linie autobusowe komunikacji miejskiej kursujące w obszarze funkcjonowania usługi.

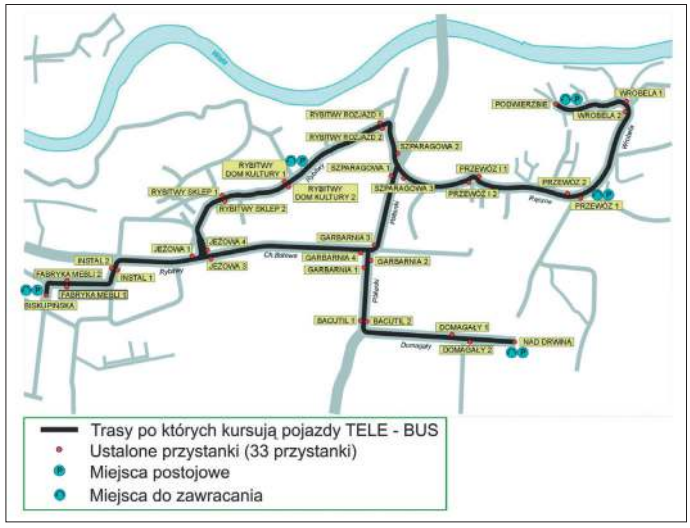
Pierwotny obszar, na którym usługa transportu na żądanie (usługa TELE-BUS) została wdrożona, obejmował rejony osiedli: Rybitwy, Przewóz, Podwierzbie oraz północne części Bieżanowa, mieszczących się w administracyjnych granicach Krakowa. Ich położenie na mapie miasta przedstawia rys.1.

Przebieg tras, lokalizację przystanków oraz miejsc postojowych i miejsc do zawracania w obszarze funkcjonowania usługi przedstawia rysunek 2. Jak widać w obszarze funkcjonowania usługi znajdowały się:

- 33 przystanki,
- 5 miejsc postojowych dla autobusów,
- 5 miejsc zawracania dla autobusów.



Rys. 1. Położenie obszaru funkcjonowania usługi TELE-BUS na mapie Krakowa
Źródło: Zasoby MPK SA w Krakowie



Rys. 2. Przebieg tras oraz lokalizacja przystanków, miejsc postojowych i miejsc do zawracania w obszarze funkcjonowania usługi TELE-BUS w Krakowie – stan na 2007 rok
Źródło: Zasoby MPK SA w Krakowie

Usługę TELE-BUS obsługiwały dwa małe autobusy typu midi Jelcz 081MB Vero, napędzane ekologicznym paliwem miejskim i spełniające normy EURO 3 (fot. 1).

Fot. 1. Autobusy realizujące pierwotnie usługę TELE-BUS w Krakowie
Źródło: Zasoby MPK SA w Krakowie

Początkowe założenia funkcjonowania usługi TELE-BUS ograniczały częściowo kursy linii regularnych nr 157 i 158 w dni powszednie, pomiędzy godzinami szczytu oraz zawieszenie kursowania tych linii w soboty i święta. Pod presją mieszkańców władze Krakowa zdecydowały o pozostawieniu w niezmienionym zakresie linii regularnych i uruchomieniu usługi TELE-BUS jako dodatkowej oferty. Jednak po rozszerzeniu usługi ograniczono funkcjonowanie niektórych linii komunikacji regularnej, co w efekcie przyniosło duże oszczędności wozokilometrów (tab. 1).

Po roku korzystania z usługi mieszkańcy obszaru objętego jej funkcjonowaniem, oczekiwali rozszerzenia tego obszaru o dodatkowe ulice umożliwiające im dojazd do większej liczby celów. W szczególności zależało im na usprawnieniu połączeń wewnątrz obszaru, czego nie zapewnia komunikacja regularna, oraz na umożliwieniu dojazdu do tunelu pod dworcem kolejowym Kraków–Płaszów, co daje możliwość przesiadki na linie tramwajowe kursujące wzdłuż

[6] Uchwała Nr XVIII/225/07 Rady Miasta Krakowa z dnia 4 lipca 2007 r. w sprawie przyjęcia zasad polityki transportowej dla Miasta Krakowa na lata 2007–2015).

[7] Uchwała Nr XLVII/848/16 Rady Miasta Krakowa z dnia 8 czerwca 2016 r. w sprawie przyjęcia Polityki Transportowej dla Miasta Krakowa na lata 2016–2025.

Tabela 1

Ograniczenia funkcjonowania linii komunikacji regularnej po wprowadzeniu usługi TELE-BUS			
Nr linii	Ograniczenia	Oszczędność	Oszczędność ogółem w miesiącu
127	Zmniejszenie o 8 kursów w dzień powszedni	35 km/dzień	5 000 wozokilometrów
	Zmniejszenie po 8 kursów w soboty i święta	po 35 km/dzień	
148	Zmniejszenie o 10 kursów w dzień powszedni	90 km/dzień	
	Zmniejszenie o 22 kursy (wszystkie) w soboty	200 km/dzień	
157	Zmniejszenie o 4 kursy w dzień powszedni	46 km/dzień	
158	Zmniejszenie o 2 kursy w święta	23 km/dzień	

Źródło: [5]

ul. Wielickiej. Od 30 marca 2009 r. istotnie rozszerzono obszar funkcjonowania usługi TELE-BUS – w sumie cały obszar liczył:

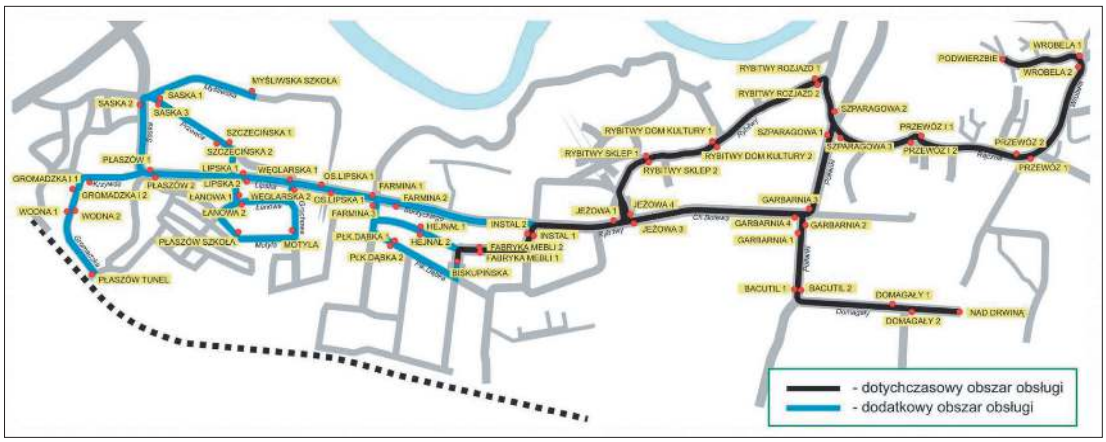
- 65 przystanków,
- 8 miejsc do postoju,
- 10 miejsc do zawracania.

Rozszerzenie obszaru usługi TELE-BUS przedstawia rysunek 3.

W kolejnym roku oddano linię tramwajową do Małego Płaszowa. Na jej końcu powstała nowoczesna pętla tramwajowo–autobusowa. Część linii autobusowych stała się liniami dowozowymi do nowego węzła przesiadkowego. W roku 2015 na obszarze, gdzie jest dostępna usługa TELE-BUS otwarto kolejną istotną inwestycję tramwajową – estakadę łączącą ulicę Wielicką z ulicą Lipską. W chwili obecnej z nowego połączenia korzystają 3 linie tramwajowe. W związku z uruchomieniem nowych tras tramwajowych zwiększyły się możliwości przesiadek do usługi TELE-BUS. W roku 2019 w rejonie pętli otwarto parking w systemie P+R. W chwili obecnej do pętli Mały Płaszów P+R kursują dwie linie tramwajowe. Na pętli trasę kończą 3 linie autobusowe, a kolejne 3 obsługują ją przelotowo. Aktualny obszar usługi TELE-BUS przedstawia rysunek 4.

Jesienią 2018 roku wymieniono też tabor do obsługi TELE-BUSA na nowoczesne pojazdy mercedes typu Sprinter (fot. 2). Pojazdy są niskopodłogowe, wyposażone w nowoczesny system informacji pasażerskiej, monitoring wewnętrzny i zewnętrzny oraz automaty biletowe.

Fot. 2. Autobusy realizujące aktualnie usługę TELE-BUS w Krakowie
Źródło: Zasoby MPK SA w Krakowie



Rys.3.
Rozszerzenie obszaru usługi TELE-BUS w Krakowie – stan na 2009 rok
Źródło: Zasoby MPK SA w Krakowie

Rys. 4 .
Aktualny obszar usługi TELE-BUS z zaznaczonymi kolejnymi rozszerzeniami
Źródło: Zasoby MPK SA w Krakowie

Charakterystyka zarządzania usługą TELE-BUS oraz zamawiania usługi

Centrum zarządzania usługą ulokowane jest w dyspozytorni zajezdni Płaszów, gdzie przyjmuje się zgłoszenia, planuje trasę przejazdu, rozkład jazdy oraz przekazuje dyspozycje kierowcom. Aby skorzystać z usługi, każdy klient musi się zarejestrować w systemie, co polega na podaniu, w czasie pierwszego zamówienia, numeru telefonu kontaktowego oraz opcjonalnie – imienia i nazwiska. Po zarejestrowaniu klient otrzymuje swój indywidualny numer, którym będzie się posługiwał przy następnych zamówieniach. Skraca to czas rozmowy z dyspozytorem i ułatwia identyfikację klienta. Przez pierwszych 17 miesięcy funkcjonowania usługi, tj. do grudnia 2008 r., w systemie zarejestrowało się 476 użytkowników. Aktualnie jest ich około 3000.

Usługa jest dostępna od poniedziałku do piątku w godzinach od 5:30 do 23:00 oraz w soboty, niedziele i święta od godz. 6:00 do 23:00. Dyspozytornia TELE-BUS czynna jest we wszystkie dni tygodnia od 6:30 do 21:00.

Klienci mogą dokonywać następujących rezerwacji autobusu:

- na dany dzień – zamówienie musi zostać złożone nie później niż 30 minut przed planowanym rozpoczęciem podróży;
- na pozostałe dni w bieżącym tygodniu;
- na dni w kolejnych tygodniach (jest to zamówienie długoterminowe składane przez stałych klientów) – pasażer musi zadzwonić ponownie w sobotę lub niedzielę poprzedzającą tydzień, w którym ma nastąpić realizacja usługi po to, by poznać dokładny czas przyjazdu autobusu na ustalony przystanek.

Składając zamówienie, klient musi określić przystanek początkowy, przystanek końcowy oraz czas rozpoczęcia lub zakończenia podróży. Podczas jednego połączenia telefonicznego można złożyć zamówienie na więcej niż jeden kurs oraz wskazać liczbę podróżujących osób (w przypadku podróży w grupie). W przypadku rezygnacji z zamówionego kursu klienci zobligowani są do poinformowania o tym dyspozytornię TELE-BUS.

W przypadku składania zamówienia na dany dzień klient musi się liczyć z pewnymi ograniczeniami w swobodzie wyboru trasy i godziny odjazdu. Ponieważ trasy na bieżący dzień i tydzień są już zaplanowane, wprowadzenie kolejnego zgłoszenia nie może skutkować zmianami w już ustalonych przejazdach. Wynikiem tego może być np. zaproponowanie klientowi innego czasu przejazdu niż w pierwotnym zgłoszeniu i dopiero po akceptacji tej zmiany możliwe jest wprowadzenie zgłoszenia do systemu.

Pasażer, który zgłosi się po rozpoczęciu kursu autobusu, może być obsłużony, jeżeli trasa jego przejazdu pokrywa się z aktualną trasą autobusu, a autobus jadący po ustalonej wcześniej trasie posiada wolne miejsca, z uwzględnieniem miejsc zarezerwowanych wcześniej przez innych klientów. Zasada ta dotyczy także zabierania z przystanków pasażerów wcześniej nie zgłoszonych. Wszystkie przystanki włączone w system obsługi TELE-BUS zostały specjalnie oznakowane (fot. 3, 4). Informację przystankową przedstawia rysunek 5.

Informacje dla klientów systemu dostępne są na stronie internetowej MPK SA w Krakowie (http://www.mpk.krakow.pl/pl/tele-bus/).

Fot. 3. Przystanek z wiatą dla pojazdów TELE-BUS w Krakowie
Źródło: Zasoby MPK SA w Krakowie

Fot. 4. Przystanek bez wiaty dla pojazdów TELE-BUS w Krakowie
Źródło: Zasoby MPK SA w Krakowie

Rys. 5.
Aktualna informacja na przystanku TELE-BUS w Krakowie
Źródło: Zasoby MPK SA w Krakowie

Przewozy TELE-BUS w latach 2007–2019

Charakterystykę przewozów TELE-BUS w kolejnych latach przedstawiono w tabeli 2. W latach 2007–2019 z usługi skorzystało 413 566 pasażerów. Średnio w roku korzystało z usługi 33 085 pasażerów, a średnio w dobie 91 pasażerów (rys. 6).

Praca przewozowa wykonana przez autobusy realizujące usługę wyniosła 1 680 560 wozokilometrów. Średnio w roku praca wyniosła 130 445 wozokilometrów, a średnio w dobie 368 wozokilometrów (rys. 7).

Liczba wykonanych kursów w kolejnych latach wyniosła 100 957 kursów. Średnio w roku wykonano 8 077 kursów, a średnio w dobie 22 kursy (rys. 8).

Średnia liczba przewiezionych pasażerów w kursie w kolejnych latach w całym okresie funkcjonowania usługi TELE-BUS wynosi 4,1 pasażera (rys. 9).

Średnia długość kursu w kolejnych latach w całym okresie funkcjonowania usługi TELE-BUS wynosi 16,6 kilometra (rys. 10).

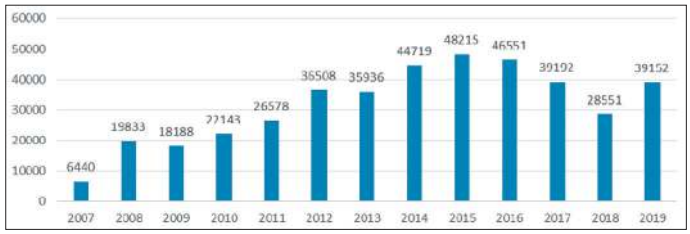
Podsumowanie

Usługa uruchomiona w Krakowie pod nazwą TELE-BUS jest pierwszą tego rodzaju ofertą przewozową w Polsce. Przez ponad 12 lat funkcjonowania przewieziono ponad 413 000 pasażerów, wykonując pracę przewozową przez autobusy realizujące usługę ponad 1 680 000 wozokilometrów. Średnie wielkości dobowe w całym okresie funkcjonowania usługi wyniosły:

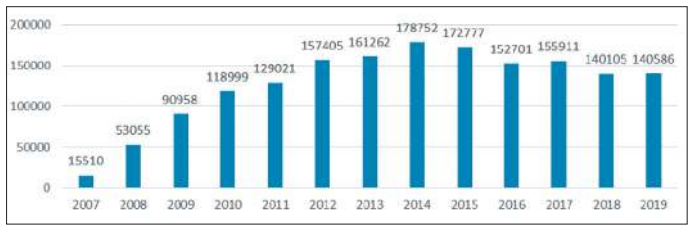
- 91 przewiezionych pasażerów,
- 368 wykonanych kilometrów przebiegu autobusów,
- 22 wykonane kursy,
- 4,1 pasażera przewiezionego w kursie,
- 16,6 kilometra długość kursu.

Literatura

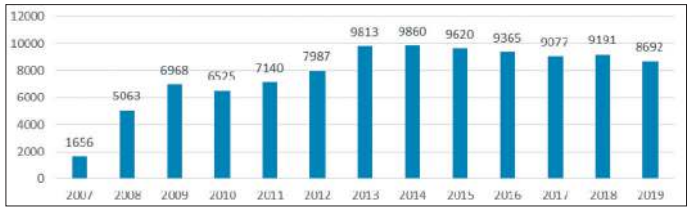
1. *Innowacje na rzecz zrównoważonego transportu miejskiego. Doświadczenia z realizacji projektu Unii Europejskiej CIVITAS-CARAVEL*, red. A. Rudnicki, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010.
2. Connect Project "*Organizational and operational aspects, contracting DRT services*". Position paper I – Workshop Connect Cremona, May 2005. *Za pracą Innowacje na rzecz zrównoważonego transportu miejskiego. Doświadczenia z realizacji projektu Unii Europejskiej CIVITAS-CARAVEL*, red. A. Rudnicki, Wydawnictwo PiT , Kraków 2010.
3. Engels D., Van Hemelrijk K., Ayland N., Ambrosino G., Donolo L., *A Basic system architecture and technical solutions for DRT*, Project Samplus, 2000. Za pracą *Innowacje na rzecz zrównoważonego transportu miejskiego. Doświadczenia z realizacji projektu Unii Europejskiej CIVITAS-CARAVEL*, red. A. Rudnicki, Wydawnictwo PiT , Kraków 2010.
4. Obuchowicz A., *Usługa TELE-BUS – przewozy transportem zbiorowym na żądanie*, „Transport Miejski i Regionalny", 2008, nr 7/8.
5. Drobniak-Salitra M., Obuchowicz A., *TELE-BUS – przykład pomyślnego transferu technologii z Genui do Krakowa*, „Transport Miejski i Regionalny", 2010, nr 10.



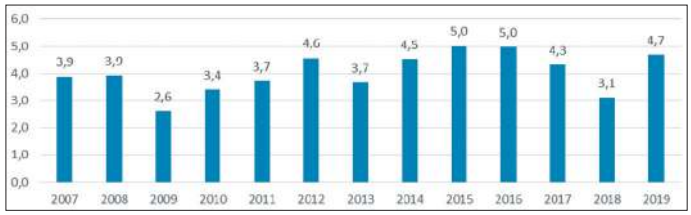
Rys. 6. Histogram liczby pasażerów korzystających z usługi TELE-BUS w latach 2007–2019 [pas]



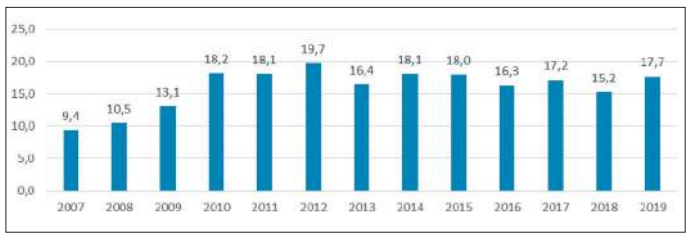
Rys. 7. Histogram pracy przewozowej usługi TELE-BUS w latach 2007–2019 [km]



Rys. 8. Histogram liczby kursów usługi TELE-BUS w latach 2007–2019



Rys. 9. Histogram średniej liczby przewiezionych pasażerów w kursie w ramach usługi TELE-BUS w latach 2007–2019 [pas/kurs]



Rys. 10. Średnia długość kursu w ramach usługi TELE-BUS w latach 2007–2019 [km]

Tabela 2

Charakterystyka przewozów TELE-BUS w latach 2007-2019

Rok	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Liczba pasażerów	6440	19833	18188	22143	26578	36508	35936	44719	48215	46551	39192	28551	40712
Liczba wozokilometrów	15510	53055	90958	118999	129021	157405	161262	178752	172777	152701	155911	140105	154104
Liczba kursów	1656	5063	6968	6525	7140	7987	9813	9860	9620	9365	9077	9191	8692
Średnia liczba pasażerów w kursie	3,9	3,9	2,6	3,4	3,7	4,6	3,7	4,5	5,0	5,0	4,3	3,1	4,7
Średnia długość kursu [km]	9,4	10,5	13,1	18,2	18,1	19,7	16,4	18,1	18,0	16,3	17,2	15,2	17,7

Ewolucja informacji o usługach w zbiorowym transporcie miejskim na przykładzie Zarządu Komunikacji Miejskiej w Gdyni[1]

MACIEJ HELBIN
mgr, Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni, ul. Zakręt do Oksywia 10, 81-244 Gdynia, e-mail: m.helbin@zkmgdynia.pl
OLGIERD WYSZOMIRSKI
prof. dr hab., Uniwersytet Gdański, Katedra Rynku Transportowego, ul. Armii Krajowej 119/121, 81-824 Sopot, e-mail: olgierd.wyszomirski@ug.edu.pl

Streszczenie: Pod wpływem zmian w dostępnych technologiach informacyjnych pasażerowie oczekują coraz lepszej informacji o usługach. W rozwiązaniach informacyjnych stosowanych przez organizatorów i operatorów zbiorowego transportu miejskiego nastąpiły w ostatnich latach daleko idące zmiany w tym zakresie. W artykule przedstawione zostały nowoczesne rozwiązania informacyjne stosowane w zbiorowym transporcie miejskim. Rola informacji w tym transporcie została pokazana na przykładzie Zarządu Komunikacji Miejskiej w Gdyni. W związku z wprowadzeniem w Trójmieście nowoczesnego systemu zarządzania ruchem drogowym TRISTAR oraz zakupem wielu nowoczesnych autobusów i trolejbusów w sieci ZKM w Gdyni znacznie rozwinięto system informowania pasażerów o usługach tego organizatora. W systemie tym istotną rolę pełnią ciągle rozwijające swoją funkcjonalność strony i aplikacje internetowe udostępniające zarówno statyczną, jak i dynamiczną informację o usługach zbiorowego transportu miejskiego. Podstawą ewolucji informacji o usługach transportowych stały się innowacyjne i nowoczesne nośniki informacji i aplikacje internetowe. Można przyjąć, że dzięki tzw. internetowi rzeczy będzie postępować dalszy rozwój aplikacji prezentujących dostępne sposoby podróży wraz z wszystkimi niezbędnymi informacjami służącymi do podejmowania racjonalnych lub optymalnych w danych warunkach decyzji determinujących zachowania transportowe.
Słowa kluczowe: zbiorowy transport miejski, postulaty przewozowe, informacja o usługach.

Wprowadzenie

Odkąd o systemach informacji zaczęto mówić po raz pierwszy, w globalnym świecie zaszły głębokie zmiany. Życie stało się o wiele bardziej złożone, stresujące i wymagające. Społeczeństwa przeszły z ery industrialnej do ery informacji, opartej na cyfryzacji i komputeryzacji. Technologie informacyjno-komunikacyjne stały się motorem przemian wyznaczających nowy światowy ład ekonomiczny. W wyniku ich masowego zastosowania utworzył się nowy typ społeczeństwa, zwany społeczeństwem wiedzy, dla którego podstawowym dobrem stała się informacja – symbol teraźniejszości, pokonywania barier i przekraczania granic. Informacja urosła do rangi globalnego czynnika sterującego, który występuje ponad konwencjonalnym porządkiem instytucjonalnym. Jej siła rośnie wraz z pojawianiem się kolejnych elementów infrastruktury informacyjno-komunikacyjnej, w szczególności nowych systemów informatycznych, platform cyfrowych, sieci telekomunikacyjnych, wreszcie potencjalnych użytkowników końcowych. Dziś już z trudem można sobie wyobrazić świat – w szczególności przemysł, gospodarkę, transport i edukację, jak również zwykłe relacje społeczne – bez internetu czy innych systemów informacyjnych [1]. Jedną z dziedzin gospodarowania, w której informacja przeszła i będzie nadal przechodzić ewolucję jest transport miejski.

Celem artykułu jest przedstawienie ewolucji informacji o usługach zbiorowego transportu miejskiego na przykładzie Zarządu Komunikacji Miejskiej w Gdyni. U jego podstaw leży teza badawcza, że ewolucja informacji o usługach jest determinowana postępem w zakresie nowych ich nośników oraz opracowywanych pod kątem ich wykorzystywania aplikacji. Wybór ZKM jest rezultatem zaangażowania autorów opracowania w proces ewolucji informacji o usługach dostarczanych przez tę jednostkę.

Informacje o usługach jako czynnik determinujący wybór sposobu podróży oraz jakość usług

Informacja o usługach w transporcie miejskim często jest klasyfikowana jako element wygody podróży, która obok czasu trwania, kosztu oraz bezpieczeństwa podróży wymieniana jest jako zasadniczy postulat przewozowy. Właściwe funkcjonowanie systemu informacji dla pasażera pełni istotną rolę w procesie kształtowania wysokiej jakości usługi transportowej. System ten może mieć wpływ na wybór środka transportu przez osoby planujące podróż. Rola informacji w procesie wyboru sposobu przemieszczenia w dobie silnie rozwiniętej technologii znacznie wzrosła. Organizatorzy zbiorowego transportu miejskiego uzyskali nowe narzędzia, dzięki którym mogą wpływać na jego konkurencyjność wobec samochodu osobowego. Atrakcyjny system informacji pasażerskiej jest jednym z elementów usług przewozowych mających wpływ na zwiększenie liczby osób z nich korzystających. Podróżujący mogą obecnie podjąć decyzję o wyborze środka transportu, mając dostępnych wiele informacji o planowanej podróży, w tym czasie jej trwania uwzględniającym bieżące warunki drogowe i faktyczne godziny odjazdów pojazdów z przystanków. Pozwala to na zaplanowanie podróży zgodnie z indywidualnymi preferencjami podróżujących, a zatem na jak najlepsze spełnienie tych postulatów przewozowych, które są dla nich istotne.

Zmianie uległy w ostatnich latach zakres dostarczanej informacji i jej dostępność. Dzięki rozwojowi systemów telekomunikacyjnych i informatycznych możliwe stało się dostarczenie pasażerowi wielu informacji o planowanej podróży praktycznie w dowolnym miejscu w przestrzeni.

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2020. Procentowy udział wkładu autorów w publikację: M. Helbin 50%, O. Wyszomirski 50%,

Oczywiście nie zwalnia to organizatorów transportu od stosowania i doskonalenia tradycyjnych systemów informacji pasażerskiej. Należy wziąć pod uwagę fakt, że nie każdy pasażer ma dostęp do przenośnych narzędzi informatycznych (notebook, smartfon lub tablet z połączeniem internetowym oraz odpowiednimi aplikacjami) [2].

Informacje poprzedzające podróż stanowią pierwszy i bardzo ważny rodzaj informacji. Niezbędne są one na etapie planowania podróży oraz pomagają w podjęciu decyzji, jakim środkiem transportu odbywać podróż. Są to informacje takie jak [3]:

- dostępność przystanku,
- cena przejazdu, możliwość skorzystania z ulg i rabatów,
- częstotliwość kursowania,
- godziny odjazdów,
- czas podróży i godzina przyjazdu do przystanku docelowego,
- miejsca przesiadkowe,
- przystosowanie pojazdu do przewozu osób niepełnosprawnych,
- możliwość przewozu bagażu,
- rodzaj pojazdu,
- usługi dodatkowe.

Sam proces decyzyjny przy wyborze środka transportu można podzielić na podobne etapy, jak czyni się to w wielu koncepcjach procesu decyzyjnego zakupu. Można więc w tym procesie wyróżnić etap poszukiwania informacji (o połączeniach, rozkładach jazdy, cenach i miejscach zakupu biletów), etap ocen wariantów wyboru sposobu dokonania przemieszczenia (przede wszystkim pod względem stopnia spełnienia przez każdy wariant postulatów przewozowych), ostateczną decyzję wyboru i postępowanie po zrealizowanej podróży. Wynikiem tego procesu jest określone zachowanie komunikacyjne [4].

W przypadku gdy podróżujący wybierze środek zbiorowego transportu miejskiego, rolą organizatora tego transportu jest zapewnienie mu wyczerpującej informacji w trakcie realizowanej podróży. Powinny to być informacje umieszczane na i w pojeździe oraz na przystanku, przekazywane i odbierane w łatwy i czytelny sposób, potrzebne na bieżąco, podczas realizowania podróży, dotyczące [3]:

- oznaczenia linii i kierunku,
- przepisów porządkowych oraz taryfy,
- wejścia dla osób niepełnosprawnych,
- lokalizacji automatów biletowych,
- tras linii, przystanków i przesiadek,
- zgodności realizacji kursów z rozkładem jazdy,
- zmian w organizacji ruchu.

Dobry i skuteczny nowoczesny system informacji pasażerskiej udostepniający kompleksowe dane najpierw na etapie planowania, a następnie realizacji podróży zbiorowym transportem miejskim powinien składać się z następujących elementów [2]:

- oznakowania środków transportu i ich wyposażenia w urządzenia informacji dynamicznej (elektroniczne wyświetlacze lub monitory, urządzenia głosowego zapowiadania kolejnych przystanków itp.);
- oznakowania i wyposażenia miejsc wymiany pasażerów (zintegrowane węzły przesiadkowe, dworce, stacje, przystanki i perony) w urządzenia dynamicznej informacji przystankowej (monitory, punkty informacyjne, biletomaty itp.);
- internetowego serwisu informacyjnego (portal);
- mobilnych wersji stron internetowych (przeznaczonych dla telefonów komórkowych, smartfonów, tabletów i laptopów);
- dedykowanych aplikacji mobilnych na elektroniczne urządzenia przenośne.

Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni jako organizator usług przewozowych

Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni jest organizatorem usług zbiorowego transportu miejskiego działającym na obszarze 10 gmin i zatrudniającym 7 operatorów (6 autobusowych i 1 trolejbusowego), wykonujących łącznie prawie 20 mln wozokilometrów rocznie [5]. Podstawą formalno-prawną kontraktu organizatora z operatorami, regulującą podział obowiązków pomiędzy stronami, jest umowa przewozowa. W kontraktach zawieranych przez ZKM w Gdyni organizator gromadzi wszystkie przychody ze sprzedaży biletów, odpowiedzialny jest za organizację sieci dystrybucji biletów oraz za wszelkie działania marketingowe mające na celu wzrost liczby pasażerów. Rola operatora sprowadza się do realizacji przewozów określonym rodzajem taboru według otrzymanego od organizatora rozkładu jazdy, przy przestrzeganiu wszystkich wymogów dotyczących jakości usług, które zapisane są w umowie przewozowej [6].

Wśród istotnych statutowych zadań Zarządu Komunikacji Miejskiej w Gdyni znajduje się przygotowywanie i udostępnianie informacji o funkcjonowaniu zbiorowego transportu miejskiego oraz promocja sprzedaży jego usług. Zadania te realizowane są przy użyciu szerokiego systemu informacji pasażerskiej w skład którego wchodzą:

- informacje na i w pojazdach,
- informacje na przystankach,
- informacje w internecie,
- informacje w biurach obsługi klienta, kasach biletowych i dyspozytorniach,
- informacje telefoniczne.

Etapy rozwoju informacji dla pasażerów w działalności Zarządu Komunikacji Miejskiej w Gdyni

Jednym z wymogów szczegółowo sprecyzowanych w umowach zawieranych między ZKM w Gdyni a zatrudnianymi operatorami są parametry techniczno-użytkowe pojazdów. Wśród parametrów tych znajduje się system informacji liniowej, który obejmuje wyświetlacze elektroniczne na zewnątrz i wewnątrz pojazdu, oraz system głosowego zapowiadania przystanków. System ten umożliwia wizualne oraz głosowe przekazywanie informacji o trasie przejazdu.

Zapisy dotyczące wyposażenia pojazdów zbiorowego transportu miejskiego w umowach na przestrzeni lat ewoluowały wraz z rozwojem technologii i wprowadzaniem przez producentów pojazdów coraz to nowych rozwiązań. Informacja liniowa wewnątrz i na zewnątrz pojazdów bardzo się rozwinęła. W latach 90. XX wieku w pojazdach o trasie i kierunku informowały drewniane tablice. Z czasem w pojazdach pojawiły się proste wyświetlacze elektroniczne informujące o przystanku docelowym, następnie wyświetlacze z identyfikacją bieżącego przystanku i zapowiedzi głosowe następnego przystanku. Obecnie produkowane systemy informacji pasażerskiej dają szerokie możliwości dokładnego informowania pasażera o realizowanej podróży. Możliwości w tym zakresie pokazują przedstawione poniżej wymagania odnośnie wymogów dotyczących systemu informacji pasażerskiej w nowych pojazdach wprowadzanych do sieci przez operatorów komunalnych wykonujących przewozy na rzecz ZKM w Gdyni. Zawarte w umowie z 2019 roku zapisy odnośnie tych wymagań są następujące:

a) wizualna informacja liniowa na zewnątrz pojazdu:
   - oznaczenie linii i nazwa przystanku docelowego, a w razie potrzeby dodatkowa informacja o kursie wariantowym, zmianie trasy itp. – z przodu, z tyłu i po prawej stronie pojazdu,
   - podczas postoju pojazdu na przystanku końcowym i początkowym, dodatkowo – naprzemiennie z informacjami wskazanymi w punkcie powyżej – czas do rozkładowego odjazdu – z przodu pojazdu, a w miarę możliwości także po prawej stronie i z tyłu pojazdu;

b) wizualna informacja liniowa wewnątrz pojazdu – prezentowana na wyświetlaczu podsufitowym oraz bocznym:
   - oznaczenie linii z uwzględnieniem jej charakteru (zwykła, pospieszna, nocna i specjalna),
   - nazwa przystanku docelowego,
   - nazwa przystanku bieżącego (przed zatrzymaniem pojazdu na przystanku i w czasie postoju na nim) lub nazwa kolejnego przystanku, poprzedzona opisem „następny przystanek" (po ruszeniu pojazdu z przystanku i w czasie jazdy między przystankami),
   - fragment przebiegu trasy – ostatni obsłużony przystanek (wyszarzony), przystanek bieżący/następny (wyróżniony graficznie), kolejnych sześć przystanków (dotyczy tylko podsufitowego wyświetlacza),
   - przebieg trasy – wykaz wszystkich przystanków na trasie kursu, ich przyporządkowanie jednostkom administracyjnym (miasto, gmina) oraz ulicom, na których się znajdują; w przypadku długich nazw przystanków powinna być zastosowana odpowiednio zagęszczona czcionka przy konieczności zachowania czytelności nazwy; przebyty fragment trasy powinien być wyszarzony (dotyczy tylko bocznego wyświetlacza),
   - aktualna data i godzina,
   - komunikat będący następstwem naciśnięcia przycisku „stop", „przyklęk" lub „rampa",
   - komunikat dotyczący pracy klimatyzacji w pojeździe,
   - komunikat dotyczący blokady kasowników,
   - dodatkowe informacje o charakterze przystanków (na żądanie, strefowy itp.) przy ich nazwach,
   - opcjonalnie, zgodnie z zarządzeniem ZKM: bieżące komunikaty o usługach jako tekst, grafika, animacja lub film,
   - nazwa i logo oraz adres strony internetowej i numer telefonu ZKM (dotyczy tylko bocznego wyświetlacza);

c) zapowiedzi głosowe przystanków:
   - „następny przystanek: [nazwa następnego przystanku]" – po ruszeniu pojazdu z przystanku,
   - „[nazwa bieżącego przystanku]" – przed zatrzymaniem pojazdu na przystanku,
   - „pojazd klimatyzowany – proszę nie otwierać okien"; w przypadku niesprawności klimatyzacji, jeżeli temperatura wewnątrz pojazdu przekracza +22°C: „Bardzo przepraszamy – klimatyzacja nieczynna ze względów technicznych",
   - ewentualne dodatkowe komunikaty głosowe, pomiędzy zapowiedziami głosowymi przystanków.

Na rysunku 1 zaprezentowano graficzną ilustrację opisanego powyżej wyświetlacza wewnętrznego podsufitowego, natomiast na rysunku 2 – wyświetlacza wewnętrznego bocznego.

Rys 1. Wyświetlacz wewnętrzny podsufitowy w nowowprowadzanych pojazdach do sieci ZKM w Gdyni

Źródło: materiały ZKM w Gdyni.

Rys 2. Wyświetlacz wewnętrzny boczny w nowowprowadzanych pojazdach do sieci ZKM w Gdyni

Źródło: materiały ZKM w Gdyni.

Poza systemem informacji liniowej w pojazdach muszą być zamieszczone informacje o usługach świadczonych przez ZKM w Gdyni. Wśród najważniejszych informacji znajdują się:

- obowiązująca taryfa za przejazdy,
- wykaz biletów dostępnych u kierowcy,
- wykaz uprawnień do przejazdów ulgowych i bezpłatnych,
- przepisy porządkowe i taryfowe,
- klauzula informacyjna dotycząca przetwarzania danych osobowych w systemie monitoringu wizyjnego pojazdu,

- inne postanowienia ZKM istotne dla pasażerów w postaci piktogramów i napisów w miejscach określonych przez ZKM, np. oznaczenia miejsc dla osób z niepełnosprawnościami, matek z dzieckiem, wejść dla wózków.

Ważnym elementem systemu informacji dla pasażerów są informacje udostępnione na przystankach. Obejmują one statyczny rozkład jazdy z danego przystanku dla wszystkich linii. Na przystankach wyposażonych w wiaty wywieszony jest ponadto komplet informacji o taryfie, przepisach porządkowych i taryfowych oraz dodatkowo, w sytuacjach czasowych zmian w obsłudze transportowej na temat awarii, objazdów itp.

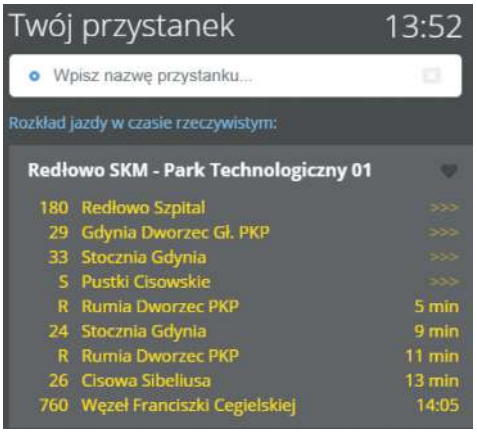
Informacja na przystankach została uzupełniona dzięki wdrożeniu w 2015 r. systemu TRISTAR o prezentację dynamicznych odjazdów pojazdów. Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni jest jednym z użytkowników tego systemu. Podstawowym zadaniem tej inwestycji jest zwiększenie przepustowości układu drogowego i płynności ruchu. System TRISTAR wykorzystuje dane pochodzące z detektorów ruchu zlokalizowanych na wlotach skrzyżowań. Dzięki złożonym algorytmom obliczeniowym, zapewnia automatyczne sterowanie sygnalizacjami świetlnymi, maksymalizuje przepustowość skrzyżowań, redukuje opóźnienia i zmniejsza liczbę zatrzymań autobusów i trolejbusów. Jednym z ważniejszych elementów zrealizowanej inwestycji jest moduł zarządzania pojazdami transportu zbiorowego. System TRISTAR, dzięki usłudze pozycjonowania, zapewnia wizualizację na cyfrowej mapie wszystkich eksploatowanych środków tego transportu, z zaznaczeniem pojazdów opóźnionych i przyspieszonych w stosunku do rozkładu jazdy. Trójmiejski system zarządzania ruchem zapewnia także dokładne dane, które znajdują zastosowanie w ramach dynamicznej informacji pasażerskiej prezentowanej nie tylko na przystankach, ale również w internecie i na urządzeniach mobilnych [6].

Obecnie w tablice TRISTAR wyposażonych jest 69 przystanków, co stanowi 6% przystanków w sieci ZKM w Gdyni. Liczba przystanków w nie wyposażonych systematycznie rośnie. Na tablicach prezentowana jest dynamiczna, odświeżana co kilkanaście sekund informacja o najbliższych odjazdach pojazdów z przystanku. Informacja ta zawiera numer linii, przystanek docelowy oraz liczbę minut do odjazdu. W przypadku, gdy pojazd ma niesprawny system na tablicy prezentowana jest informacja o rozkładowym odjeździe z przystanku. Ponadto na tablicach publikowane są komunikaty specjalne – o objazdach, awariach itp. Tablice wyposażone są w system głosowej informacji dostępnej po wciśnięciu przycisku, dedykowanej dla osób z całkowitym lub znacznym zaburzeniem widzenia. Tablicę przystankową TRISTAR zaprezentowano na rysunek 3.

Obecnie jednym z głównych źródeł informacji jest internet. Dzięki rozwojowi technologii sprzętowej oraz języków programowania przy jednocześnie niewysokich kosztach ich używania informacja czerpana z sieci jest dostępna dla szerokiego grona odbiorów, a dzięki przenośnym urządzeniom mobilnym w zasadzie dostępna wszędzie i natychmiastowo. Pasażer może znaleźć wiele informacji na ekranie monitora, bez konieczności odwiedzania Biura Obsługi Klienta czy nawet wykonywania telefonu.

Rys 3. Tablica informacyjna TRISTAR na przystanku
Źródło: materiały ZKM w Gdyni.

Dynamiczny rozwój i popularyzacja internetu nastąpiła w drugiej połowie lat 90. XX wieku. Pierwsza strona internetowa zkmgdynia.pl zawierała informacje o usługach tego organizatora transportu oraz statyczne rozkłady jazdy wszystkich linii. Ostatnio strona ZKM w Gdyni została unowocześniona, odświeżona wizualnie oraz dostosowana do prawidłowego wyświetlania na urządzeniach mobilnych. Najistotniejszą zmianą jest jednak nowa funkcjonalność informacyjna strony – dostępne są na niej wirtualne tablice przystankowe. Dane wyświetlane na tych tablicach pobierane są z systemu TRISTAR, analogicznie jak to ma miejsce w przypadku opisanych wcześniej tablic na przystankach. Tablice dostępne są dla wszystkich przystanków w sieci ZKM w Gdyni. Dodatkowe funkcjonalności pozwalają na dodawanie przystanków do listy preferowanych oraz lokalizację przystanku za pomocą GPS. Przykładową wirtualną tablicę TRISTAR przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Wirtualna tablica TRISTAR
Źródło: zkmgdynia.pl (dostęp: 10.02.2020)

Obecnie poza stroną Zarządu Komunikacji Miejskiej w Gdyni system informacji internetowej o usługach tego organizatora zbiorowego transportu miejskiego stanowią:

- strona Metropolitalnego Związku Komunikacyjnego Zatoki Gdańskiej (mzkzg.org) zawierająca informacje o funkcjonowaniu tego związku, którego Gdynia jest członkiem, w szczególności dotyczące biletów metropolitalnych honorowanych w pojazdach ZKM w Gdyni;

- profil ZKM w Gdyni na portalu społecznościowym Facebook (facebook.com/zkmgdynia), na którym publikowane są posty dotyczące najważniejszych wydarzeń takich jak zmiany w rozkładach jazdy, komunikaty specjalne dotyczące innej organizacji ruchu, informacje dotyczące obsługi transportowej imprez w Gdyni oraz wydarzeń związanych z transportem miejskim;
- strona Miasta Gdyni (gdynia.pl) oraz jej profil na portalu społecznościowym Facebook (facebook.com/Gdynia), na których także publikowane są informacje o transporcie miejskim w Gdyni oraz wydarzeniach z nim związanych;
- strona i aplikacja jakdojade.pl, umożliwiające wyszukiwanie połączeń transportowych w wielu miastach w Polce, w tym w Gdyni. Wyszukiwarka zamieszona jest niezależnie w tym serwisie, ale także jako wtyczka na głównej stronie ZKM w Gdyni. Serwis wyszukuje połączenia w skali całej Metropolii Zatoki Gdańskiej, a więc również uwzględniając innych organizatorów i operatorów transportu.

Tradycyjne formy informowania o usługach stopniowo wypierane są przez nowe technologie, dzięki którym informacja dostępna jest szybko z każdego miejsca. Wystarczy posiadać telefon z internetem. Wciąż jednak organizator zbiorowego transportu miejskiego musi w ramach swojego systemu informacji zapewniać również tradycyjny dostęp do informacji o usługach, np. dla osób niekorzystających z internetu. Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni umożliwia swoim pasażerom uzyskanie informacji w jednej z placówek tego organizatora, do których należą:

- siedziba główna ZKM w Gdyni,
- biura obsługi klienta,
- kasy biletowe,
- dyspozytornie trasowe.

W biurze obsługi klienta pasażer może także otrzymać wydruk rozkładu jazdy z wybranego przez siebie przystanku. Są tam regularnie dystrybuowane również materiały promocyjne w formie folderów informacyjnych, schematów sieci itp. Podstawowych informacji o usługach udzielają także kierowcy pojazdów zbiorowego transportu miejskiego. Ponadto można uzyskać ją także telefonicznie, dzwoniąc na całodobowo funkcjonującą Infolinię Zarządu Komunikacji Miejskiej w Gdyni.

Kierunki rozwoju informacji o usługach transportowych

Informacja o usługach zbiorowego transportu miejskiego przeszła w ostatnich latach znaczną ewolucję. Rozwinęły się aplikacje i strony internetowe, dynamiczna informacja pasażerska, a wyświetlacze w pojazdach prezentujące wcześniej wyłącznie kierunek jazdy stały się dużymi ekranami szczegółowo informującymi o różnych parametrach realizowanej podróży. Dzięki rozwiniętej technologii i sporej prostocie jej wdrażania powstają coraz to nowe innowacyjne rozwiązania. Przykładem takiego rozwiązania są postawione przez Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni w 2019 r. cztery nowe inteligentne wiaty. Są to pierwsze tego typu instalacje w Polsce. Wiaty zasilane są z paneli fotowoltanicznych znajdujących się na ich dachach. Są więc one energetycznie samowystarczalne. Zostały wyposażone w e-papierowe ekrany, na których pasażer może sprawdzić aktualny rozkład jazdy czy też zapoznać się z bieżącymi informacjami o usługach, w tym o specjalnych warunkach ruchu z powodu awarii i objazdów. Sporą korzyścią dla organizatora transportu jest możliwość aktualizacji informacji pasażerskiej zdalnie, bez konieczności wykonywania określonej pracy na przystanku przez pracowników, a zatem dostarczania jej w czasie rzeczywistym. Wśród dodatkowych funkcjonalności nowych solarnych wiat w sieci ZKM w Gdyni jest możliwość doładowania telefonu przez pasażera. Ponadto zaletą nowych wiat jest wyposażenie ich w adaptacyjne oświetlenie, które włącza się gdy ktoś do nich podchodzi.

Informacje o usługach transportu miejskiego będą również ewoluować dzięki rozwojowi ekonomii współdzielenia, której zastosowanie w praktyce daje osobie planującej podróż w aglomeracji miejskiej znacznie więcej możliwości jej realizacji. Obecnie podróżujący ma często do wyboru kilka środków transportu publicznego. W zależności od miasta mogą należeć do nich: środki operatorów zbiorowego transportu miejskiego (autobusy, trolejbusy, tramwaje, metro), kolej, pojazdy indywidualne na minuty (samochody, skutery, rowery, hulajnogi). Aby dotrzeć do celu, podróżujący może wybrać któryś z nich lub ich kombinację. Wybór skutkować będzie określonym kosztem i czasem podróży (w tym czasem dojścia do środka transportu, ewentualnej przesiadki i dojścia od środka transportu do miejsca docelowego), subiektywnie odczuwaną wygodą podróży oraz poziomem bezpieczeństwa. Im precyzyjniejszą informację o możliwych alternatywach dostanie podróżujący, tym lepszą decyzję może podjąć i osiągnąć większą satysfakcję z wyboru, w zależności od własnych preferencji i priorytetów.

Obecnie powszechnie używane aplikacje internetowe pokazują pasażerowi zaplanowane w rozkładach jazdy godziny odjazdów, wyszukują połączenia i prezentują ceny biletów. Coraz częściej, zwłaszcza w dużych miastach i aglomeracjach, informacje te rozszerzane są jednak o faktyczne godziny odjazdów, szacowane czasy przejazdu oraz dojścia do i z przystanku, czy też godziny dotarcia do celu. Niezależnie od aplikacji organizatorów lub operatorów zbiorowego transportu miejskiego w ostatnich latach pojawiły się aplikacje operatorów pojazdów współdzielonych. Dotychczas, aby sprawdzić możliwości przemieszczenia się, podróżujący musiał niezależnie uruchomić poszczególne strony lub aplikacje i porównać możliwe sposoby podróży. Obecnie funkcjonują już aplikacje wychodzące poza usługi jednego organizatora lub operatora, integrujące w jednym miejscu informacje o różnych sposobach podróżowania. Przykładem takiej aplikacji jest take & drive.

Aplikacja take & drive działa już w kilkunastu aglomeracjach miejskich w Polsce, w tym w Metropolii Zatoki Gdańskiej. Wyświetla ona na mapie pojazdy wszystkich operatorów wypożyczających je na minuty. W przypadku Gdyni należą do nich samochody, skutery oraz hulajnogi.

Użytkownik wybierając dany pojazd otrzymuje podstawowe informacje o nim (np. w przypadku samochodu rodzaj skrzyni biegów, stan paliwa) oraz o opłacie za przejazd danym pojazdem. Ponadto na mapie wyświetlone są dla wszystkich przystanków zbiorowego transportu miejskiego najbliższe faktyczne godziny odjazdów pojazdów. Dane dotyczące pojazdów ZKM w Gdyni, analogicznie do wirtualnych tablic na stronie tego organizatora, czerpane są z systemu zarządzania ruchem TRISTAR. Użytkownik widzi na mapie swoje położenie oraz różne środki transportu, którymi może się przemieścić. Przykładowy widok mapy z opisanej aplikacji przedstawiono na rysunku 5.

Rys. 5. Aplikacja take & drive w zastosowaniu do centrum Gdyni
Źródło: takeanddrive.eu/map.htm (dostęp: 10.02.2020).

Budowa takich aplikacji jak take & drive możliwa stała się dzięki rozwojowi tzw. internetu rzeczy. Jest on systemem obiektów fizycznych, które można odkrywać, monitorować i kontrolować i z którymi można wchodzić w interakcję dzięki zastosowaniu urządzeń elektronicznych, zapewniających komunikację za pośrednictwem różnych interfejsów sieciowych. Jednym z celów rozwoju tego systemu jest zapewnienie jak największej liczbie programistów możliwości wykorzystania najnowszych standardów w zakresie internetu rzeczy. Każdy programista, który ma edytor tekstów oraz podstawową znajomość standardów, może podłączyć do internetu urządzenia i obiekty. Ułatwione staje się także tworzenie interaktywnych i innowacyjnych aplikacji, które łączą ze sobą świat fizyczny i cyfrowy. W ciągu kilku ostatnich lat internet rzeczy stał się jednym z najbardziej obiecujących i ekscytujących kierunków rozwoju technologii i biznesu. Maleńkie komputery wyposażone w czujniki oraz interfejsy komunikacyjne umieszczone w infrastrukturze naszych miast, samochodach, biurach, a nawet ubraniach, mają szansę zrewolucjonizować wszystkie obszary życia – sposoby, w jaki ludzie oddają się rozrywkom, pracują czy robią interesy. [7]. Spowodują również ewolucję sposobów przemieszczania się.

Internet rzeczy rozszerzy świat, tworząc całkowicie nowe możliwości zastosowań malutkich i tanich – lecz jednocześnie coraz bardziej potężnych – komputerów. Powoli stanie się możliwe monitorowanie świata fizycznego oraz wchodzenie w interakcję z nim, i to w znacznie większym zakresie i bardziej precyzyjnie niż kiedykolwiek wcześniej [7]. Dalszy rozwój aplikacji prezentujących dostępne środki transportu będzie następował z jednej strony w oparciu o coraz większą liczbę urządzeń do nich wpinanych, a z drugiej o rozwój algorytmów (w tym algorytmów sztucznej inteligencji) przekazujących osobom podróżującym pożądane informacje. W rezultacie osoby te otrzymają informacje o różnych sposobach podróży, w tym czasie ich trwania z uwzględnieniem warunków drogowych, szacowanym lub dokładnym ich koszcie oraz komforcie przejazdu (np. rodzaju samochodu, typie skrzyni biegów, rodzaju napędu, odległości przejazdu bez tankowania). Informacje te wpływać będą na jego zachowania transportowe nie tylko przed rozpoczęciem, ale także w trakcie podróży, np. w sytuacji dużych zatorów drogowych podróżujący będzie mógł podjąć decyzję o pozostawieniu wypożyczonego samochodu ramach usługi carsharingu i przesiadce na kolej. Wystarczy do tego telefon z podłączeniem do internetu.

Podsumowanie

W ciągu ostatnich trzech dziesięcioleci informacje udzielane użytkownikom transportu miejskiego przeszły zasadniczą ewolucję. Podstawą tej ewolucji stały się innowacyjne i nowoczesne nośniki informacji i aplikacje internetowe. Można przyjąć, że dzięki tzw. internetowi rzeczy będzie postępować dalszy rozwój aplikacji prezentujących dostępne sposoby podróży wraz z wszystkimi niezbędnymi informacjami służącymi do podejmowania racjonalnych lub optymalnych w danych warunkach decyzji determinujących zachowania transportowe.

Przykładem organizatora zbiorowego transportu miejskiego wdrażającego sukcesywnie dostępne innowacje w zakresie informacji o usługach przewozowych jest Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni. Szczególnie duży zakres zmian w przekazywanych informacjach nastąpił w ostatnich latach, co pozwala założyć, że jednostka ta będzie aspirować do roli lidera pod względem adaptacji w praktyce dostępnych innowacji technicznych i organizacyjnych. Możliwym kierunkiem rozwoju jest włączenie się przez Zarząd Komunikacji Miejskiej w system Mobility as a Service integrujący wszystkie informacje o możliwych sposobach podróży.

Literatura

1. Ejdys S., *Informacja we współczesnym świecie – próba systematyzacji wiedzy*, „Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych, Szkoła Główna Handlowa", 2017, nr 44.
2. Kempa J., Iwanowicz D., *Ogólna ocena i koncepcja rozwoju systemu informacji pasażerskiej w przewozach regionalnych województwa kujawsko-pomorskiego*, „Transport Miejski i Regionalny", 2016, nr 11.
3. Kędzior R., Bryniarska Z., *Informacja pasażerska w publicznym transporcie zbiorowym*, „Transport Miejski i Regionalny", 2015, nr 6.
4. *Transport miejski. Ekonomika i organizacja*, red. O. Wyszomirski, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2008.
5. Helbin M., Wyszomirski O., *Kontrola funkcjonowania transportu miejskiego jako element kształtowania jakości usług na przykładzie Zarządu Komunikacji Miejskiej w Gdyni*, „Transport Miejski i Regionalny", 2007, nr 12.
6. Bujak K., *Znaczenie i uwarunkowania kontroli jakości usług przewozowych prowadzonej przez Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni*, „Transport Miejski i Regionalny", 2014, nr 3.
7. Guinard D.,Trifa V., *Internet rzeczy. Budowa sieci z wykorzystaniem technologii webowych i Raspberry Pi*, Helion, Gliwice 2017.

Niedoskonałości współpracy naukowców i praktyków w rozwiązywaniu problemów miejskiego publicznego transportu zbiorowego[1]

WOJCIECH BĄKOWSKI
prof. dr hab.,Uniwersytet Szczeciński, ul. Cukrowa 8, 71-004 Szczecin, e-mail: Wojciech.Bakowski@wzieu.pl

Streszczenie: W funkcjonowaniu publicznego transportu miejskiego pojawiły się dwa bardzo niekorzystne procesy: eksploatowanie zużytego taboru i ciągły wzrost kwot dopłat do transportu miejskiego. Jedną z przyczyn tych zjawisk jest nikła współpraca środowisk nauki z praktykami. W artykule przedstawiono niedoskonałości w metodyce badania problemów funkcjonowania transportu publicznego. Ponadto wykazano, że występują niedoskonałości w zarządzaniu transportem publicznym na poziomie władz miejskich. Brak zmian w podejściu do badania procesów w transporcie miejskim przez praktyków i przedstawicieli nauki jest niekorzystny dla wdrażania nowoczesnych rozwiązań w systemie transportu miejskiego.

Słowa kluczowe: transport miejski, transport zbiorowy, relacja naukowców i praktyków.

Przypomnienie z ekonomii

W naukach ekonomicznych ważnym przedmiotem badania są relacje, jakie zachodzą pomiędzy popytem a podażą na określonym rynku. Analizowany jest najpierw rynek tj. struktura dostawców produktów tworzących podaż, struktura zbiorowości kupujących, produkty tworzących popyt. Następnie badane są relacje, jakie wywołują ceny oferowanych produktów pomiędzy dostawcami i odbiorcami. Odbiorcy poszukują względnie podobnych produktów, ale o niskiej cenie. Rynek wywołuje konkurencję, wymuszając taki poziom cen po stronie dostawców, aby one były akceptowane przez odbiorców i pozwalały uzyskiwać nadwyżkę finansową za sprzedane produkty.

W rozpatrywaniu tych relacji pomiędzy podażą produktów a ceną i popytem uwzględnia się wiele czynników określonych kategoriami ekonomicznymi. W przypadku, gdy konsumentem jest osoba fizyczna, duży wpływ na popyt każdego produktu ma budżet domowy. Ponadprzeciętny budżet przypadający na jedną osobę w gospodarstwie domowym pozwala na zakup produktów o wyższych niż przeciętna cena rynkowa, ale mający istotne walory dla kupującego np. jakość. Drugim znaczącym czynnikiem ekonomicznym mającym wpływ na popyt przy cenie danego produktu jest możliwość korzystania z substytutów oferowanego produktu. W zakresie przemieszczania osób substytutem usługi dla transportu zbiorowego jest jazda własnym samochodem, taksówką, rowerem, skuterem elektrycznym. We wszelkiego rodzaju przewozach pasażerskich dominującym konsumentem usług oferowanych przez przewoźników jest osoba korzystająca ze źródła finansowania, jakim jest budżet domowy. Poza tym w przewozach pasażerskich są osoby, których koszty przemieszczania pokrywa osoba prawna – właściciele przedsiębiorstw i uprawnione osoby pracujące w biznesie i instytucjach publicznych.

Cechy struktury organizacyjno-ekonomicznej pomiędzy administracją samorządu a operatorem.

Wykorzystując wytyczne zaczerpnięte z nauki ekonomii i zarządzania, rozpocznę od identyfikacji cech organizacyjno-prawnych, jakimi charakteryzuje się struktura uprawnień władczych w systemie zarządzania-administrowania publicznym transportem zbiorowym w aglomeracjach miejskich. Zarządzanie przybiera cechy administrowania z uwagi na udział w sprawowaniu władzy trzech podmiotów wchodzących we wzajemne relacje tj.: Rady Miasta, urzędu administracji samorządowej i organizatora transportu, ale nie ponoszącego ryzyka.

Ten „triumwirat", jako reprezentant mieszkańców miasta, zapewnia warunki techniczno-ekonomiczne do organizowania podaży usług przewozowych. Pierwszym zadaniem jest wytyczenie sieci komunikacyjnej i rozpisanie rozkładu jazdy. Drugim zadaniem jest ustalenie cen taryfowych za bilety i organizowanie systemu dystrybucji biletów oraz poboru opłat. Trzecim zadaniem jest wybór, na zasadach przetargu według najniższej ceny 1 wozokm i dodatkowych wymagań (np.: nowy tabor) przewoźników (inwestorów prywatnych) do obsługi lokalnego rynku przewozowego. W przypadku operatorów własnych organizator negocjuje cenę za wozokm w oparciu o przedstawioną przez operatora kalkulację kosztową oraz pozaekonomiczne kryteria. Na organizatorze transportu spoczywa funkcja kontrolna w zakresie wykonawstwa zadań ustalonych w kilkuletniej umowie z operatorem i egzekwowania pojawiających się rozbieżności pomiędzy zadaniami a wykonawstwem. Ostatnim zadaniem jest zorganizowanie systemu kontrolowania biletów podróżnym. Organizator, posiadający wiedzę o całej działalności gospodarczej związanej nie tylko z transportem zbiorowym, robi projekt, w którym zestawia wszystkie informacje związane z siecią komunikacyjną, przewozami, wydatkami – w tym kwot przewidzianych na działalność operatora oraz przychodami ze sprzedaży biletów według stosowanej taryfy. Politycy w porozumieniu z administracją samorządową korygują zaprojektowany zakres działania, przychodów i wydatków, zatwierdzają i przekazują do wykonania. Szczególne znaczenie dla polityków mają ceny taryfowe za bilety. Podstawowym kryterium ustalania ceny za bilet indywidualny i bilety pochodne (okresowe) jest wrażliwość władz samorządowych na wy-

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2020.

datki mieszkańców, a nie relacje ekonomiczne zachodzące pomiędzy popytem a podażą. Nie ma żadnej korelacji pomiędzy kwotą dopłat do publicznych przewozów w mieście a przychodami ze sprzedanych biletów. Ewentualna zmiana stawek taryfowych biletów jest przedmiotem burzliwych dyskusji, z których wynika, że „liczy się interes mieszkańców, aby ceny były jak najmniejsze".

W tym względzie żadne uzasadnienia ekonomicznego spojrzenia na ceny biletów, jak np.: elastyczność cenowa, wzrost dopłat do publicznego transportu zbiorowego, poziom inflacji czy brak środków na odnowę taboru itp., nie są brane pod uwagę. Najlepszym przykładem jest stosowanie w kilkunastu miastach taryfy zerowej dla wszystkich pasażerów lub wybranego grona pasażerów, np. kibiców jadących na mecz piłkarski, czy właścicieli samochodów osobowych. Politycy nie odwołują się do potrzeby zdobywania środków finansowych zasilających budżet na szeroko rozumianą działalność publicznego transportu zbiorowego.

Planowany jest poziom deficytu, jaki powstaje pomiędzy przychodami ze sprzedaży biletów a kwotami opłat za wykonane zadania przewozowe przez operatorów. Jedynymi kategoriami ekonomicznymi rozważanymi przez polityków lokalnych są kwoty wydatków, jakie z budżetu samorządowego można przeznaczyć na działalność organizatora i kupno usług oferowanych przez operatorów oraz wydatki na elementy majątku trwałego dla całego miejskiego systemy transportowego.

Wady i zalety struktur władzy samorządowej w zakresie funkcjonowanie publicznego transportu zbiorowego

Organizator – jak zostało powiedziane wcześniej – pełni funkcję administratora. Nie ma mechanizmu związanego z ryzykiem i wynikami ekonomicznymi tj. uzyskaniem nadwyżki finansowej. Wydatki i kwoty otrzymane z budżetu na operatywną działalność PTK muszą się bilansować. Na zakończenie roku obrachunkowego uzyskanie „oszczędności" to zła informacja, a ewentualny niedobór też nie jest dobry, ale zawsze znajduje się nieprzewidziane zdarzenia uzasadniające zwiększenie kwoty wydatku ponad planowaną wielkość.

Wynikiem braku standardów jest permanentny wzrost dopłat do komunikacji zbiorowej przy jednoczesnym spadku liczby przewożonych pasażerów. Organizator stara się wykazywać w projekcie budżetu wzrost źródeł kosztów niezależnych od administrowania (np.: wzrost kosztów minimalnej płacy, energii, paliwa, wywozu odpadów), aby z budżetu samorządowego pozyskać jak największą kwotę wydatków na własną działalność (skrywaną przed społecznością lokalną). Racjonalizacja zatrudnienia w wyniku systemów IT, procesowego podejścia i innych innowacyjnych rozwiązań, jest sprzeczna z tzw. krzywą doświadczenia. Organizator nie czyni wysiłków, aby zwiększać poziom wiedzy, bo nie ma takiej potrzeby. Stagnacja w kulturze organizacyjnej prowadzi do stosowania niezmiennych zasad działania. Przełożenie przez organizatora zadań na operatorów związane jest ze zdolnością pokrycia zobowiązań na rzecz operatorów z budżetu samorządowego.

Najlepszymi przykładami są: problemy taryfowe czy stosowanie ulg dla młodzieży, zwiększenie częstotliwości kursowania pojazdów na wybranych liniach komunikacyjnych czy wydłużenie linii autobusowej. Odrębnym problemem jest udział organizatora w projektach infrastrukturalnych systemu drogowego i sieci komunikacji miejskiej np. budowa buspasów. Tu problem jest bardziej złożony, a rola organizatora sprowadza się do wykazania zapotrzebowania na remonty lub nowe inwestycje infrastrukturalne ze wskazaniem priorytetów określanych jako niezbędne szczególnie, gdy argumentem jest bezpieczeństwo. Decydujący głos mają lokalni politycy i administracja samorządowa (np. skarbnik).

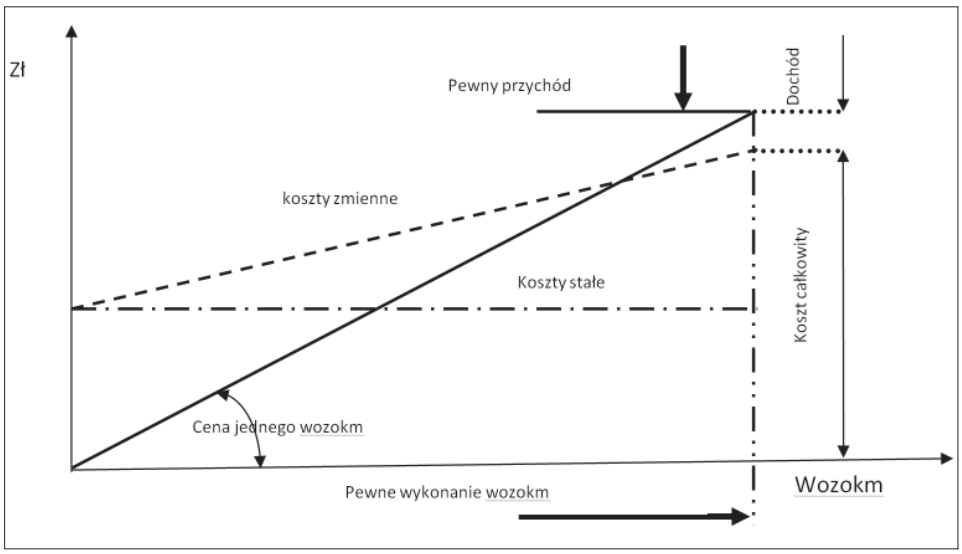
Korzyści operatora wynikająz umowy o realizacji przewozów na obszarze aglomeracji miejskiej

Przewoźnicy operatorzy autobusowi powszechnie uznają, że uzyskanie dostępu do zamkniętego rynku przewozów na obszarze aglomeracji miejskiej jest bardzo korzystnym przedsięwzięciem organizacyjno-ekonomicznym. Operatorzy nie obawiają się bezpośredniego wejścia konkurencji na obsługiwane linie autobusowe przez okres ustalony w zawartej umowie. Korzystne jest precyzyjne, jak na warunki panujące w tym otoczeniu, planowanie zadań przewozowych bez uwzględniania frekwencji pasażerów. Ta względna precyzja pozwala bez ryzyka planować zarobkowe przebiegi taboru i wynikające z tego tytułu przychody oraz źródła kosztów stałych i zmiennych (paliwo, ogumienie, obsługi techniczne, naprawy).

W praktyce poznanej przez autora wykonanie zadań planowych nie przekracza 2–3% odchylenia w stosunku do zrealizowanych przewozów w skali roku. Wydarzenia okolicznościowe w mieście zmieniają ustalony cykl pracy taboru i tu pojawia się przyczyna różnicy pomiędzy planem a faktycznie zrealizowanymi zadaniami przewozowymi. Ryzyko w działalności operatora pojawia się z powodu losowych zdarzeń, jakie zakłócają cykl pracy taboru, oraz niskiego poziomu jakości bieżącego zarządzania przez dyspozytorów, zaplecza technicznego i zachowań kierowców. Największym źródłem ryzyka w niezawodnym działaniu operatora jest nadmiernie zużyty tabor autobusowy (tramwajowy również). To ryzyko można zmniejszyć poprzez nadmiar stanu inwentarzowego taboru w stosunku do zapotrzebowania na tzw szczyt. Ta nadmiarowość stojącego taboru powoduje znaczne zwiększenie kosztów stałych a tym samych kosztów całkowitych operatora. W takich warunkach funkcjonowania wysiłek intelektualny kierownictwa operatora skierowany jest na trzy cele gospodarcze:

1. Osiągnąć zysk poprzez oszczędne wykonanie planowanych zadań ustalonych w umowie, ponieważ kwota przychodów jest „zadana".
2. Niezawodnie i elastyczne realizować zadania przewozowe, aby nie ponosić kar umownych.
3. Odnawiać w sposób ciągły tabor autobusowy na poziomie akceptowanym przez organizatora.

Z takich względnie pewnych zależności można wykreować poziom spodziewanego zysku. Prezentuje to rysunek 1.



Rys.1
Zależności pomiędzy zadanym przebiegiem a przychodem i kosztami

Powyższe cele nie wymagają opracowania strategii, wejścia na nowe rynki, powiększania wartości operatora. Realizacja tych celów nie wymaga stosowania metod marketingowych. Operator nie zajmuje się: cenami taryfowymi, znajomością zachowania podróżnych, systemem informacji dla podróżnych, konserwacją przystanków, dystrybucją biletów (w minimalnym stopniu uczestniczy wsprzedaży biletów), kontrolą biletów. Cały zakres działalności pomocniczej nie obciąża kosztów operatora. Dodatkowym elementem korzystnej działalności przewozowej w obsłudze komunikacji miejskiej jest regularny, kwotowo ustalony, pewny dopływ gotówki z kasy samorządu zapewniający płynność finansową. W praktyce operatorami na zamkniętym rynku przewozów miejskich są inwestorzy prywatni oraz podmioty własne komunalne (spółki komunalne lub zakłady budżetowe).

Operator własny (spółka komunalna) poza wymienionymi celami gospodarczymi realizuje dodatkowy cel niesformułowany. Celem tym jest zapewnienie w „dopuszczalnym wymiarze" jak największego zatrudnienia i rozłożonego w czasie podnoszenia zarobków dla zatrudnionych pracowników. Na straży realizacji tego niesformalizowanego celu zarządzania stoją liderzy związków zawodowych (z reguły działają co najmniej trzy związki zawodowe) oraz lokalni politycy. Wysokie – w stosunku do racjonalnego poziomu – zatrudnienie i względnie wysokie płace generują wysokie koszty stałe. W dłuższym horyzoncie czasu (kilku lat) to działanie wpływa na coraz większe dopłaty z budżetu gminy do komunikacji publicznej. Płace wraz z pochodnymi obciążeniami wynikającymi z wynagrodzenia pracowników sięgają niekiedy 55% całkowitych kosztów działalności.

Znaczna pracochłonność działań nieprzynoszących wartości dodanej dla pasażera wynika z eksploatowania zużytego ponad ekonomicznie dopuszczalną granicę taboru autobusowego (i tramwajowego). Dla zapewnienia niezawodnego wykonywania zadań przewozowych prowadzone są starania, by dysponować nadmiernym stanem inwentarzowym. Dlatego spółki komunalne „upodobały sobie" strategie odnowy taboru poprzez zakupy używanych pojazdów na zagranicznym lub krajowym rynku wtórnym. Operator własny nie uwzględnia ryzyka wynikającego ze straty czy braku płynności finansowej. Nie znane są autorowi przykłady upadłości spółki komunalnej, natomiast znane są przykłady ponoszenia strat, nie skutkujące żadnymi konsekwencjami organizacyjno-prawnymi. Lokalni politycy i przedstawiciele administracji samorządowej zawsze znajdą uzasadnienie na pokrycie strat z budżetu samorządowego dla własnego podmiotu lub zmienią ustaloną cenę za wozokm.

Słabości nauki i brak współpracy pomiędzy przedsiębiorcami a środowiskami naukowymi w doskonaleniu działalności publicznego transportu zbiorowego

Przedstawiciele środowisk naukowych zajmujących się ekonomicznymi zjawiskami w transporcie od wielu lat za fundament rozważań uznają znalezienie metod pozwalających zmierzyć lub prognozować (w zależności od horyzontu czasu) wielkość pasażerskich potrzeb przewozowych. W metodach tych istotny udział ma badanie zachowania pasażerów. W ekonomii, zarówno w skali makro, jak i mikro, nie korzysta się z tych metod, ponieważ one należą do nauki socjologii. Przedstawiciele socjologii starają się klasyfikować potrzeby ludzkie, badać wzajemne relacje między ludźmi i rodzaje ich zachowań (np. zachowania organizacyjne) itp. W transporcie pasażerskim, zgodnie z treścią zawartą w podręcznikach z ekonomii[2], powinno się badać popyt na usługi przewozowe. Zaspokojenie potrzeb przewozowych uzależnione jest od zasobów finansowych, jakimi dysponuje budżet domowy. Zasoby gotówkowe budżetu domowego są zawsze ograniczone i członkowie gospodarstwa domowego dokonują wyboru, na co i ile mogą wydać dla zaspokojenia swoich potrzeb życiowych. Ustalany jest popyt na wydatki związane z przemieszczaniem (samozaspokojenie lub komunikacja zbiorowa).

[2] Znane autorytety z nauki ekonomii jak np.: laureat Nagrody Nobla Paul Krugman, czy Willian F. Samuelson i inni ekonomiści nie posługują się kategorią potrzeb ludzkich. Teorią potrzeb zajmują się socjologowie i psychologowie

Obok popytu w ekonomii rozważany jest poziom zdolności zaspokojenia tego popytu przez podaż w postaci nakładu inwestycyjnego, pracy ludzkiej i przewozowej oraz działań pomocniczych, co w rezultacie generuje koszty. Potencjał gospodarczy podmiotów transportowych ma tak być dobrany, aby w doskonałym teoretycznie przypadku zaspokoił popyt i miał środki na odnowę i rozwój swojego potencjału gospodarczego. W przypadku publicznego transportu zbiorowego brak jest w miarę precyzyjnych metod badania popytu. Z drugiej strony przedstawiciele praktyków, tj. przedsiębiorstw organizujących transport, nie zgłaszają zapotrzebowania na racjonalny dobór wielkości podaży usług przewozowych.Podobnie nie ma zapotrzebowania na racjonalny dobór wielkości dopłat do publicznego transportu zbiorowego.

W czasach nieodległych dopłaty z budżetów samorządowych stanowiły 30–50%, a resztę uzyskiwano ze sprzedaży biletów. Obecnie ta granica się przesunęła i wynosi 40–70% dopłat. Pytanie, jakie warunki powinny być spełnione, aby uznać kwotę dopłat do komunikacji zbiorowej za racjonalną wielkość? Tendencja wzrostu udziału dopłat do usług realizowanych przez operatorów może doprowadzić do ograniczenia zakresu działania PTZ w aglomeracji. Zabraknie środków finansowych w budżecie samorządu na pokrycie kwot na dopłaty i zajdzie potrzeba ograniczenia podaży usług przewozowych.

W bieżącym roku w kilku miastach naszego kraju zaczęto zmieniać nieco sieć komunikacji autobusowej i „racjonalnie" układać rozkład jazdy. W jednym z miast samorząd zaapelował do przedsiębiorców aby rozpoczęcie pracy nieco zdywersyfikować bo transport publiczny nie jest w stanie podołać zapotrzebowaniu na przewozy.

Innym przykładem jest stosowanie taryfy zerowej, aby „właściciele samochodów osobowych zaczęli korzystać z komunikacji zbiorowej". Bezpłatne przejazdy wprowadzono już w kilku miastach, ale naukowcy nie zbadali jeszcze, jakie to przyniosło skutki dla budżetu samorządu i ilu użytkowników samochodów osobowych zaczęło częściej korzystać z komunikacji miejskiej. Podobnym niedopracowanym przedsięwzięciem jest wspólny bilet dla mieszkańców aglomeracji, którzy przemieszczają się kilkoma rodzajami transportu. Proces wdrażania trwa, a w wielu europejskich aglomeracjach i regionach został rozwiązany już z początkiem tego wieku.

Kolejnym przykładem wyzwania naukowego w transporcie regionalnym jest fiasko dopłat rządowych do uruchamiania nowych linii komunikacji regionalnej. Decyzje podjęli politycy szczebla krajowego w oparciu o własne przekonania, a nie wyniki badań. Następnym problemem jest proces starzenia się taboru autobusowego i tramwajowego, zarówno w transporcie miejskim, jak i międzymiastowym. Powstaje pytanie, czy nie jest to związane z tendencją ciągłego wzrostu kwot dopłat do PTZ? Jak opracować strategię wdrożenia całego systemu elektroautobusowego (autobusy i sieć komunikacyjna zasilana elektrycznie) w ujęciu technicznym, ale również ekonomicznym? W Wiedniu w 2019 roku rozpoczęto obsługę dwóch linii elektro-autobusami bez kierowców. Nowoczesna technologia będzie się rozwijała w coraz większej liczbie miast, ponieważ zwiększa bezpieczeństwo jazdy i eliminuje ciężką pracę kierowcy. Kiedy rozpocznie się ewolucyjne wdrażanie i w jak długim horyzoncie czasu osiągnięty zostanie poziom zadawalającego stanu inwentarzowego elektrycznych autobusów w konkretnej aglomeracji? Jakie należy ponieść nakłady inwestycyjne i skąd będą źródła finansowania tych inwestycji? Czy system nowoczesnej technologii przewozowej będzie można wdrożyć w komunikacji miejskiej w nadchodzących latach? Obecnie w miastach dysponuje się wyeksploatowanym taborem z silnikami spalinowymi i pozbycie się tego taboru nie generowałoby kosztów. Czy należy „przeczekać kilka lat", aż zmniejszą się potrzebne nakłady na inwestycje taborowe i zasilanie energetyczne? Zgodnie z zapowiedziami rządu co trzeci wyprodukowany autobus o napędzie elektrycznym w Europie będzie pochodził z naszego kraju, a więc nasza rodzima produkcja zapewni dostawy tego taboru.

Na wiele postawionych powyżej pytań brakuje odpowiedzi ze strony nauki, a praktycy w ogóle ich nie stawiają. Ponadto przedstawione problemy nie są przedmiotem zainteresowania środowisk naukowych. Nie jest możliwa nawet tzw. kwerenda prac doktorskich, w których zgłoszono by wnioski w zakresie ekonomicznych rozwiązań w transporcie miejskim, jakie pojawią się w nachodzących latach. Prace analityczne wskazujące przyczyny niekorzystnych zjawisk, jakie występują w działalności PTZ, nie wnoszą nic nowego. Rozpoczyna się nowa era technologiczna we wszystkich dziedzinach życia społecznego (np.: eliminacja pieniądza fizycznego, inteligentne urządzenia techniczne), która ma uchronić świat od klęski klimatycznej. Transport miejski wymaga dynamicznych zmian w aglomeracjach i bez rzetelnej wiedzy zarządzających nie będzie można rozwiązać pojawiających się problemów. Wsparcie ze strony nauki jest tu nieodzowne. Pojawia się z kolei wyzwanie, czy środowisko naukowe dysponuje zestawem metod z zastosowaniem których można pomóc praktyce. Poza metodycznym podejściem niezbędne jest techniczne oprzyrządowanie w technologię IT za pomocą której można przeprowadzać złożone obliczenia symulować – przewidywać skutki proponowanych rozwiązań. Nie znam takiego ośrodka naukowego, który by dysponował tak drogą i nowoczesną aparaturą techniczną wspierającą opracowywanie wyników badań. Dlatego uważam, że występuje potrzeba skorzystania z pomocy ekspertów zagranicznych aby wspólnie ze środowiskami krajowych naukowców opracować modelowe rozwiązania. Takie wspólne działanie ekspertów-naukowców w zespołach międzynarodowych miał miejsce w Hiszpanii. Bardzo potrzebne jest też wprowadzenie tzw. dobrych praktyk. Doświadczenia nowatorskie w niektórych miastach naszego kraju nie są rozpowszechniane przez samorząd gospodarczy reprezentujący organizatorów i operatorów komunikacji zbiorowej. Należy więc opracować koncepcje podejścia badawczego a następnie sposób prowadzenia badań i sposób wdrożenia wyników badań komunikacji miejskiej.

Zastosowanie algorytmu mrówkowego do wyznaczania przydziału pojazdów do zadań w miejskim transporcie zbiorowym[1,2]

MARIUSZ IZDEBSKI
dr hab. inż., prof. PW, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75, mizdeb@wt.pw.edu.pl

MARIANNA JACYNA
prof. dr hab. inż., Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75, maja@wt.pw.edu.pl

PIOTR KISIELEWSKI
dr hab. inż., prof. PK, Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24, pkisielewski@pk.edu.pl

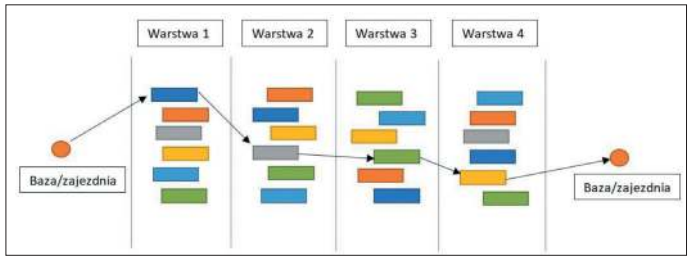
Streszczenie: W artykule opisano zastosowanie algorytmu mrówkowego w wyznaczaniu przydziału pojazdów do zadań w transporcie zbiorowym. Analizowany problem przydziału jest złożonym zagadnieniem optymalizacyjnym, klasyfikującym go do problemów NP-trudnych. W obszarze dotyczącym zagadnień miejskiego transportu zbiorowego jest podstawowym problemem, który należy rozwiązać w procesie konstruowania rozkładów jazdy oraz planów pracy pojazdów i kierowców. Celem niniejszej publikacji było opracowanie nowego narzędzia optymalizacyjnego adekwatnego do analizowanego zagadnienia przydziału pojazdów do zadań w komunikacji miejskiej. Przedstawiony algorytm mrówkowy jest nowym podejściem zastosowanym do rozwiązywania zagadnień przydziału w transporcie zbiorowym i stanowi podstawę do dalszych badań nad tematyką opracowywania nowych metod optymalizacyjnych w badanym problemie. Opracowany algorytm minimalizuje liczbę pojazdów przy jednoczesnej minimalizacji czasu pracy oraz przebytej drogi przez wykorzystane pojazdy. Opracowano model matematyczny zagadnienia przydziału pojazdów do zadań w transporcie publicznym, tj. zdefiniowano zmienne decyzyjne, ograniczenia oraz funkcje kryterium. Ograniczenia przydziału wynikają z czasu realizacji kursów w danym dniu roboczym, ograniczeń prawnych w zakresie czasu pracy i jazdy kierowcy, a także dostępnej liczy pojazdów. Problem został przedstawiony w aspekcie wielokryterialnym, gdzie decydujące znaczenie w ocenie efektywnego przydziału mają czas i dystans pokonany przez wszystkie pojazdy realizujące zlecone zadania. W artykule przedstawiono ogólną koncepcję algorytmu mrówkowego, która jest w trakcie procesu weryfikacji na danych teoretycznych i rzeczywistych bazach danych przedsiębiorstw komunikacji miejskiej.

Słowa kluczowe: transport publiczny, przydział pojazdów do zadań, algorytm mrówkowy.

Wprowadzenie

Problem przydziału pojazdów do zadań w transporcie zbiorowym jest zagadnieniem znanym i szeroko omawianym w literaturze przedmiotu [1-5]. Problem nawiązuje do ogólnego zagadnienia przydziału opisywanego w teorii grafów czy badaniach operacyjnych [6-7] oraz jest osadzony w ogólnej problematyce przydziału pojazdów do zadań, analizowaną w przedsiębiorstwach transportowych [9-20].

W obszarze dotyczącym zagadnień transportu zbiorowego prezentowane zagadnienie jest podstawowym problemem, który należy rozwiązać w procesie konstruowania rozkładów jazdy i planów pracy kierowców [21-32]. Problem przydziału pojazdów do zadań polega na efektywnym przypisaniu pojazdów wraz z kierowcami do zleconych zadań przewozowych. Zadania przewozowe w transporcie publicznym zdefiniowane są jako kursy rozkładu jazdy, które można podzielić bardzo szybkim algorytmem na warstwy/poziomy [1,21], co schematycznie przedstawiono na rysunku 1. Efektywność przydziału wynika z opracowanej funkcji kryterium, która może określać minimalny koszt realizacji wszystkich kursów lub czas ich realizacji. Ograniczenia przydziału wynikają z czasu realizacji kursów w danym dniu roboczym, ograniczeń czasu pracy i jazdy kierowcy, a także dostępnej liczy pojazdów. Szukając rozwiązania problemu, dąży się do minimalizacji liczby pojazdów i kierowców użytych do wykonania wszystkich kursów w danym dniu roboczym.



Rys. 1. Schemat podziału kursów na warstwy z przykładową trasą pojazdu

Problem przydziału pojazdów do zadań jest problemem NP-trudnym, dlatego też w celu jego wyznaczenia wskazane jest zastosowanie zaawansowanych algorytmów optymalizacyjnych. Analizowany problem przydziału rozwiązywany jest różnymi metodami i algorytmami, np. za pomocą programowania liniowego [33,34], algorytmów zachłannych [35], Tabu Search [36,37], algorytmów genetycznych [38] i ewolucyjnych [21], wyżarzania [39] czy roju cząstek [40]. W większości przypadków rozpatrywany jest jednokryterialne, rzadziej jako wielokryterialne [21] zadanie optymalizacyjne.

Celem artykułu jest opracowanie nowego narzędzia optymalizacyjnego dostosowanego do wielokryterialnego zagadnienia przydziału pojazdów do zadań w transporcie zbiorowym. Zastosowanie algorytmu mrówkowego jest unikalnym podejściem w wyznaczaniu przydziału i wzbogaca ono istniejące metody i narzędzia optymalizacyjne

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2020. Procentowy udział wkładu autorów w publikację: M. Izdebski 34%, M. Jacyna 33%, P. Kisielewski 33%.

[2] Badania przeprowadzone w artykule są realizowane w ramach projektu NCBiRPOIR.01.01.01-00-0970/17-00 „System informatyczny komputerowego wspomagania planowania komunikacji miejskiej"

stosowane przy tego typu problemach. Problem przydziału został przedstawiony w ujęciu wielokryterialnym, w którym uwzględniono kryterium czasu i przebytego dystansu w realizacji wszystkich zleconych kursów. Na potrzebę opracowania algorytmu mrówkowego zdefiniowano model matematyczny przydziału pojazdów do zadań, tj. określono dane wejściowe, zmienne decyzyjne, ograniczenia oraz funkcje kryterium. Opracowany model matematyczny oraz algorytm mrówkowy mogą stanowić punkt odniesienia do kolejnych badań nad analizowaną tematyką.

Model matematyczny przydziału pojazdów do zadań

W celu zaimplementowania algorytmu mrówkowego opracowano model matematyczny problemu przydziału pojazdów do zadań (kursów). Model matematyczny odnosi się do przydziałów wykonanych w danym dniu roboczym. W celu zdefiniowania modelu określono następujące dane wejściowe:

- zbiór kursów do zrealizowania w danym dniu roboczym, $\boldsymbol{K}=\{1,\ldots,k,\ldots\}$,
- zbiór pojazdów, $\boldsymbol{P}=\{1,\ldots,p,\ldots\}$,
- zbiór typów pojazdów, $\boldsymbol{R}=\{1,\ldots,r,\ldots\}$,
- wektor określający liczbę pojazdów określonego typu gotowych do przydziału w danym dniu roboczym, $\mathbf{N}=[n(r)\colon n(r)\in \mathrm{N},\ r\in\boldsymbol{R}]$,
- wektor określający czas trwania danego kursu, $\mathbf{T1}=[t1(k)\colon t1(k)\in R^{+},\ k\in\boldsymbol{K}]$,
- macierz określającą czas jazdy pojazdu pomiędzy dwoma kursami, $\mathbf{T2}=[t2(p,r,k,k')\colon t2(p,r,k,k')\in R^{+},\ p\in\boldsymbol{P},\ r\in\boldsymbol{R},\ k\in\boldsymbol{K},\ k'\in\boldsymbol{K}]$,
- macierz określającą dystans pomiędzy dwoma kursami, $\mathbf{D}=[d(k,k')\colon d(k,k')\in R^{+},\ k\in\boldsymbol{K},\ k'\in\boldsymbol{K}]$,
- *tdop* – dopuszczalny czas realizacji zadań,
- *tpracy* – dopuszczalny czas pracy kierowcy/kierowców.

Zmienne modelu matematycznego przyjmują postać wektorów:

- Zmienna określająca typ pojazdu przypisany do danego kursu – $\boldsymbol{Z}=[z(r,k)\colon z(r,k)\in\{0,1\},\ r\in\boldsymbol{R},\ k\in\boldsymbol{K}]$,
- Podstawowa niezależna zmienna decyzyjna określająca przypisanie pojazdu określonego typu do kursu – $\mathbf{X}=[x(p,r,k)\colon x(p,r,k)\in\{0,1\},\ p\in\boldsymbol{P},\ r\in\boldsymbol{R},\ k\in\boldsymbol{K}]$,
- Zmienna określająca czas pracy pojazdu w danym dniu roboczym –$\mathbf{T}=[t(p,r)\colon t(p,r)\in \mathrm{R},\ p\in\boldsymbol{P},\ r\in\boldsymbol{R}]$,
- Zmienna określająca liczbę pojazdów danego typu przypisanych do kursów w danym dniu roboczym – $\mathbf{Y}=[y(r)\colon y(r)\in\boldsymbol{N},\ r\in\boldsymbol{R}]$,
- Zmienna określająca połączenie między kursami realizowane danym pojazdem – $\mathbf{L}=[l(p,r,k',k)\colon l(p,k',k)\in\{0,1\},\ p\in\boldsymbol{P},\ r\in\boldsymbol{R},\ k\in\boldsymbol{K},\ k'\in\boldsymbol{K}]$,

Ograniczenia przyjmują następującą formę:

- Ograniczenie wynikające z czasu realizacji wszystkich zadań: suma czasów realizacji wszystkich kursów oraz dojazdów do tych kursów nie może przekraczać dopuszczalnego czasu realizacji zadań:

$$\sum_{p\in P}\sum_{r\in R}\sum_{k\in K} z(r,k)\cdot x(p,r,k)\cdot t1(k)+\sum_{p\in P}\sum_{r\in R}\sum_{k'\in K}\sum_{k\in K} l(p,r,k,k')\cdot t2(p,r,k,k')\le tdop \tag{1}$$

- ograniczenie wynikające z czasu pracy kierowców/kierowcy:

$$\forall p\in P, \forall r\in R$$
$$\sum_{k\in K} z(r,k)\cdot x(p,r,k)\cdot t1(k)+\sum_{k'\in K}\sum_{k\in K} l(p,r,k,k')\cdot t2(p,r,k,k')\le tpracy \tag{2}$$

- całkowity czas pracy pojazdów (kierowców) musi być równy bądź większy od całkowitego czasu realizacji zadań:

$$\sum_{p\in P}\sum_{r\in R}\sum_{k\in K} z(r,k)\cdot x(p,r,k)\cdot t1(k)+\sum_{p\in P}\sum_{r\in R}\sum_{k'\in K}\sum_{k\in K} l(p,r,k,k')\cdot t2(p,r,k,k')\le \sum_{r\in R}\sum_{p\in P} y(r)\cdot t(p,r) \tag{3}$$

- ograniczenie liczby pojazdów danego typu wykorzystanych do realizacji zadań:

$$\forall r\in R\ y(r)\le n(r) \tag{4}$$

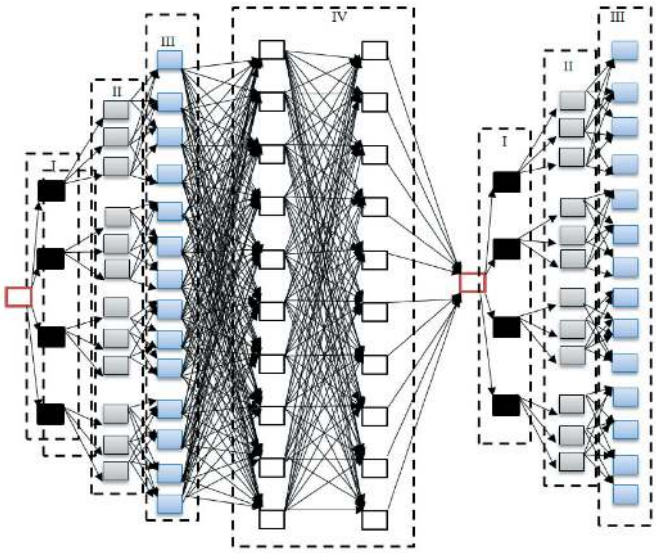
Funkcje kryteriów minimalizujących czas realizacji zadań (5) i odcinki dojazdowe do poszczególnych zadań (6) przedstawiono odpowiednio:

$$\mathbf{F(Z, X, L)}=\sum_{p\in P}\sum_{r\in R}\sum_{k\in K} z(r,k)\cdot x(p,r,k)\cdot t1(k)+\sum_{p\in P}\sum_{r\in R}\sum_{k'\in K}\sum_{k\in K} z(r,k)\cdot l(p,r,k,k')\cdot t2(p,r,k,k')\longrightarrow \min \tag{5}$$

$$\mathbf{F(L)}=\sum_{p\in P}\sum_{r\in R}\sum_{k'\in K}\sum_{k\in K} l(p,r,k,k')\cdot d(k,k')\longrightarrow \min \tag{6}$$

Algorytm mrówkowy przydziału pojazdów do zadań

W celu sprecyzowania działania algorytmu mrówkowego należy zdefiniować pojęcie „trasy mrówki". Trasa pojedynczej mrówki składa się ze wszystkich kursów, jakie są realizowane na wszystkich każdych liniach w dany dzień roboczy. Punktem startowym trasy mrówki jest zajezdnia. Trasa pojedynczej mrówki składa się z czterech warstw, które występują kolejno po sobie jak na rysunku 2. W czasie konstruowania trasy w I warstwie ustawiana jest zmienna decyzyjna dotycząca użytego typu pojazdu realizującego zadania przewozowe. Liczba elementów punktowych tej warstwy uzależniona jest od liczby dostępnych typów pojazdów. W II warstwie dobierana jest kolejna zmienna decyzyjna modelu matematycznego, tj. liczba pojazdów określonego typu, który został wybrany w warstwie I. W warstwie III ustalana jest zmienna decyzyjna dotycząca czasu zaangażowania danego typu środka transportu. Czas zaangażowania uzależniony jest od liczby kierowców (służb) w brygadzie, tj. pojedyncza obsada lub podwójna brygada. Brygada rozumiana jest jako dzienne zadanie pojazdu. Liczba elementów punktowych tej warstwy ograniczona jest dopuszczalnym czasem pracy kierowcy i określa godziny jego pracy, np. dziewięć elementów w warstwie oznacza pierwszy element – 1h pracy kierowcy, drugi element 2h pracy, dziewiąty element – pierwsza godzina pracy



Rys. 2. Warstwy trasy mrówek

drugiego kierowcy. W warstwie IV wyznaczane są zmienne decyzyjne określające połączenia między poszczególnymi kursami. Mrówka przechodzi przez poszczególne elementy warstwy IV do momentu zakończenia realizacji wszystkich kursów.

Przykładową trasę mrówki można przedstawić graficznie jak na rysunku 3. Kursy są realizowane w odpowiedniej kolejności: 1,4,3,7,5,6. Moc zainstalowana do zrealizowania tych kursów to 3 pojazdy typu pierwszego, każdy pojazd obsadzony pojedynczym kierowcą, czas pracy każdego kierowcy 5 h.

Baza	1 typ	3 poj.	5h	Kurs 1	Kurs 4	Kurs 3	Kurs 7	Kurs 5	Kurs 6	Baza

Rys. 3. Trasa mrówki

Mrówka wraca do bazy z trasy w przypadku, gdy czas realizacji kursów dobiega końca lub wszystkie kursy zostały już zrealizowane. Liczba pojazdów wyjeżdzających z bazy uzależniona jest od czasu trwania kursów wyznaczonych przez mrówkę, np. w przypadku, gdy czas wszystkich kursów przedstawionych na rysunku 3 wynosi 13 h, do realizacji tych kursów należy przydzielić 3 pojazdy. Po powrocie do bazy mrówka rozpoczyna tworzenie nowej trasy z kolejno niezrealizowanych kursów.

Głównym zadaniem mrówki jest wyznaczenie minimalnej trasy składającej się ze wszystkich kursów. Trasa każdej mrówki reprezentowana jest przez ciąg liczb naturalnych określających numery kursów (na potrzebę implementacji algorytmu kurs rozumiany jest jako przejazd autobusu od pętli do pętli). Pod pojęciem minimalnej trasy należy rozumieć trasę charakteryzującą się minimalnym czasem oczekiwania na następny kurs i dystansem do pokonania w przypadku dojazdu pojazdu do innej pętli, niż pętla w której skończył realizowany kurs. Minimalna trasa rozważana jest więc w ujęciu wielokryterialnym, tj. decydujące znaczenie ma czas i dystans dojazdu do następnego kursu. Trasa ta oceniana jest przez znormalizowany (uwzględniający zarówno dystans i czas dojazdu) współczynnik (wzór 9), wyznaczany w każdym kroku przejścia mrówki pomiędzy kursami.

W trakcie realizowanej trasy przez pojedynczą mrówkę wyznaczane są pojazdy i kierowcy. Każda mrówka jest więc reprezentantem określonej liczby pojazdów i kierowców. Liczby te w każdej trasie mogą być różne i są określane na początku tworzenia trasy mrówki.

Na potrzebę opisu elementów składowych algorytmu zdefiniowano zbiór punktów trasy realizowanej przez pojedynczą mrówkę ***WTP***, zbiór mrówek w mrowisku ***MR***, tj.:

$$WTP = \{1,\ldots,y,\ldots,z,\ldots,\overline{WTP}\} \tag{7}$$

gdzie $\overline{WTP}$ – liczność zbioru ***WTP***, $y \neq z$.

Punktem startowym trasy każdej mrówki jest zajezdnia autobusowa. Kursy w każdej trasie mrówki wybierane są zgodnie z określonym prawdopodobieństwem [41, 42]:

$$PR^{mr}{}_{yz}(t) = \begin{cases} \dfrac{[\tau_{yz}(t)]^{\alpha} \cdot [\eta_{yz}(t)]^{\beta}}{\sum_{l \in \Omega^{mr}} [\tau_{yl}(t)]^{\alpha} \cdot [\eta_{yl}(t)]^{\beta}} & , z \in \Omega^{mr} \\ 0 & , z \notin \Omega^{mr} \end{cases} \tag{8}$$

gdzie:

$\tau_{yz}(t)$ – natężenie śladu feromonu między y-tym punktem trasy a z-tym punktem w t-iteracji, na początku (w pierwszej iteracji algorytmu), gdy jeszcze nie ma wyznaczonego śladu przez mrówki przyjmujemy wartość 1 na każdej relacji,

$\eta_{yz}(t)$ – informacja heurystyczna ukazuje aspekt przejścia mrówki do kolejnych punktów trasy np. jak w poniższym wzorze (9):

$$\eta_{yz}(t) = \frac{w_1}{t2(z) - t1(y)} + \frac{w_2}{d(y,z)} + \frac{w_3}{t(z)} \tag{9}$$

gdzie:

$t1(y)$ – czas zakończenia kursu y-tego,

$t2(y)$ – czas rozpoczęcia kursu z-tego,

$d(y,z)$ – dystans pomiędzy pętlami w przypadku kursów zaczynających się w różnych pętlach; wzór dotyczy punktów trasy określających kursy w trasie,

$t(z)$ – czas trwania kursu z (realizowanie w pierwszej kolejności kursów krótkich może przyczynić się do minimalizacji liczby służ),

α, β – wpływ feromonów i danych heurystycznych na zachowanie mrówek,

$w1, w2, w3$ – współczynniki wagowe o wymiarze czasu lub odległości,

Ω^{m} – zbiór nieodwiedzanych (niezrealizowanych) dotychczas l kursów przez mr-tą mrówkę.

Każde przejście mrówki wiąże się ze sprawdzeniem warunku na fizyczną możliwość przejścia mrówki do kolejnego kursu (v- średnia prędkość pojazdu):

$$t2(z) - t1(y) \geq \frac{d(y,z)}{v} \tag{10}$$

W przypadku spełnienia warunku informacja heurystyczna przyjmuje wartość ze wzoru (9), w przeciwnym przypadku wartość 0. Powyższy warunek jest realizowany w algorytmie za pomocą macierzy przejść. Macierz przejścia jest macierzą binarną określającą możliwość przejścia mrówki do kolejnego kursu: wartość elementu macierzy 1, w innym przypadku 0.

Po zakończeniu budowania trasy przez pojedynczą mrówkę należy sprawdzić warunek na poprawność wygenerowanej trasy. Czas zaangażowania kierowców w realizację kursów musi być większy bądź równy sumie czasów trwania kursów wraz z przerwami międzykursowymi i dojazdami w każdej relacji wyjazd z bazy – powrót do bazy. W przypadku niespełnienia warunku etap tworzenia trasy przez mrówkę należy powtórzyć. Warunek ten jest sprawdzany dla każdej trasy od wyjścia mrówki z bazy do jej powrotu.

Po zakończeniu budowania tras przez wszystkie mrówki następuje aktualizacja śladu feromonu. W procesie zastosowano aktualizację cykliczną jako najbardziej wydajną spośród stosowanych aktualizacji gęstościowej czy ilościowej. Na początku przyjmuje się, iż ślad na połączeniach między kursami jest jednakowo silny np. 1. W kolejnych iteracjach ślad feromonu obliczany jest według wzoru $\tau_{yz}(t+1)$, wartość feromonu jest odkładana w każdej iteracji na danym odcinku trasy *yz*, ślad jest odkładany na odcinkach przez które przechodzi mrówka:

$$\tau_{yz}(t+1) = (1-\rho)\tau_{yz}(t) + \sum_{mr=1}^{MR} \Delta\tau_{yz}^{mr}(t) \qquad (11)$$

gdzie:

mr – kolejna mrówka w mrowisku $mr \in \boldsymbol{MR}$,

ρ – współczynnik ulatniania się feromonów ($0 < \rho \leq 1$),

$\tau_{yz}(t)$ – wzmocnienie feromonu, dla pierwszej iteracji przyjmuje wartość na każdym połączeniu równą τ_0 .np. 1.

Pierwszy składnik wzoru 11 określa szybkość ulatniania feromonu $(1-\rho)\,\tau_{yz}(t)$, natomiast drugi określa wzmocnienie feromonu i przyjmuje wartość:

$$\Delta\tau_{yz}^{mr}(t) = \begin{cases} \left(\dfrac{1}{T^{mr}(t)} + \dfrac{\mathrm{CK}}{\mathrm{CZ}}\right) & \text{gdy trasa } (y,z) \text{ była użyta przez mrówkę } mr \\ 0 & \text{w przeciwnym wypadku 0} \end{cases} \qquad (12)$$

gdzie:

$T^{mr}(t)$ – całkowity czas i dystans dla danej trasy przebytej w *t*-ej iteracji przez *mr*-tą mrówkę, jeżeli czas i dystans jest minimalny iloraz $\frac{1}{T^{mr}(t)}$ rośnie, więc ta trasa jest atrakcyjna dla kolejnych mrówek,

CK – całkowity czas trwania wszystkich kursów w trasie mrówki,

CZ – całkowity czas zaangażowania wszystkich pojazdów wygenerowanych w trasie mrówki.

Iloraz w przypadku osiągnięcia wartości zbliżonej do jedności, określi minimalną liczbę pojazdów (brygad) potrzebnych do realizacji kursów. W przypadku, gdy iloraz będzie dążył do zera, trasa taka jest trasą mało atrakcyjną dla kolejnych mrówek.

Jeśli odcinek tras (y, z) był realizowany przez *mr*-tą mrówkę to $\Delta\tau_{yz}^{mr}(t)$ wynosi $\left(\frac{1}{T^{mr}(t)} + \frac{\mathrm{CK}}{\mathrm{CZ}}\right)$, w innym przypadku 0.

Każda trasa pojedynczej mrówki składa się z wszystkich kursów przeznaczonych do realizacji w danym dniu roboczym. Przyjęto założenie, że pojedynczy kurs charakteryzuje się takimi parametrami, jak godzina rozpoczęcia kursu, zakończenia oraz czas jazdy w danym kursie.

Kroki algorytmu można przedstawić jako:

- Krok 1. Zdefiniowanie liczby mrówek w mrowisku oraz liczby iteracji. Algorytm mrówkowy jest algorytmem iteracyjnym, w każdej iteracji wszystkie mrówki tworzą własne trasy w oparciu o feromon zgromadzony na nich.
- Krok 2. Losowy wybór typu pojazdu.
- Krok 3. Losowy wybór liczby pojazdów.
- Krok 4. Losowy wybór czasu zaangażowania pojazdu.
- Krok 5. Mrówka opuszcza zajezdnię. Wyznaczane jest prawdopodobieństwo przejścia mrówki do pierwszego punktu trasy (kursu). Należy rozważyć dwa przypadki. Jeżeli mrówka opuszcza zajezdnię wzór (9) zostanie zmodyfikowany do postaci:

$$\eta_{yz}(t) = \frac{1}{d(y,z)} \qquad (13)$$

W drugim przypadku, w celu uniknięcia stałego wyboru punktów najbliżej znajdujących się bazy należy w sposób losowy wybrać pierwszy punkt trasy. W przypadku przejścia mrówki pomiędzy kursami ma zastosowanie wzór (9). Natężenie feromonu na poszczególnych połączeniach w każdej warstwie przyjmuje się ustaloną wartość np. 1.

- Krok 6. Sprawdzenie warunku na czas realizacji wszystkich zadań oraz czas pracy kierowcy lub kierowców. W przypadku, kiedy czas trwania trasy mrówki jest mniejszy niż czas realizacji zadań lub czas pracy kierowcy/kierowców, wykonywany jest krok 7, gdy większy kurs wybrany w kroku 5 nie wchodzi do trasy mrówki, mrówka wraca do zajezdni i kroki 1–5 są ponownie powtarzane dla niezrealizowanych kursów. Warstwa III (liczba pojazdów) jest zaktualizowana i pomniejszona o pojazdy już wykorzystane.
- Krok 7. Sprawdzenie warunku na kompletność kursów. Jeżeli wszystkie kursy są zrealizowane mrówka udaje się do zajezdni i kończy budowanie trasy. W przypadku niespełnienia warunku algorytm realizuje krok 5.
- Krok 8. Sprawdzenie warunku na liczbę mrówek realizujących trasy. Jeżeli wszystkie mrówki zrealizowały trasy następuje krok 9 – aktualizacja feromonu. Jeśli nie wszystkie mrówki, kolejna mrówka tworzy trasę, algorytm powtarzany jest od kroku 1 do kroku 7.
- Krok 9. Aktualizacja feromonu do następnych iteracji zgodnie z wzorami (11) i (12).
- Krok 9a. Wyznaczenie całkowitego czasu i dystansu $T^{mr}(t)$ dla całej trasy, czyli suma odcinków dojazdowych między kursami, odcinków między zajezdnią a pierwszym kursem oraz między ostatnim kursem a zajezdnią.

- Krok 10. Po zaktualizowaniu feromonu algorytm sprawdza warunek na liczbę iteracji (warunek Stopu). Jeżeli warunek jest niespełniony, powtarzane są kroki 1-9a, jeśli spełniony – algorytm kończy działanie. Z populacji wybierana jest mrówka o największym natężeniu feromonu.

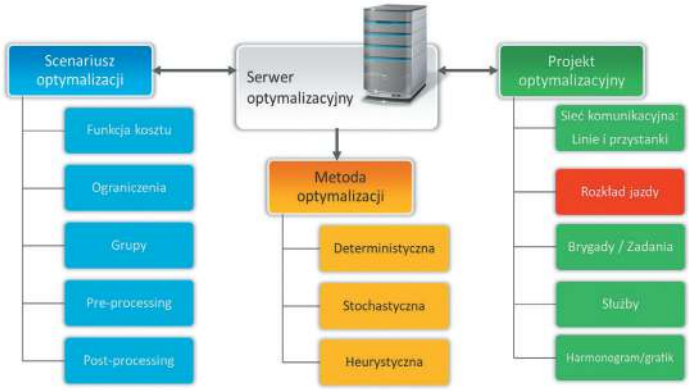
Praktyczna implementacja algorytmu mrówkowego

Badania symulacyjne zaprezentowanego algorytmu prowadzone są aktualnie w ramach projektu NCBiR POIR.01.01.01-00-0970/17-00 *„System informatyczny komputerowego wspomagania planowania komunikacji miejskiej"* w dwóch etapach. W pierwszym etapie badania prowadzone są na środowisku testowym w systemie *Mathematica* z wykorzystaniem sztucznych, teoretycznych danych wejściowych. Badania w tym etapie koncentrują się na walidacji modelu matematycznego, ocenie zbieżności algorytmu oraz doborze parametrów sterujących algorytmu.

W kolejnym etapie zaplanowane są badania symulacyjne na rzeczywistych danych komunikacyjnych różnych miast, w komercyjnym systemie planistycznym *CityLineDesigner*. Badania te pozwolą na ocenę efektywności proponowanego algorytmu mrówkowego w porównaniu z innymi algorytmami metaheurystycznymi, pod kątem szybkości działania i jakości uzyskiwanych rozwiązań w zastosowaniu do planowania zadań w komunikacji miejskiej.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat serwera optymalizacji zastosowanego w systemie *cityLineDesigner*. Serwer optymalizacji działa w tle serwera aplikacji systemu, przyjmując zlecenia optymalizacji wybranego procesu np. projektowania rozkładu jazdy czy też brygad tj. zadań pojazdów. Użytkownik systemu ma możliwość opracowania własnego scenariusza optymalizacji, w tym funkcji kosztu i ograniczeń, oraz wyboru metody optymalizacji. Funkcje kosztu w zależności od złożoności problemu mogą być analizowane jako funkcje jedno bądź wielokryterialne. Serwer optymalizacyjny przystosowany jest do rozwiązywania problemów o różnej złożoności obliczeniowej, zarówno w optymalizacji liniowej, jak i nieliniowej. Praca systemu *cityLineDesigner* opiera się na obliczeniach wstępnych (ang. pre-processing) w którym początkowe rozwiązania są poprawiane (ang. post-processing) i ukierunkowane na rozwiązanie optymalne bądź suboptymalne w zależności o skali analizowanego problemy. Scenariusze optymalizacyjne są grupowane w zależności od przyjętych funkcji kryteriów i poddawane dalszej analizie.

Metody zaimplementowane w systemie dostosowane są do złożoności problemu i mogą generować wyniki dokładne lub przybliżone. Dla prostych problemów klasy NP-zupełnych funkcjonalnymi metodami optymalizacyjnymi są metody deterministyczne, dzięki którym system w bardzo krótkim czasie generuje optymalne rozwiązania. Dla złożonych problemów klasy NP-trudnych wybierane są metody stochastyczne bądź heurystyczne. W grupie metod heurystycznych, zaimplementowane są w systemie m.in. metody metaheurystyczne jak algorytmy ewolucyjne, przewidziana jest również implementacja algorytmów mrówkowych.



Rys. 3. Schemat serwera optymalizacji w systemie cityLineDesigner

Baza danych zaimplementowana w systemie *cityLineDesigner* przetwarza zarówno dane wprowadzane do niej bezpośredni przez użytkownika aplikacji lub pobierane z innych serwerów, jak i dane generowane w procesie optymalizacyjnym. Wyniki działania programu można przedstawić w postaci tabelarycznej oraz graficznej.

Podsumowanie

Omówione w artykule zastosowanie algorytmu mrówkowego w problematyce przydziału pojazdów do zadań w komunikacji miejskiej jest podejściem nowatorskim. Opracowany algorytm minimalizuje liczbę pojazdów i kierowców, przy jednoczesnej minimalizacji czasu realizacji wszystkich kursów oraz przebytej drogi przez wykorzystane pojazdy. Dalsze prace badawcze nad opracowanym algorytmem mrówkowym mogą obejmować jego modyfikacje pod kątem szybkości działania i jakości uzyskiwanych rozwiązań, np. z uwzględnieniem systemu mrowiskowego. Należy zaznaczyć, iż algorytm mrówkowy jest algorytmem heurystycznym. Zaletą algorytmów heurystycznych jest możliwość szybkiego generowania wyników, co ma decydujące znaczenie w obszarze praktycznego planowania w komunikacji miejskiej. Wadą algorytmów heurystycznych jest to, iż algorytmy te najczęściej generują rozwiązanie suboptymalne, akceptowalne praktycznie, ale odległe mniej lub bardziej od optimum globalnego. Z praktycznego, inżynierskiego punktu widzenia takie rozwiązania są akceptowalne, mając na uwadze złożoność badanej tematyki.

Literatura

1. Valouxis C., Housos E., *Combined bus and driver scheduling*, "Computers & Operations Research", 2002, no. 29.
2. Wedelin D., *An algorithm for large scale* 0-1 *integer programming with application to airline crew scheduling,* "Annals of Operational Research", 1995, no 57.
3. Borndörfer R., Löbel A., Weider S., *A Bundle Method for Integrated Multi-Depot Vehicle and Duty Scheduling in Public Transit*. In: Hickman M., Mirchandani P., Voß S. (eds), Computer-aided Systems in Public Transport. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, vol. 600.
4. Gintner V., Kliewer N., Suhl L., *A Crew Scheduling Approach for Public Transit Enhanced with Aspects from Vehicle Scheduling,* In: Hickman M., Mirchandani P., Voß S. (eds) Computer-aided Systems in Public Transport. Lecture Notes in

Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, vol. 600.
5. Desrochers, M., Soumis F., *A column generation approach to the urban transit crew scheduling problem*, "*Transportation Science*", 1989, no. 23.
6. Wilson J.M., *A genetic algorithm for the generalized assignment problem*, "Journal of the Operational Research Society", 1997, vol. 48.
7. Pentico D.W., *Assignment problems: A golden anniversary survey*, "European Journal of Operational Research", 2007, vol. 176, issue 2.
8. Kisielewski P., *Optymalizacja przydziału zadań transportowych*, Politechnika Krakowska, „Problemy Eksploatacji", 2007, nr 2.
9. Jacyna-Gołda I., Izdebski M., Podviezko A., *Assessment of efficiency of assignment of vehicles to tasks in supply chains: A case study of a municipal company,* "Transport", 2017, vol. 32, issue 3.
10. Izdebski M., *Modelowanie i analiza problemów decyzyjnych przydziału pojazdów do zadań w zagadnieniach transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2018.
11. Jacyna M., Izdebski M., Szczepański E. [i in.], *The task assignment of vehicles for a production company*, w: Symmetry-Basel, 2018, vol. 11, no. 10.
12. Jacyna-Gołda I., *Inżynieria oceny efektywności sieci dostaw*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2019.
13. Gołda P., Izdebski M., Szczepański E., *The application of ant algorithm in the assignment problem of aircrafts to stops points on the apron,* "Journal of KONES Powertrain and Transport", 2018, vol. 25, no. 1.
14. Gołda P., *Wspomaganie decyzji wykonywania operacji lotniskowych z zastosowaniem narzędzi symulacyjnych,* Monografia. Wydawnictwo ITWL, 2018.
15. Izdebski M., Jacyna M., *The organization of the municipal waste collection: the decision model,* Rocznik Ochrona Środowiska/ Annual set The Environment Protection, 2018, nr 20.
16. Szczepański E., Jachimowski R., Izdebski M., Jacyna-Gołda J., *Warehouse location problem in supply chain designing: a simulation analysis,* Archives of Transport, 2019, vol. 50, issue 2.
17. Jacyna-Gołda I., Lewczuk K., *The method of estimating dependability of supply chain elements on the base of technical and organizational redundancy of process*, in: „Eksploatacja i Niezawodność", 2017, vol. 3, no. 19.
18. Izdebski M., Jacyna M., *The algorithm solving the problem of allocation of tasks to resources in the transport company*, w: CLC 2013: Carpathian Logistics Congress – Congress Proceedings / Feliks Jerzy (red.), TANGER Ltd., Ostrava, 2014.
19. Wasiak M., Jacyna M., Lewczuk K. [i in.], *The method for evaluation of efficiency of the concept of centrally managed distribution in cities*, w: "Transport", 2017, vol. 32, nr 4.
20. Jacyna M., Wasiak M., *Multicriteria Decision Support in Designing Transport Systems*, w: Tools of Transport Telematics, red. Mikulski J., Springer, 2015.
21. Kisielewski P., *Komputerowe wspomaganie planowania komunikacji miejskiej. Monografia,* Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2019.
22. Gintner V., Kliewer N., Suhl L., *Solving large multiple-depot multiple-vehicle-type bus scheduling problems in practice, OR Spectrum*, 2005, no. 27(4).
23. Haase K., Desaulniers G., Desrosiers J., *Simultaneous vehicle and crew scheduling in urban mass transit systems*, "*Transportation Science*", 2001, no. 35.
24. Huisman D., Freling R., Wagelmans A.P.M., *Multiple-depot integrated vehicle and crew scheduling*, "*Transportation Science*", 2005, no. 39.
25. Freling R., Huisman D., Wagelmans A.P.M., *Models and algorithms for integration of vehicle and crew scheduling*, "*Journal of Scheduling*", 2003, no. 6.
26. Löbel A., *Solving Large-Scale Multiple-Depot Vehicle Scheduling Problems*, in: Wilson N.H.M. (eds) Computer-Aided Transit Scheduling. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin, Heidelberg, 1999, vol. 471.
27. Gaffi A., Nonato M., *An Integrated Approach to Ex-Urban Crew and Vehicle Scheduling,* in: Wilson N.H.M. (eds), Computer-Aided Transit Scheduling. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin, Heidelberg. 1999, vol. 471.
28. Freling R., Huisman D., Wagelmans A.P.M., *Applying an Integrated Approach to Vehicle and Crew Scheduling in Practice,* in: Voß S., Daduna J.R. (eds) Computer-Aided Scheduling of Public Transport. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin, Heidelberg, 2001, vol. 505
29. Daduna J.R., Pinto Paixão J.M., *Vehicle Scheduling for Public Mass Transit — An Overview,* in: Daduna J.R., Branco I., Paixão J.M.P. (eds), Computer-Aided Transit Scheduling. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin, Heidelberg, 1995, vol. 430.
30. de Groot S.W., Huisman D., *Vehicle and Crew Scheduling: Solving Large Real-World Instances with an Integrated Approach,* in: Hickman M., Mirchandani P., Voß S. (eds), Computer-aided Systems in Public Transport. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, vol. 600.
31. Mesquita M., Paixão J., *Exact Algorithms for the Multi-Depot Vehicle Scheduling Problem Based on Multicommodity Network Flow Type Formulations,* in: Wilson N.H.M. (eds), Computer-Aided Transit Scheduling. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin, Heidelberg, 1999, vol. 471.
32. Carraresi P., Nonato M., Girardi L., *Network Models, Lagrangean Relaxation and Subgradients Bundle Approach in Crew Scheduling Problems,* in: Daduna J.R., Branco I., Paixão J.M.P. (eds), Computer-Aided Transit Scheduling. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin, Heidelberg, 1995, vol. 430.
33. Scott D., *A large linear programming approach to the public transport scheduling and cost model,* in J. Rousseau, editor, *Computer Scheduling of Public Transport 2*, North Holland, Amsterdam 1985.
34. Friberg C., Haase K., *An exact branch and cut algorithm for the vehicle and crew scheduling problem,* in N. Wilson, editor, *Computer-Aided Transit Scheduling*, Springer, Berlin 1999.
35. Feo T.A., Resende M.G.C., *Greedy randomized adaptive search heuristic*, Journal of Global Optimization 1995, no. 6.
36. Garcia B.-L., Potvin J.-Y., Rousseau J.-M., *A parallel implementation of the tabu search heuristic for vehicle routing problems with time window constraints*, „Computers & Operations Research", 1994, vol. 21.
37. Zhang Q., Manier M., *A genetic algorithm with tabu search procedure for flexible job shop scheduling with transportation constraints and bounded processing times*, „Computers & Operations Research", 2012, vol. 39, Issue 7.
38. Li J., Kwan R.S., *A fuzzy genetic algorithm for driver scheduling,* „European Journal of Operational Research", 2003, vol. 147.
39. Peng K., Shen Y., Li J., *A multi-objective simulated annealing for bus driver rostering,* in: Bio-Inspired Computing-Theories and Applications, Springer, 2015.
40. Fu A., Lei, S., *Intelligent dispatching of public transit vehicles using particle swarm optimization algorithm,* Comput Eng Appl 44, 2008, no. 15.
41. Dorigo M., Gambardela L.M., *Ant Colonies for the Travelling Salesman Problem,* BioSystems, 1997, vol. 43.
42. Dorigo M., Caro D., Gambardela L.M., *Ant Algorithms for Discrete Optimization*, Artificial Life, 1999, vol. 5 (2).

www.kst.pk.edu.pl

modelling 2020

modelowanie podróży i prognozowanie ruchu

KRAKÓW | 18-19 CZERWCA 2020

VII OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

18-19 06 2020 KRAKÓW

/ TEMATYKA

- prognozowanie ruchu
- regionalne i krajowe modele podróży
- tworzenie baz danych dla potrzeb modelowania ruchu
- rozwój metod w prognozowaniu ruchu
- alternatywne techniki monitorowania podróży
- zastosowanie narzędzi symulacyjnych w procesie modelowania podróży
- modelowanie przewozów ładunków w systemach transportowych

save the date

/ ORGANIZATORZY

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

Katedra Systemów Transportowych

Photo by Alexander Popov on Unsplash