Transport Miejski i Regionalny (skrót TMiR)
Czasopismo wydawane od 2004 roku jako kontynuacja tytułu „Transport Miejski", wydawanego od 1982 r. ISSN-1732-51-53

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 Żurowska (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, 2021

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

Spis treści

Adrian Noworolnik **3**
Kształtowanie taryfy przewozowej w Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM)
Development of transport tariffs in the Metropolitan Association of Upper Silesia and Dąbrowa Basin (GZM)

Andrzej Rudnicki **8**
Powiązania sieci ulic polskich miast z drogami szybkiego ruchu
Connections of the street network of Polish cities with high-speed roads

Jan Aleksandrowicz, Aleksandra Stróżek **14**
Priorytet dla pojazdów transportu zbiorowego w programie sygnalizacji świetlnej na podstawie liczby pasażerów
Priority for public transport vehicles in a traffic light control plan based on number of passengers

Urszula Duda-Wiertel **19**
Search traffic w obszarach z deficytem miejsc postojowych
Search traffic in the area with a big shortage of vacant parking spots

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 2021 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

Adrian Noworolnik

Development of transport tariffs in the Metropolitan Association of Upper Silesia and Dąbrowa Basin (GZM)

Abstract: A key challenge for the Metropolitan Association of Upper Silesia and Dąbrowa Basin (GZM) is to create a public transport system which will meet expectations of the inhabitants of 41 municipalities. Unlike the largest cities in Poland, the Association has a polycentric structure. Additionally, the Metropolitan Association is surrounded by many municipalities of the Central Subregion of the Silesian Voivodeship, which are not members of the GZM, but whose inhabitants travel daily to work, schools or universities. The process of tariff integration was not facilitated by the fact that in the area of today's GZM several different transport organisers were functioning before the creation of the Association. The aim of this article is to analyse the process of developing an integrated ticket tariff in the only metropolis in Poland.

Key words: public transport, fare, ticket integration.

Andrzej Rudnicki

Connections of the street network of Polish cities with high-speed roads

Abstract: The aim of this article is to present selected regularities occurring in the practice of planning connections of high-speed roads (DRS) with cities. Methodical aspects of planning these connections have been referred to the content of the guidebook developed before the beginning of the DRS construction program in Poland. General principles of proceedings are given and basic conditions of the decision making process are presented as to which towns, in how many places and at what points the DRS will be connected to the road-street network. The heuristic nature of the procedure for creating the solution was pointed out. Also British recommendations were referred to as to the legitimacy of linking DRS in cities of a certain size. Based on the analysis of realized DRS or those with already determined routes, the number of junctions connecting these roads with cities was identified, separately for highways and for expressways. On the basis of the presented graphical interpretation, the occurring regularities have been analyzed, indicating a very large scatter in these relationships. Topological models, interpreted graphically, were used to create a typology of connections. The typology of solutions includes the types of connections of DRS with other roads and the city street network, including inner-city ring roads, as well as the location of nodes. The presented models are illustrated with examples of solutions for Kraków, Tarnów and Rzeszów. As a summary and conclusion, typical numbers of connections between the city and the expressway and highway have been given.

Key words: urban streets, street network planning, coherence of road and street systems.

Jan Aleksandrowicz, Aleksandra Stróżek

Priority for public transport vehicles in a traffic light control plan based on number of passengers

Abstract: This article presents a function develop for determining priority in traffic light programs for public transport vehicles, using the current number of passengers in the vehicle and the social costs of transport. Selected methods of vehicle detection, including public transport vehicles in terms of the data that can be obtained have been described. The main technologies of automatic passenger counting systems and the accuracy with which data is collected are presented. The article also discusses the social costs of transport, which are divided into three groups: internal, external and indirect. Based on the data collected from literature and own research, cost functions for stopping a vehicle before an intersection were developed separately for public and individual transport. Possible applications for the created priority cost function at intersections with traffic lights are shown. The paper concludes with a summary and a plan for further research on the topic.

Key words: public transport, priority for urban public transport, automatic passenger counting system, traffic control, social costs of transport.

Urszula Duda-Wiertel

Search traffic in the area with a big shortage of vacant parking spots

Abstract: This article is dedicated to the problem of traffic generated by searching for parking (search traffic) in areas with deficit of parking spaces. The most common reason for this problem is a big difference between parking demand and supply. An insightful overview of the literaturę: definition analysis and interpretation of this type of traffic flow, possible factors influencing its occurence and parameters, review of the actual condition of researches, method of research, examples of modelling, the extent to which it has been incorporated into analyses of various types have been presented. Local research of search traffic in Polish conditions has been conducted in Krakow. In the article, the overview of the result of this research was included to show the possible share of search traffic in general traffic – compared to the results from foreign cities. The attention was paid to the inconvenience of search traffic movements and the costs they generate.

Key words: search traffic, parking, parking policy.

KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

AKTUALNE PROBLEMY PUBLICZNEGO TRANSPORTU ZBIOROWEGO W MIASTACH I AGLOMERACJACH – PTZ 2020

zostanie przeprowadzana zdalnie na platformie Zoom **22 kwietnia br.**

Zgłoszenia chęci uczestnictwa w konferencji do 10 kwietnia br. na adres: anna.karpierz@sitkrp.org.pl.

Udział w konferencji bezpłatny.

ADRIAN NOWOROLNIK
mgr inż., Urząd Metropolitalny Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii, ul. Barbary 21A, Katowice, e-mail: adrian.noworolnik@gmail.com

Kształtowanie taryfy przewozowej w Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM)[1]

Streszczenie: Kluczowym wyzwaniem dla Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM) jest stworzenie takiego systemu transportu zbiorowego, który spełni oczekiwania mieszkańców 41 gmin. Specyfiką metropolii jest – w przeciwieństwie do największych miast w Polsce – układ policentryczny. Dodatkowo metropolię otacza wiele gmin Subregionu Centralnego Województwa Śląskiego, które co prawda nie należą do GZM, ale ich mieszkańcy codziennie podróżują po jej obszarze do pracy, szkół lub uczelni. Procesu integracji taryfowej nie ułatwiał również fakt, iż na obszarze dzisiejszego GZM funkcjonowało przed powstaniem Metropolii kilku różnych organizatorów. Celem niniejszego artykułu jest analiza procesu kształtowania się zintegrowanej taryfy biletowej na obszarze jedynej w Polsce metropolii.

Słowa kluczowe: transport zbiorowy, taryfa, integracja biletowa.

Wprowadzenie

Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia (GZM) jest związkiem metropolitalnym położonym w województwie śląskim. GZM utworzona została na podstawie ustawy z dnia 9 marca 2017 roku o związku metropolitalnym w województwie śląskim i jest pierwszą, i jak dotąd jedyną, taką metropolią w Polsce. W skład GZM wchodzi 41 gmin zamieszkanych przez około 2,3 mln mieszkańców. Umownie gminy zostały podzielone na pięć podregionów: bytomski, gliwicki, katowicki, sosnowiecki i tyski.

Nadrzędnym celem przyświecającym powstaniu GZM była integracja transportu zbiorowego na obszarze związku metropolitalnego, w tym również współpraca z Kolejami Śląskimi w celu stworzenia zintegrowanego systemu taryfowo-biletowego. Z tego względu utworzono Zarząd Transportu Metropolitalnego w Katowicach (ZTM), który stał się jednostką organizacyjną GZM powołaną w celu organizowania, zarządzania i nadzorowania lokalnego transportu zbiorowego na terenie miast, które należą do związku.

Taryfy organizatorów funkcjonujących na obszarze dzisiejszego GZM w ujęciu historycznym

Przed powstaniem ZTM na obszarze dzisiejszego GZM funkcjonowało kilku różnych organizatorów transportu zbiorowego, którzy dysponowali różnego rodzaju taborem oraz systemem taryfowym. Byli wśród nich: Komunikacyjny Związek Komunalny Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (KZK GOP), Międzygminny Związek Komunikacji Pasażerskiej w Tarnowskich Górach (MZKP Tarnowskie Góry) oraz Miejski Zarząd Komunikacji w Tychach (MZK Tychy). Dodatkowo na obszarze GZM swoje usługi świadczyły PKM Jaworzno, MZK Jastrzębie-Zdrój oraz Związek Komunalny Gmin „Komunikacja Międzygminna" w Olkuszu. Oznaczało to, że pasażer podróżujący do dwóch sąsiednich gmin musiał czasem kupować kilka różnych rodzajów biletów.

Wszystko rozpoczęło się na początku lat 90. od przekształceń Wojewódzkiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Katowicach (WPK) związanych ze zmianą ustroju. Gminy przejmowały wówczas mienie przedsiębiorstw powstałych w wyniku podziału WPK. W tym celu zawierały porozumienia komunalne lub wstępowały do związków międzygminnych. Pierwszym takim związkiem był Międzygminny Związek Komunikacyjny w Jastrzębiu-Zdroju, drugim Związek Komunalny „Komunikacja Międzygminna" w Jaworznie, a trzecim największy ze wszystkich – KZK GOP.

Według założeń KZK GOP miał skupiać gminy centralnej części Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, gdzie wzajemne powiązania poszczególnych PKM-ów (a wcześniej Zakładów Komunikacyjnych WPK) były na tyle duże, że nie było możliwości samodzielnego organizowania komunikacji przez każdą z gmin. KZK GOP rozpoczął faktyczną działalność związaną z organizacją komunikacji miejskiej od 1 lipca 1993 roku. Wówczas rozpoczął emisję własnych biletów (początkowo według identycznej taryfy, która była dotychczas stosowana przez PKM-y) i zawarł pierwsze umowy przewozowe. Wśród ważnych wydarzeń w historii KZK GOP należy wskazać 4 lutego 2000 roku, kiedy związek przejął organizację komunikacji tramwajowej. KZK GOP skupiał 25 gmin, a z kolejnymi ośmioma miał podpisane umowy na wybrane linie. Autobusy KZK GOP wjeżdżały także do pięciu następnych gmin, a z MZKP w Tarnowskich Górach (9 gmin członkowskich) zawarta była unia biletowa.

W grudniu 2004 roku po raz pierwszy na tak dużą skalę zmieniły się reguły korzystania z przejazdów na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Największą zmianą było wprowadzenie w KZK GOP jednorazowych biletów jednokrotnego kasowania. Do tej pory bilet taki dostępny był wyłącznie w automacie, a pasażerowie w większości przyzwyczajeni byli do biletów dwukrotnego kasowania (z obu stron biletu). Nowy system stanowił znaczące ułatwienie dla korzystających ze zniżek, którzy odbywali nieparzystą liczbę przejazdów. Nie bez znaczenia pozostawało to również dla samego organizatora, gdyż bez większych problemów mógł ustalić liczbę przejazdów odbytych na podstawie biletów ulgowych.

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2021.

W tym samym czasie niemałą rewolucję zafundował pasażerom również PKM Jaworzno. Zmianie uległ cennik opłat, taryfa przewozowa oraz strona graficzna wszystkich rodzajów biletów. Zniesiono również taryfę nocną dla przejazdów jednorazowych. Dodatkowo sieć linii autobusowych podzielono na trzy strefy opłat: strefa A – teren miasta Jaworzna, strefa B – teren miasta i gminy Chrzanów, strefa C – teren Sosnowca, Mysłowic i Katowic.

W oparciu o te strefy zbudowano nowy system opłat za przejazdy. Obok znanych już pasażerom biletów strefowych, które upoważniały do przejazdu danym kursem w obrębie jednej bądź kilku stref biletowych, w ofercie pojawiły się również bilety czasowe, przeznaczone do kasowania, uprawniające do dokonywania przesiadek. Wyjątek stanowił bilet 10-minutowy, z którym można było podróżować przez 10 minut od momentu skasowania, jednak wyłącznie w obrębie Jaworzna i tylko w danym pojeździe. Wśród ciekawostek warto odnotować bilet dwuprzejazdowy uprawniający do dokonania dwóch przejazdów w obrębie Jaworzna, na dowolnej trasie, tego samego dnia. Poza tym w ofercie pojawiły się też bilety: 1-godzinny, 1,5-godzinny, 24-godzinny i 7-dniowy. Wszystkie były przeznaczone do kasowania i stanowiły bilety na okaziciela.

Kolejna zmiana taryfy KZK GOP miała miejsce pod koniec 2007 roku. Od listopada wprowadzono do cennika dwa nowe bilety ulgowe na okaziciela – 14-dniowy i miesięczny. Jednak pomimo różnego rodzaju zmian taryfowych w obszarze GOP-u wciąż brakowało zintegrowanej oferty taryfowej umożliwiającej przejazd na jednym bilecie pociągami regionalnymi oraz środkami komunikacji miejskiej największego organizatora, czyli KZK GOP. Jedyna taka oferta funkcjonująca na obszarze dzisiejszego GZM to Taryfa Pomarańczowa, która pozwalała do przejazdów pociągami na trasie Tychy–Katowice oraz wszystkimi liniami zwykłymi organizowanymi przez MZK Tychy na terenie miasta Tychy.

W latach 2002–2004 krótkotrwale funkcjonował bilet okresowy ATP (autobus-tramwaj-pociąg) emitowany przez PKP, który był ważny w pociągach osobowych oraz honorowany w autobusach i tramwajach kursujących na zlecenie KZK GOP. Opierał się on na zasadzie: bilet kolejowy (na wybraną relację) stawał się automatycznie biletem ATP po spełnieniu dwóch warunków: relacja, na jaką był sprzedany, musiała być dłuższa niż 20 kilometrów i obejmować jedną ze stacji na określonym umownie obszarze. Tym samym posiadacz takiego biletu nabywał uprawnienie do przejazdu na całej sieci komunikacyjnej KZK GOP i MZKP oraz na wybranej relacji kolejowej. Od samego początku istnienia biletu ATP podstawowym problemem pozostawała kwestia jego finansowania. Rozliczenia polegały na przekazywaniu przez Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego środków na rzecz KZK GOP jako rekompensaty za utracone przychody. Kwota ustalona była jednakże arbitralnie, bez związku z faktycznie występującymi stratami. Brak porozumienia pomiędzy stronami doprowadził w 2004 roku do wycofania biletu z oferty. Popularność tego biletu z pewnością byłaby dużo większa, gdyby przeprowadzono optymalizację sieci połączeń autobusowych (wymaganą przez Urząd Marszałkowski w związku z dofinansowywaniem działalności KZK GOP). Nie bez znaczenia był także brak jakiejkolwiek promocji – sprzedaż tego biletu oscylowała na poziomie od 8 do 10 tysięcy sztuk miesięcznie i zawdzięczała to przede wszystkim tzw. marketingowi szeptanemu. Potencjalnie zainteresowany pasażer nie miał bowiem szansy dowiedzieć się o istnieniu zintegrowanej oferty w jakichkolwiek wyciągach taryfowych KZK GOP.

Nadzieje na powrót zintegrowanego biletu rozbudził przedstawiony w 2008 roku projekt Śląskiej Karty Usług Publicznych (ŚKUP). Euforia opadła jednak bardzo szybko, gdy ogłoszony został planowany termin wdrożenia usługi – druga połowa 2013 roku. Pasażerowie domagali się wprowadzenia ułatwień w podróżowaniu natychmiast, wykorzystując do tego tradycyjne nośniki. Podobnie jak przy dzisiejszych rozliczeniach największym problemem było ustalenie kwestii wysokości opustu, jaki Przewozy Regionalne gotowe były udzielić pasażerom kupującym bilet zintegrowany.

Od 1 czerwca 2010 roku pasażerowie Komunikacyjnego Związku Komunalnego GOP oraz Przewozów Regionalnych dostali wreszcie możliwość podróżowania wszystkimi środkami transportu publicznego dzięki jednemu biletowi miesięcznemu. Wprowadzenie wspólnego biletu było możliwe dzięki porozumieniu zawartemu między KZK GOP a Przewozami Regionalnymi. Co ważne, „Bilet metropolitalny" – oprócz wygody – dał również oszczędność, gdyż koszt biletu nie był sumą kosztów biletów tych przewoźników. By uatrakcyjnić ofertę i zachęcić pasażerów do jak najczęstszego wykorzystania sieci i infrastruktury oraz możliwości przewozowych środków transportu publicznego, zarówno KZK GOP, jak i Przewozy Regionalne przy konstruowaniu umowy udzieliły rabatu od podstawowej ceny swoich biletów. W sumie koszt biletu metropolitalnego był niższy niż zakup osobnych biletów KZK GOP i biletu kolejowego o 20 procent.

W sierpniu 2010 roku zwrócono się do Przewozów Regionalnych z prośbą o włączenie do biletu metropolitarnego także oferty strefowej oraz biletów pomarańczowych (czyli taryfy wspólnej z MZK Tychy). Pierwotnie brak włączenia biletu strefowego był spowodowany tym, że bilet strefowy dla Przewozów Regionalnych już był promocją (tańszy od standardowej oferty biletów odcinkowych) i spółka nie chciała udzielić dodatkowej zniżki. Kolejny problem dotyczył ważności tego biletu na terenie/liniach MZKP. Związek ten, choć formalnie samodzielny, był połączony unią biletową z KZK GOP. Przy bilecie metropolitarnym ta wygoda znikła. Pasażerowie zaczęli otrzymywać opłaty dodatkowe od kontrolerów MZKP za brak biletu, mimo posiadania biletu metropolitarnego. Według informacji zamieszczonych swego czasu na stronie KZK GOP oraz Przewozów Regionalnych bilet ten miał być ważny wyłącznie na liniach obsługiwanych (organizowanych) przez KZK GOP.

Kolejna duża zmiana to wprowadzenie do oferty KZK GOP jednorazowych biletów czasowych. Od 1 stycznia 2012 roku pasażerowie mogli korzystać z biletów 15-, 30- i 60-minutowych. Zmiana ta została wymuszona w związku z wcześniejszymi podwyżkami cen biletów wprowadzonymi 1 sierpnia 2011 roku. KZK GOP obiecał wówczas w zamian

wprowadzenie biletów czasowych. Bilety dotychczas ważne w jednej oraz dwóch strefach, zaczęły równocześnie obowiązywać przez 15 lub 30 minut i umożliwiać przesiadki.

Prawdziwą rewolucją było uruchomienie pod koniec 2015 roku systemu Śląskiej Karty Usług Publicznych. Pasażerowie dostali możliwość korzystania z elektronicznej karty, na której mogli kodować bilety oraz środki do wykorzystania na przejazdy lub na pozostałe usługi miejskie (np. parkingi). Wśród nowości pojawiła się trzecia – po dotychczasowych taryfach strefowej i czasowej – taryfa odległościowa, w której pasażer płacił za przejazd według liczby rzeczywiście przejechanych kilometrów. KZK GOP w swojej ofercie ustalił interwały odległościowe przedstawione w tabeli 1.

Ciekawostką było różnicowanie cen ze względu na kanał sprzedaży. Dla biletów jednorazowych/krótkookresowych zakupywanych przez kartę ŚKUP stosowano ceny promocyjne. Kolejną nowością było wprowadzenie tzw. biletów z limitem przejazdów. Pasażer kupował bilet tańszy od tradycyjnego biletu miesięcznego, jednakże każdorazowo musiał rejestrować wejście do pojazdu. Bilet taki był ważny 30 dni lub do momentu wykorzystania dostępnego pakietu przejazdów. Warto tutaj wspomnieć, że zmieniły się ważności biletów długookresowych. Dotychczasowe systematycznie wycofywane bilety papierowe długookresowe były ważne na 1 lub 3 miesiące kalendarzowe. Od teraz analogiczne bilety były wyłącznie elektroniczne ważne przez 30 lub 90 kolejnych dni. Tym samym pasażer mógł zakupić bilet i wybrać sobie datę rozpoczęcia korzystania z niego od dowolnego dnia miesiąca.

Karta ŚKUP nie została jednak ciepło przyjęta przez użytkowników. Nie działające kasowniki, błędy przy płatnościach internetowych, długi czas oczekiwania na zakodowanie biletu na karcie, kolejki przy wyrabianiu kart oraz konieczność rejestrowania wejścia i wyjścia z pojazdu skutecznie zniechęciło wielu użytkowników do korzystania z komunikacji zbiorowej.

Etapy integracji taryfy przewozowej różnych organizatorów związanej z utworzeniem jednego podmiotu – Zarządu Transportu Metropolitalnego

W listopadzie 2017 roku Zgromadzenie GZM postanowiło zastąpić KZK GOP, MZK Tychy i MZKP Tarnowskie Góry przez Zarząd Transportu Metropolitalnego, który miał rozpocząć swoją działalność od 2019 roku. Dzięki integracji dotychczas rozproszonych i nieraz zdublowanych działań nowy podmiot miał dążyć do ciągłej optymalizacji procesów zarządzania systemem publicznego transportu zbiorowego na obszarze związku metropolitalnego. Działania te miały wpłynąć pozytywnie na zmniejszenie kosztów operacyjnych zarządzania systemem. Przejęcie zadań od trzech organizatorów wymagało jednak ujednolicenia nie tylko taryfy, ale również rozwiązań funkcjonujących u każdego z nich.

Tabela 1

Opłaty za przejazd jednorazowy w taryfie odległościowej KZK GOP (listopad 2015)

Odległość w km	Cena biletu za przewóz osób		Cena biletu za przewóz bagażu [zł]
	Normalny [zł]	Ulgowy [zł]	
do 1,0 km	2,20	1,10	2,20
powyżej 1,0 km do 2,0 km	2,80	1,40	2,80
powyżej 2,0 km do 5,0 km	3,10	1,55	3,10
powyżej 5,0 km do 9,0 km	3,70	1,85	3,70
powyżej 9,0 km do 14,0 km	4,20	2,10	4,20
powyżej 14,0 km do 20,0 km	4,40	2,20	4,40
powyżej 20,0 km	4,60	2,30	4,60

Źródło: portal.kartaskup.pl (dostęp z dnia 20.12.2020 r.

Integracja objęła wprowadzenie zintegrowanego systemu taryfowo-biletowego, obejmującego komunikację na terenie GZM, organizowaną przez trzech dotychczasowych organizatorów komunikacji miejskiej (KZK GOP w Katowicach, MZK w Tychach i MZKP w Tarnowskich Górach). Integracja rozpoczęła się od wprowadzenia jednolitych biletów dla wszystkich trzech organizatorów, ujednolicenia katalogu uprawnień do przejazdów bezpłatnych i ulgowych, w tym wprowadzenia bezpłatnych przejazdów dla dzieci i młodzieży w wieku od 7 do 16 lat zamieszkanych na terenie GZM. Ponadto od 2018 roku został wdrożony system wprowadzania bezpłatnych przejazdów w „Dni smogowe" na terenie GZM obejmujący trzech ww. organizatorów komunikacji oraz Koleje Śląskie Sp. z o.o.

W dalszej kolejności integracja biletowa objęła komunikację kolejową realizowaną na terenie GZM przez Koleje Śląskie poprzez wprowadzenie oferty wspólnych biletów. W pierwszym etapie był to bilet miesięczny normalny oraz ulgowy dla studentów do 26 roku życia. W kolejnych etapach planuje się bilety dla innych grup uprawnionych do przejazdów ulgowych oraz bilety godzinne i jednorazowe. Docelowo zakłada się rozszerzenie obowiązywania biletu również o pociągi innych przewoźników (np. Przewozów Regionalnych).

Zrealizowane kamienie milowe dla projektu „Zintegrowany system taryfowo-biletowy", ujętego w Programie Działań Strategicznych GZM do roku 2022, wyglądały następująco:

- 19.12.2017 – Podpisanie porozumienia w sprawie wprowadzenia zintegrowanego systemu taryfowo biletowego;
- 01.01.2018 – Wprowadzenie bezpłatnych przejazdów dla dzieci i młodzieży;
- 01.01.2018 – Wprowadzenie wspólnych biletów jednorazowych;
- 12.01.2018 – Zawarcie porozumienia ws. wprowadzania bezpłatnych przejazdów w „Dni smogowe";
- 01.04.2018 – Wprowadzenie wspólnych biletów okresowych (likwidacja biletów z limitem przejazdów);
- 18.10.2018 – Podpisanie porozumienia ws. wspólnego biletu z Kolejami Śląskimi;
- 27.06.2019 – Wprowadzenie Metrobiletu – etap 1 (wspólny bilet miesięczny normalny i ulgowy dla studentów do 26 roku życia);
- 01.03.2020 – Wprowadzenie Nowej Taryfy Przewozu osób i bagażu w komunikacji zbiorowej organizowanej przez ZTM (uwzględniającej dostosowanie taryfy do uruchomienia projektu ŚKUP w pojazdach PKM Tychy oraz TLT Tychy).

Aktualny kształt i rozwiązania taryfowe w ZTM

1 marca 2020 roku Uchwałą nr 5/2020 Zarządu GZM przyjęto nową Taryfę ZTM, która uwzględniała dostosowanie taryfy wszystkich organizatorów do projektu ŚKUP oraz wprowadzała wiele nowych rozwiązań:

- nowy bilet „Dzienny", uprawniający do nielimitowanych podróży do 23:59 w dniu skasowania;
- bilet semestralny „Sieć 120", ważny 120 dni od wybranej daty;
- nową kategorię biletów – bilety „Wieloprzejazdowe" (pakiet jednorazowych przejazdów ważny przez 180 dni);
- bilet „Grupowy dla 5 osób";
- w związku z wykonywaną optymalizacją sieci komunikacyjnej oraz dążeniem do równej dostępności wszystkich środków transportu wycofano z dystrybucji bilety na dedykowany środek transportu (np. wyłącznie na autobus lub wyłącznie tramwaj). Wraz z wprowadzeniem zmiany wszystkie bilety upoważniały do przejazdów wszystkimi środkami transportu organizowanymi przez ZTM;
- uregulowane zasady sprzedaży biletów dla uczestników imprez, w tym kulturalnych, naukowych, oświatowych, sportowych i masowych;
- nowe czytelne nazwy biletów;
- doprecyzowanie zasad zwrotu biletów długookresowych elektronicznych, w tym ustalenie nowego systemu obliczania kwoty zwrotu, który nie będzie doprowadzał do obejścia przepisów dotyczących cen biletów.

Niestety, ogłoszony kilkanaście dni później stan epidemii na obszarze RP spowodował, że nie można było zweryfikować rzeczywistej skali zmiany wprowadzenia nowej taryfy (np. pod względem wzrostu dochodów ze sprzedaży biletów) oraz rzeczywistego zainteresowania pasażerów nowymi biletami. Jednocześnie warto zaznaczyć, że w trakcie wzrostu popularności świadczenia pracy zdalnej pasażerowie chwalą ofertę biletów „Wieloprzejazdowych". Również wprowadzenie nowych zasad zwrotu biletu spowodowało ograniczenie strat po stronie ZTM w sytuacji, gdy w kwietniu pasażerowie masowo zaczęli zwracać bilety długookresowe.

W 2020 roku czterokrotnie doszło do korekty Taryfy ZTM. W lipcu usunięto zapis dotyczący konieczności rejestrowania karty podczas przejazdów jednorazowych. Kolejno wprowadzono do taryfy nową ulgę ustawową dla działaczy opozycji antykomunistycznej lub osób represjonowanych z powodów politycznych. Pod koniec listopada wprowadzono bezpłatne przejazdy dla pasażerów podróżujących pomiędzy dworcem PKP a nowym Międzynarodowym Dworcem Autobusowym w Katowicach, a od 1 stycznia 2021 roku weszła w życie nowa taryfa w związku z uruchomieniem sprzedaży wszystkich biletów przez Mobilną Aplikację Pasażera – Mobilny ŚKUP.

METROBILET – wspólna oferta ZTM i Kolei Śląskich oraz inne wzajemnie honorowane bilety z przewoźnikiem kolejowym

27 czerwca 2019 roku GZM wraz z Kolejami Śląskimi wprowadziła do swojej oferty Metrobilet, dzięki któremu pasażerowie mogą podróżować na jednym bilecie pociągami Kolei Śląskich oraz komunikacją zbiorową ZTM. Metrobilet jest biletem miesięcznym i dostępny wyłącznie w wersji elektronicznej na spersonalizowanej karcie ŚKUP. Pasażerowie mogą wybierać spośród siedmiu różnych biletów miesięcznych, a dodatkowo w ofercie znajduje się również bilet sześciogodzinny emitowany przez Koleje Śląskie. Pasażerowie mają do wyboru kilka wariantów: strefa Katowice, pięć stref kolorowych oraz bilet na całą Metropolię. Bilet „Strefa Katowice" (kolor czarny) obejmuje wszystkie stacje i przystanki kolejowe na terenie miasta Katowice oraz komunikację ZTM wyłącznie na terenie Katowic (rys. 1). Bilet „Cała Metropolia" jest ważny na wszystkich stacjach i przystankach kolejowych obsługiwanych przez Koleje Śląskie na obszarze Metropolii (GZM) oraz we wszystkich środkach komunikacji miejskiej ZTM. Pozostałe rodzaje Metrobiletu (kolor żółty, czerwony, pomarańczowy, zielony, niebieski) obejmują jedną wskazaną linię kolejową wraz ze wszystkimi stacjami i przystankami kolejowymi na terenie miasta Katowice oraz komunikację miejską ZTM na terenie całej Metropolii.

Bilet jest wydawany w dwóch wersjach: normalny i studencki. Trwają obecnie rozmowy z Kolejami Śląskimi, aby uruchomić również dla tej oferty pozostałe bilety ulgowe.

Poza Metrobiletami pasażerowie mogą również podróżować kolejami oraz komunikacją zbiorową organizowaną przez ZTM na podstawie biletów:

- o nazwie Taryfa Pomarańczowa, który uprawnia do przejazdów miesięcznych lub przez 90 minut w pociągach Kolei Śląskich na trasie Tychy Lodowisko–Katowice Szopienice Płd. oraz wszystkimi liniami ZTM na terenie miasta Tychy;
- Śląskiego Biletu Miesięcznego, który uprawnia do przejazdów pomiędzy wybranymi stacjami linii kolejowej (na obszarze całego województwa) oraz komunikacją zbiorową ZTM;
- Biletu Katowickiego, który uprawnia do przejazdów liniami ZTM oraz pociągami Kolei Śląskich na terenie miasta Katowice;
- EKO BILET-u, który uprawnia do przejazdów wszystkimi pociągami Kolei Śląskich oraz liniami ZTM przez okres: 6h, 12h lub 24h.

Planowane rozwiązanie taryfowe, w tym dalsza integracja z Kolejami Śląskimi

Obecnie wiele miast zmaga się ze skutkami pandemii. Pomimo tego, że transport zbiorowy stał się jednym z najbardziej poszkodowanych w trakcie epidemii koronawirusa, to został on całkowicie pominięty w tarczach antykryzysowych i pakietach pomocowych rządu. Wprowadzone ograniczenia, konieczność zapewnienia dodatkowych kursów, zwiększenie częstotliwości dezynfekcji, olbrzymi spadek liczby pasażerów, a co za tym idzie – spadek dochodów ze sprzedaży biletów, istotnie pogorszyły sytuację finansową organizatora. Miasta i gminy, które również są w bardzo trudnej sytuacji, prawdopodobnie nie będą w stanie pokryć różnicy pomiędzy rzeczywistymi a pla-

	normalny | studencki
Strefa Katowice (czarna)	119 zł | 59,50 zł
Żółty | Zielony | Czerwony | Niebieski | Pomarańczowy	179 zł | 89,50 zł
Cała Metropolia GZM	229 zł | 114,50 zł

Rys. 1. Oferta Metrobiletu (grudzień 2020 r.)
Źródło: metropoliaztm.pl (dostęp z dnia 20.12.2020 r.)

nowanymi przychodami z biletów. W pierwszym okresie trwania pandemii, kiedy obowiązywały najbardziej rygorystyczne obostrzenia związane z limitami w komunikacji miejskiej (marzec–maj), w ZTM odnotowano około 90-procentowy spadek dochodów ze sprzedaży biletów. Od czerwca sytuacja zaczęła się nieco poprawiać, ale wciąż jest to spadek wynoszący około 30–40 procent w odniesieniu do sytuacji sprzed pandemii. Dlatego, chcąc pogodzić oczekiwania pasażerów, które związane są z tym, by transport zbiorowy, pomimo funkcjonujących obostrzeń, działał bez dużych ograniczeń w rozkładach jazdy, podobnie jak w innych miastach Polski, GZM wspólnie z ZTM pracują nad nowymi rozwiązaniami taryfowymi, w tym nad podwyżką cen biletów, która miałaby obowiązywać od kwietnia 2021 roku.

Poza zmianą cen planowane są także nowe rozwiązania, które miałyby wynagrodzić pasażerom podwyższone opłaty:

- wprowadzenie nowego biletu długookresowego na dwa wybrane miasta;
- wprowadzenie nowego biletu półrocznego w atrakcyjnej cenie, bez możliwości zwrotu w trakcie obowiązywania;
- wprowadzenie możliwości przejazdu dodatkowo jednej osoby w weekendy i święta na bilecie „Dzienny”;
- uproszczenie taryfy poprzez umożliwienie przejazdów liniami ekspresowymi na „zwykłych” biletach;
- likwidacja opłaty za przewóz zwierząt lub bagażu.

Ponadto od listopada 2020 roku rozszerzony został kanał sprzedaży biletów z oferty ZTM poprzez posadowienie w mniejszych gminach GZM solarnych automatów biletowych. Od stycznia 2021 roku uruchomiona została Mobilna Aplikacja Pasażera – Mobilny ŚKUP, za pomocą której można zakupić wszystkie bilety oferowane przez ZTM również w formule natychmiastowych płatności poprzez wygenerowanie bezpiecznego QR kodu. W 2020 roku zostało ogłoszone postępowanie na nowy system pobierania opłat za przejazdy komunikacją zbiorową – ŚKUP 1.5. Przez ostatnie miesiące trwały ustalenia założeń taryfowo-funkcjonalnych. Do najważniejszych zmian taryfowych w nowym systemie należy z pewnością likwidacja taryfy odległościowej i strefowej oraz wycofanie możliwości sprzedaży biletów przez kierującego pojazdem.

Podsumowanie

Brak całkowitej integracji na obszarze Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego związany jest przede wszystkim z odrębnym funkcjonowaniem PKM Jaworzno, którego oferta przewozowa nie jest w żaden sposób powiązana z ofertą ZTM. Związane jest to z tym, że Jaworzno nie jest członkiem GZM, co powoduje utrudnienia z bezproblemowym przemieszczaniem się pomiędzy miastami Metropolii a Jaworznem. Co prawda istnieją połączenia pomiędzy tymi dwoma ośrodkami (zarówno oferowane przez ZTM, jak i PKM Jaworzno), niemniej jednak brak integracji taryfowo-biletowej w tym obszarze może stanowić problem.

Mając na uwadze specyfikę związku metropolitalnego, integracja taryfowo-biletowa w Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii jest dobrze rozwinięta. Utworzenie GZM pozwoliło pasażerom na wygodne podróżowanie po wszystkich miastach Metropolii oraz po miastach i gminach niezrzeszonych, w tym również Kolejami Śląskimi, przy wykorzystaniu jednego systemu biletowego. Jednocześnie coraz bardziej zaawansowane są rozmowy z Kolejami Śląskimi dot. dalszej integracji biletowej, która ułatwi mieszkańcom korzystanie z komunikacji różnymi środkami transportu publicznego.

Literatura

1. *Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla obszaru GZM oraz gmin, z którymi zawarto porozumienie w sprawie powierzenia GZM zadania własnego gmin, tj. pełnienia funkcji organizatora publicznego transportu zbiorowego*, Katowice 2020 (dokument na etapie konsultacji społecznych).
2. *Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla obszaru KZK GOP na lata 2013–2020*, Katowice 2020.
3. *Plan zrównoważonego rozwoju transportu zbiorowego dla obszaru właściwości organizatora publicznego transportu zbiorowego – Gmina Tychy*, Tychy 2014.
4. *Program Działań Strategicznych GZM do roku 2022*, Katowice 2019.
5. Tomanek R., *Komunikacyjny Związek Komunalny GOP z perspektywy dwóch dekad działania KZK GOP*, „Komunikacja Publiczna”, 2011, nr 3.
6. Ustawa z dnia 9 marca 2017 r. o związku metropolitalnym w województwie śląskim (Dz. U. 2017 poz. 730 z późn. zm.).

Strony internetowe:
www.kolejeslaskie.com,
www.kzkgop.com.pl,
www.metropoliagzm.pl,
www.metropoliaztm.pl,
www.portal.kartaskup.pl,
www.WPK.Katowice.pl.

ANDRZEJ RUDNICKI
prof. dr hab. inż., emerytowany pracownik Politechniki Krakowskiej,
e-mail: andrzej@pds.net.pl

Powiązania sieci ulic polskich miast z drogami szybkiego ruchu[1]

Streszczenie: Celem artykułu jest przedstawienie wybranych prawidłowości, jakie mają miejsce w praktyce planowania powiązań dróg szybkiego ruchu (DSR) z miastami. Metodyczne aspekty planowania tych powiązań odniesiono do treści poradnika opracowanego jeszcze przed rozpoczęciem programu budowy DSR w Polsce. Podano ogólne zasady postępowania oraz zestawiono podstawowe uwarunkowania procesu decyzyjnego w kwestii, jakie miejscowości oraz w ilu miejscach i w jakich punktach DSR będą powiązane z siecią drogowo-uliczną. Wskazano na heurystyczny charakter procedury tworzenia rozwiązania. Przytoczono brytyjskie rekomendacje co do zasadności powiązania DSR w miastami o określonej wielkości. Na podstawie analizy zrealizowanych DSR lub tych o już przesądzonych przebiegach zidentyfikowano liczbę węzłów wiążących te drogi z miastami, oddzielnie dla autostrad oraz dla dróg ekspresowych. Na podstawie przedstawionej interpretacji graficznej przeanalizowano występujące prawidłowości, wskazując na bardzo duży rozrzut występujący w tych zależnościach. Przy tworzeniu typologii powiązań posłużono się modelami topologicznymi, interpretowanymi graficznie. Typologia rozwiązań obejmuje rodzaje powiązań DSR z innymi drogami oraz z siecią ulic miasta, w tym obwodnicami wewnątrzmiejskimi, a także lokalizację węzłów. Przedstawiane modele zilustrowano przykładami rozwiązań dla Krakowa, Tarnowa i Rzeszowa. W ramach podsumowania i wniosków podano typowe liczby powiązań miasta z drogą ekspresową i autostradą.

Słowa kluczowe: ulice miejskie, planowanie sieci ulic, spójność układów drogowo-ulicznych.

Wprowadzenie

Podstawowymi funkcjami autostrad i dróg ekspresowych jest realizowanie połączeń transportowych głównych ośrodków gospodarczych i administracyjnych kraju, czyli dużych miast i zespołów miejskich. Na drogach szybkiego ruchu (DSR) priorytet ma zatem obsługa ruchu dalekiego zasięgu; drugorzędną rolą jest obsługa ruchu bliskiego zasięgu. Jednak DSR (zwłaszcza drogi ekspresowe) zapewniają niejako „przy okazji" dostępność transportową także miast średnich, a nawet małych, co wywiera korzystny wpływ na wykorzystanie i rozwój potencjału demograficznego i ekonomicznego miasta.

Przeprowadzono analizę powiązania polskich miast, dla których w ich otoczeniu wybudowane zostały bądź dopiero są projektowane DSR, lecz już o przesądzonych przebiegach. W przypadku autostrad analiza objęła 23 miast, a w przypadku dróg ekspresowych – 73 miast. W analizie posługiwano się mapami Google Maps oraz atlasami samochodowymi wydawnictw ExpressMap oraz Piętka. Posiłkowano się również materiałami graficznymi „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego" wybranych miast. Niniejszą analizą nie objęto Warszawy oraz miast wewnętrznych konurbacji górnośląskiej ze względu na trochę inną funkcję dróg szybkiego ruchu na tych obszarach. Powiązania sieci ulic z obejściami drogowymi (nie będącymi drogami szybkiego ruchu) przedstawiono w [6].

Celem artykułu jest zatem przedstawienie niektórych prawidłowości, jakie mają miejsce w praktyce planowania powiązań DSR z miastami.

Metodyczne aspekty planowania powiązań dróg szybkiego ruchu z miastem

Problem ten od strony badawczo-metodycznej został podjęty już z początkiem lat 80. ubiegłego wieku, zatem jeszcze wiele lat przed podjęciem realizacji programu budowy dróg szybkiego ruchu w Polsce. Opracowany w Krakowskim Oddziale Instytutu Kształtowania Środowiska poradnik [3], choć bardzo przydatny, to jednak został zapomniany i stąd przypuszczalnie słabo wykorzystywany w planowaniu powiązań DSR z układami dróg miejskich. Poradnik zawiera między innymi:

- zasady, w tym ograniczenia w prowadzeniu DSR w stosunku do miasta różnej wielkości;
- przesłanki wariantowania układów powiązań oraz kryteria ich oceny, z rozwinięciem ocen o charakterze środowiskowym;
- zakres analiz ruchowych;
- kształtowanie modeli powiązań DSR z sieciami ulic, z przykładami rozwiązań dla miast o różnej wielkości;
- umiejscowienie problemu w dokumentach planistycznych odnoszących się do poszczególnych zasięgów terytorialnych;
- blokogram procesu planowania układu powiązań oraz program prac do wykonania.

Podane w [3] zalecenia pozostają generalnie aktualne do dziś, z tym że w realizowanych rozwiązaniach, DSR przebiegają w większym oddaleniu od obszarów zainwestowania miejskiego niż zostało to rekomendowane w omawianym poradniku.

W tym punkcie zostaną zasygnalizowane tylko niektóre metodyczne aspekty procesu planowania.

Dostępność transportową miasta zapewnia się poprzez węzły z drogami i ulicami doprowadzającymi ruch wprost do miejscowości. Elementem planowania sieci DSR jest między innymi rozstrzyganie, jakie miejscowości oraz w ilu

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2021.

miejscach i w jakich punktach DSR będą powiązane z siecią drogowo-uliczną. Taki proces decyzyjny jest warunkowany wieloma czynnikami, a w szczególności:

- wielkością miejscowości (liczba mieszkańców i rozległość obszaru);
- strukturą sieci drogowo-ulicznej (kategorie i klasy przecinanych dróg oraz ich znaczenie dla obsługi miejscowości i jej otoczenia);
- odległością przebiegającej DSR od rdzenia miasta;
- wielkością ruchu docelowo-źródłowego;
- bliskością dużych generatorów ruchu, szczególnie ciężarowego, w tym lokalizacją centrów logistycznych;
- potrzebą udostępnienia dworców lotniczych.

Nawet jeśli weźmie się pod uwagę powyższe uwarunkowania, to ile będzie powiązań DSR z siecią ulic i w jakich miejscach to nastąpi, jest decyzją planisty, w dużej mierze arbitralną.

Liczba węzłów wiążących DSR z miejscowością wpływa na koszt budowy i stanowi kompromis pomiędzy wymogiem zapewnienia płynności ruchu na DSR a wymogiem dogodnej dostępności miejscowości oraz powiązań z innymi drogami. Rozmieszczenie węzłów jest w dużej mierze warunkowane spełnieniem zachowania minimalnej odległości pomiędzy sąsiadującymi węzłami zgodnie z Rozporządzeniem [5]. W niektórych przypadkach zrealizowanych w Polsce rozwiązań wymagania te nie zostały dotrzymane.

Powiązania DSR z układem ulic przedstawiane jest w ogólności jako element tworzenia hierarchicznej struktury sieci drogowo-ulicznej z uwzględnieniem odnoszących się do niej atrybutów spójności i dostępności, co zostało przedstawione między innymi w [1].

W metodyce planowania sieci transportowych, w odniesieniu do powiązań DSR z siecią ulic, mają zastosowanie – spośród wskazanych w [2] – trzy zasadnicze kroki postępowania:

- *Zacznij od wyższego (ze względu na skalę) poziomu, a potem zajmij się poziomem niższym*. Oznacza to, że kluczowym uwarunkowaniem jest przebieg DSR, do którego mają się dostosować powiązania z siecią ulic.
- *Zacznij od przyjęcia wyidealizowanej sieci, a potem uwzględnij miejscowe okoliczności*. Oznacza to, że ogólny model topologiczno-geometryczny rozwiązania należy przystosować do uwarunkowań stanu istniejącego.
- *Najpierw wyznacz punkty dostępu, następnie twórz sieć*. Oznacza to, że ustalone miejsca położenia węzła na DSR determinują elementy rozwiązania realizującego powiązania z siecią ulic.

Powyższy tok postępowania jest elementem procedury heurystycznej tworzenia rozwiązania, która ze swej natury jest trudna nie tylko do sformułowania, a nawet do uzmysłowienia. Droga do prawidłowego rozwiązania powinna prowadzić od ogólnych zasad i modeli do szczegółowego, konkretnego wyniku i odwrotnie (czyli od szczegółu do ogółu). Poprzez powrót do zasad i modeli planistycznych można sprawdzić, w jakim stopniu uzyskane rozwiązanie jest z nimi zgodne. Dużą przydatność ma wariantowanie rozwiązań. Lokalizacja węzłów wynika głównie z przebiegu DSR w stosunku do miasta, lecz – na zasadzie sprzężenia zwrotnego – potencjalne miejsca węzłów mogą mieć wpływ na kształtowanie przebiegu DSR względem obszaru zurbanizowanego.

W procesie planowania autostrady lub drogi ekspresowej może ujawnić się konflikt między stanowiskiem zarządcy DSR, a interesem samorządu gminnego co do przebiegu DSR, a przede wszystkim co do liczby węzłów. Rozwiązania zapisane w planach zagospodarowania przestrzennego powinny być wynikiem kompromisu, a ich uchwalenie ułatwi projektowanie i budowę DSR oraz powiązań z siecią ulic [4].

W sytuacji kompletowania sieci dróg szybkiego ruchu w Wielkiej Brytanii ustalono w latach 70. XX wieku rekomendację [7], aby miasta o liczbie mieszkańców powyżej 250 tysięcy wiązać bezpośrednio z tymi drogami, a w stosunku do miast powyżej 80 tysięcy – aby drogi te przebiegały nie dalej niż 10 mil, czyli 16 km (nie wiadomo, jak interpretować tę odległość). W Polsce są 44 miasta o liczbie mieszkańców 80 tysięcy i więcej[2]. Powyższej reguły nie będą spełniać w tej grupie tylko 2 miasta: Kalisz (100 tysięcy mieszkańców) – 20 km od S11, Nowy Sącz (84 tysiące mieszkańców) – 57 km od A4.

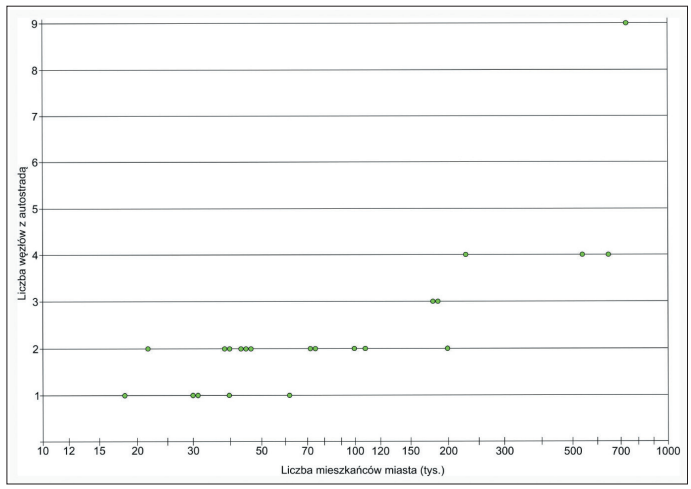
Liczba węzłów z drogą szybkiego ruchu

Autostrady

Zależność liczby węzłów z przebiegającą w pobliżu autostradą od wielkości miasta, uwzględniającą dane dla 22 miast o liczbie mieszkańców co najmniej 10 tysięcy, pokazuje rysunek 1.

Analiza wykazała że:

1. Powiązanie autostrady jednym węzłem dotyczy 6 miast, z których największe liczy 60 tysięcy mieszkańców. Najmniejszym miastem jest Sędziszów Małopolski (woj. podkarpackie, 12 tysięcy mieszkańców).

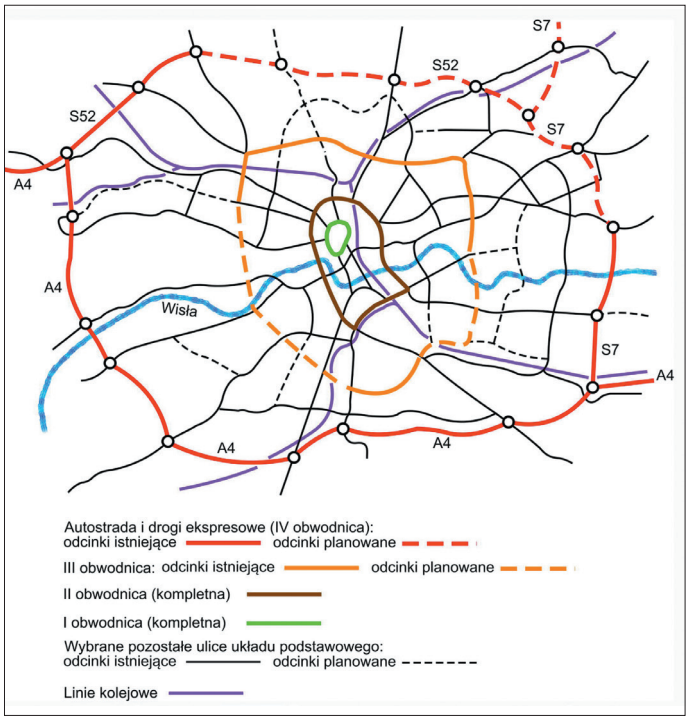


Rys. 1. Liczba powiązań miasta z autostradą w zależności od jego wielkości
Źródło: opracowanie własne

[2] https://www.polskawliczbach.pl/najwieksze_miasta_w_polsce_pod_wzgledem_liczby_ludnosci. Dane GUS według stanu na dzień 1 stycznia 2021 roku.

2. Najczęściej autostrada powiązania jest dwoma węzłami (11 przypadków) i dotyczy to miast o liczbie mieszkańców od 40 do 200 tysięcy.
3. Odnotowano tylko 2 przypadki powiązania miasta (o zaludnieniu w przedziale 150 do 200 tysięcy) za pośrednictwem trzech węzłów.
4. Powiązania czterema węzłami odnotowano w 3 miastach o liczbie mieszkańców 230 tysięcy i więcej.

Spektakularny przypadek (rys. 2) powiązania aż z dziewięcioma węzłami z autostradą dotyczy Krakowa (779 tysięcy mieszkańców). Jest to konsekwencją faktu, że korytarz, w który została wpisana autostrada A4, był wcześniej przewidziany dla ulicy ekspresowej, dopuszczającej mniejsze niż na autostradzie odległości międzywęzłowe. Ponadto Kraków posiada dużą rozciągłość zabudowy na osi wschód–zachód, czyli zgodną z generalnym kierunkiem przebiegu autostrady A4, która stanowi południową i zachodnią część obwodnicy drogowej miasta. Autostrada A4 prowadzona jest po granicy miasta, zatem przebiega blisko terenów zabudowy.



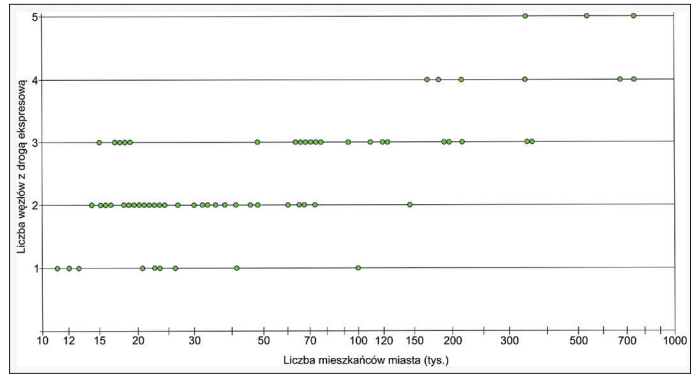
Rys. 2. Powiązania autostrady i dróg ekspresowych z siecią ulic Krakowa
Źródło: opracowanie własne

Drogi ekspresowe

Zależność liczby węzłów z przebiegającą w pobliżu drogą ekspresową od wielkości miasta uwzględniającą dane dla 65 miast o liczbie mieszkańców większej od 10 tysięcy pokazuje rysunek 3.

Analiza wykazała że:

1. Miast o liczbie mieszkańców 10 tysięcy i mniejszej, które powiązane są jednym węzłem z drogą ekspresową, jest 8; najmniejszym miastem jest Wodzisław (woj. świętokrzyskie, 1 tysiąc mieszkańców).
2. Największym miastem, które powiązano tylko jednym węzłem, jest Legnica (99 tysięcy mieszkańców).



Rys. 3. Liczba powiązań miasta z drogą ekspresową w zależności od jego wielkości
Źródło: opracowanie własne

3. Dominujące powiązanie dwoma węzłami dotyczy miast od kilkunastu do 70 tysięcy mieszkańców.
4. Dominujące powiązanie trzema węzłami dotyczy miast o liczbie mieszkańców od 50 do 350 tysięcy, chociaż zarejestrowano 5 miast kilkunastotysięcznych z taką liczbą węzłów.
5. Powiązania czterema węzłami odnotowano w 6 miastach od 170 do 350 tysięcy mieszkańców.
6. Powiązania pięcioma węzłami odnotowano w 3 miastach o liczbie mieszkańców powyżej 350 tysięcy.

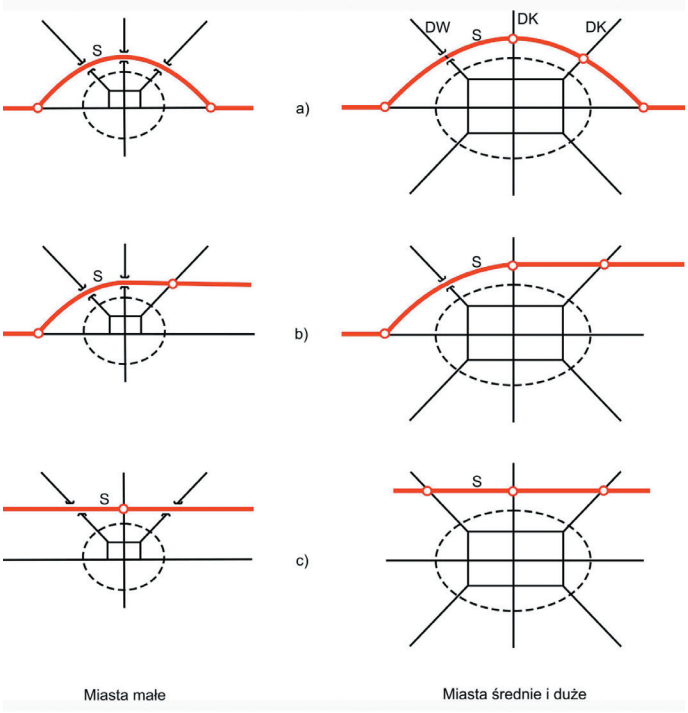
Powyższe zestawienie dotyczy poszczególnej drogi ekspresowej. W przypadku, gdy w obrębie lub w otoczeniu miasta przebiega więcej niż jedna droga ekspresowa, liczba powiązań może być większa niż przedstawiona na rysunku 3. Na przykład dla Krakowa (rys. 2 – dwie drogi ekspresowe S7 i S52) liczba powiązań z miastem wynosi 10. Lublin (340 tysięcy mieszkańców), w którym 3/4 pełnego obwodu, tj. jego część zachodnia, północna i wschodnia tworzą S12, S17 i S19, na których znajduje się 8 węzłów dla powiązań z miastem.

Typologia powiązań dróg szybkiego ruchu z miastem

Dla zilustrowania zasad lub rozwiązań będziemy posługiwać się modelami geometrycznymi – ściślej topologicznymi, interpretowanymi graficznie. Model tworzy zbiór węzłów oraz połączeń między nimi. Model może wyrażać hierarchię ważności poszczególnych połączeń. Dla uproszczenia i czytelności zasady połączenia pomiędzy węzłami przedstawiane są jako odcinki prostych lub łuków. Zatem model wyraża istotę zasady lub rozwiązania. Właściwości topologiczne jakiegoś obiektu pozostają niezmienne nawet po jego liniowych deformacjach. W realnym obiekcie (np. sieć ulic) połączenia między węzłami mają rozmaitą formę – zwykle są to linie nieregularne.

Typologię powiązań drogi ekspresowej poprzez węzły z innymi drogami oraz z siecią ulic miasta przestawia rysunek 4 – oddzielnie dla miast małych oraz dla miast średnich i dużych (linią przerywaną zaznaczono umowny zasięg zabudowy miasta).

Typ a) odnosi się do przypadków, gdy droga ekspresowa ma charakter obejścia, które na obrzeżach miasta wyprowadzone jest z obu stron z przebudowywanego istniejącego



Rys. 4. Typologia powiązań drogi ekspresowej z innymi drogami oraz z siecią ulic miasta
Źródło: opracowanie własne

ciągu drogowego. Odcinek obejścia może prowadzić zmodernizowanym przebiegiem wcześniej wybudowanego obejścia w ciągu drogi krajowej (typ a1) lub prowadzić po całkowicie nowym przebiegu (typ a2). Typ a) jest rozwiązaniem dominującym.

Powiązania takiego typu występują na przykład w miastach:

- Typ a1): Elbląg (S7), Goleniów (S3/S6), Kielce (S7), Miłomłyn (S7), Nidzica (S7), Oleśnica (S8), Pasłęk (S7), Płońsk (S7), Sławno (S6), Środa Wielkopolska (S11), Zielona Góra (S3).
- Typ a2): Chodzież (S11), Garwolin (S17), Gniezno (S5), Gorzów Wielkopolski (S3), Lubin (S3), Nowogard (S6), Ostrów Mazowiecka (S8), Polkowice (S3), Słupsk (S6), Stargard (S10), Szczecinek (S11), Tomaszów Mazowiecki (S8), Wyszków (S8), Żywiec (S1).

Typ b) odnosi się do przypadków, gdy droga ekspresowa wyprowadzona jest z jednej strony z przebudowywanego istniejącego ciągu drogowego, a z drugiej – przebiega poza istniejącymi ciągami dróg. Powiązania takiego typu występują na przykład w miastach: Bielsko-Biała (S1), Ełk (S61), Jawor (S3), Kępno (S11), Legnica (S3), Olsztyn (S16), Poznań (S11), Sokółka (S19), Suwałki (S61), Zamość (S17), Żmigród (S5).

Typ c) odnosi się do przypadków, gdy droga ekspresowa na całym swym odcinku w sąsiedztwie miasta przebiega niezależnie od istniejących ciągów dróg, które ma zastępować. Powiązania takiego typu występują na przykład w miastach: Kamienna Góra (S3), Kołobrzeg (S11), Koszalin (S6), Kraków (S7, S52), Leszno (S5), Lublin (S12/S19), Łódź S (14), Miechów (S7), Oświęcim (S1), Rzeszów (S19), Strzyżów (S19).

Sposób powiązania autostrad i dróg ekspresowych z siecią ulic

Dzięki obecności węzłów zapewnione jest utrzymanie spójności lokalnej sieci drogowo-ulicznej w obrębie miejscowości z ponadlokalną siecią drogową. Powiązanie następuje poprzez węzły:

- z istniejącymi drogami i ulicami doprowadzającymi bezpośrednio lub pośrednio ruch do śródmieścia,
- z łącznikami doprowadzającymi do najbliższej drogi lub ulicy,
- z łącznikami budowanymi w celu doprowadzenia do stacji poboru opłat na autostradzie,
- z istniejącymi lub planowanymi obejściami drogowymi,
- z układem obwodnic wewnętrznych (dotyczy to dużych miast).

Węzły sytuowane są najczęściej na przecięciu z drogami krajowymi (DK) i wojewódzkimi (DW), lecz także z powiatowymi (DP); rzadko wiążą się z ulicami gminnymi (DG).

Lokalizacja węzłów

Zazwyczaj węzeł jest sytuowany w miejscu przecięcia się osi dróg. W pewnych przypadkach bywa przesunięty na kierunku DSR w stosunku do tego punktu. Przesunięcie może być warunkowane zwartą zabudową w rejonie przecięcia osi dróg, utrudniającą wykształcenie węzła w tym miejscu lub też względami środowiskowymi (naruszenie zieleni, uciążliwości ruchu na węźle dla otaczającej zabudowy). W pewnych przypadkach przesunięcie węzła wynika z potrzeby spełnienia wymogu normatywnej minimalnej odległości pomiędzy sąsiadującymi węzłami.

Ponadto na autostradach płatnych, w ramach tzw. systemu zamkniętego, przesunięcie wynika z potrzeby minimalizowania liczby stacji poboru opłat. W przypadku węzła typu „karo" wiążącego autostradę z przecinającą ją drogą lub ulicą potrzebne byłyby 4 jednokierunkowe stacje poboru opłat. Usytuowanie węzła w przesunięciu i wprowadzenie łącznika pozwala stworzyć węzeł trójramienny (z reguły typu „trąbka") oraz zlokalizować tylko jedną dwukierunkową stację poboru opłat w jednym przekroju po obu stronach łącznika. Mankamentem takiego rozwiązania jest, że połączenie z siecią drogowo-uliczną miasta następuje przez dodatkowe dwa skrzyżowania lub ronda, które jednak znacznie wydłużają trasę przejazdu przez węzeł. Ponadto takie rozwiązanie zakłóca naturalnie postrzeganą czytelność relacji na węźle i powoduje zaburzenie orientacji kierowcy na połączeniu z krzyżującą się drogą lub ulicą. W sytuacji, gdy dąży się do wprowadzenia powszechnego elektronicznego pobierania opłaty za korzystania z infrastruktury drogowej, takie rozwiązanie z zespoloną stacją poboru opłat będzie zbędne.

Rzadko węzły występują w miejscu krzyżowania się autostrady z fragmentami „starej" drogi, która przebiega z kierunkiem generalnie zgodnym z autostradą, np. węzeł „Jarosław Zachód" na A4 z DK 94.

Węzły występują w miejscach wyprowadzania drogi ekspresowej z korytarza istniejącego ciągu drogowego – jak

w modelach a) i b) na rysunku 4 – oraz w miejscu krzyżowania się z drogami poprzecznymi.

Występują przypadki braku węzłów w miejscu przecięcia się drogi ekspresowej z drogą wojewódzką, np. Suwałki (S61), gdzie nie ma węzłów z dwoma drogami wojewódzkimi nr 652 i nr 655 oraz Niedzica (S7), gdzie nie ma powiązania z drogą wojewódzką nr 545, ale są dwa węzły z drogami powiatowymi.

Rodzaje powiązań

Najczęściej powiązania są bezpośrednie, ale występują przypadki połączeń pośrednich: z przesuniętego węzła przez łącznik ze stacją poboru opłat, np. we Wrześni – z A2 poprzez DK92 i DK15, w Mińsku Mazowieckim – z A2 poprzez DK50 i DK92.

Dla przypadków zgodnych z modelem c) na rysunku 4 powiązania z drogą ekspresową mogą być realizowane poprzez nowobudowane łączniki do dróg wojewódzkich (np. Zduńska Wola – S8 z DW 482), bądź będące nowymi odcinkami dróg krajowych (np. Sieradz – S8 z DK12 i z DK83).

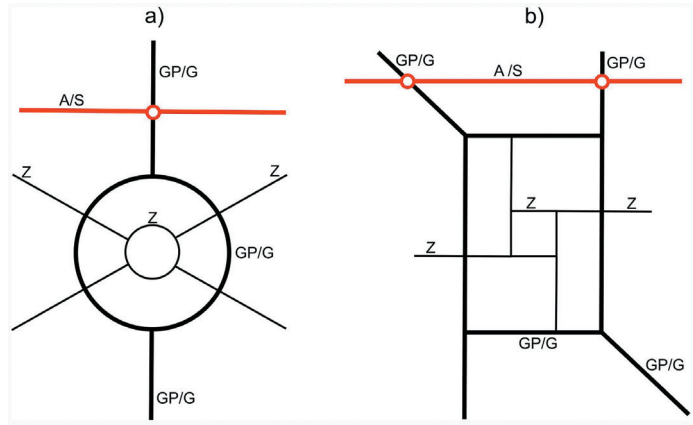
Nieliczne przepadki powiązań z drogami gminnymi występują np. w Nowogardzie – z S6, w tym z drogami prowadzącymi ruch wprost do centrum: np. w Tomaszowie Mazowieckim – z S8, w Ostrowie Wielkopolskim – z S11.

Powiązanie DSR z siecią ulic może dokonywać się poprzez łącznik i fragment obejścia drogowego. Na przykład w Tarnowie (108 tysięcy mieszkańców) powiązanie A4 z miastem za pośrednictwem DK 73 z wybudowanym i planowanym łącznikiem (oznaczonym symbolem Ł) pokazuje rysunek 5. W kolejnych etapach wyprowadzania drogi krajowej coraz bardziej na zewnątrz miasta łącznik rozrządza ruch z autostrady zarówno na tę drogę, jak i ulicę prowadzącą do śródmieścia Tarnowa. W zamierzonym rozwiązaniu końcowym (rys. 5c) ruch docelowo-źródłowy rozprowadzany jest przez pierwotny oraz poprzedni przebieg drogi krajowej, które finalnie stają się ulicami typowo miejskimi.

Powiązania z obwodnicami miejskimi

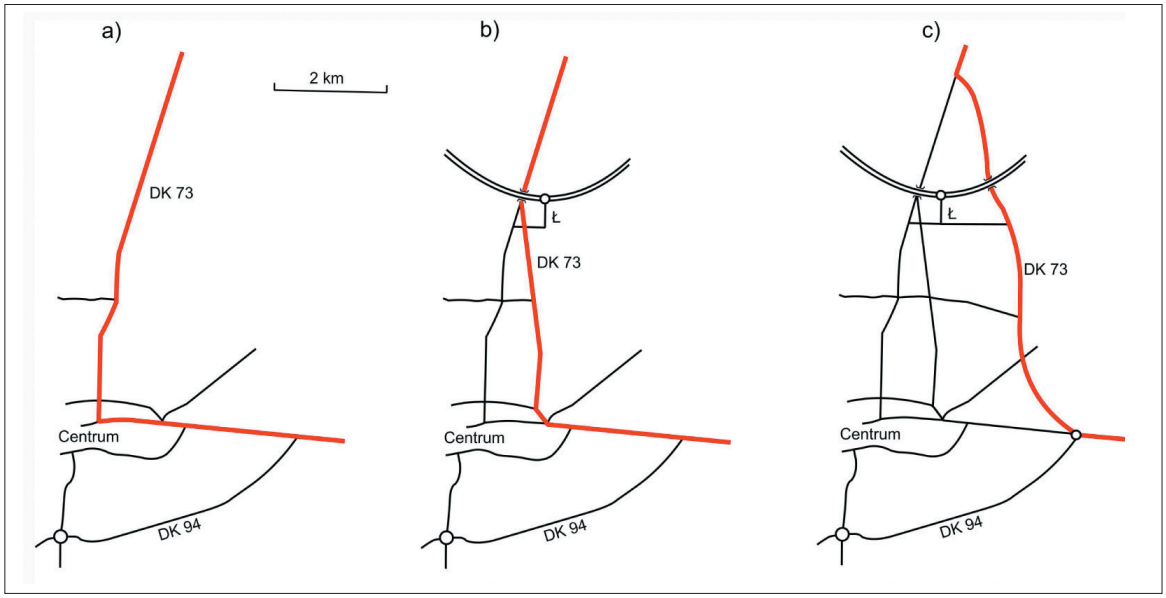
Droga zewnętrzna zazwyczaj kontynuuje swój pierwotny przebieg jako ulica, która prowadzi do środka miasta. Jednak dalsze utrzymywanie takiego powiązania wprowadzałoby intensywny ruch do jego centrum. Jeśli przebieg tej drogi nie jest poprowadzony jako typowe obejście miasta, to w przypadku klasy GP lub G taka droga powinna być kończona na istniejącej lub planowanej obwodnicy wewnętrznej miasta[3]. Sposób doprowadzenia do takiej obwodnicy powinien dokonywać się w kierunku prostopadłym (rys. 6a), lecz bardziej korzystnie byłoby włączyć się do niej ukośno-stycznie (rys. 6b). Jednak ma to być obwodnica peryferyjna, czyli najbardziej zewnętrznie położona w stosunku do śródmieścia.

Obwodnica może mieć różną formę geometryczną, zbliżoną do okręgu lub do wielokąta. Większość ruchu tranzytowego (w tym wyprowadzanego z węzła DSR) przenoszona



Rys. 6. Typologia powiązań autostrad i dróg ekspresowych z obwodnicami miejskimi: a) powiązanie prostopadłe, b) powiązanie ukośne lub styczne z obwodnicą peryferyjną
Źródło: opracowanie własne

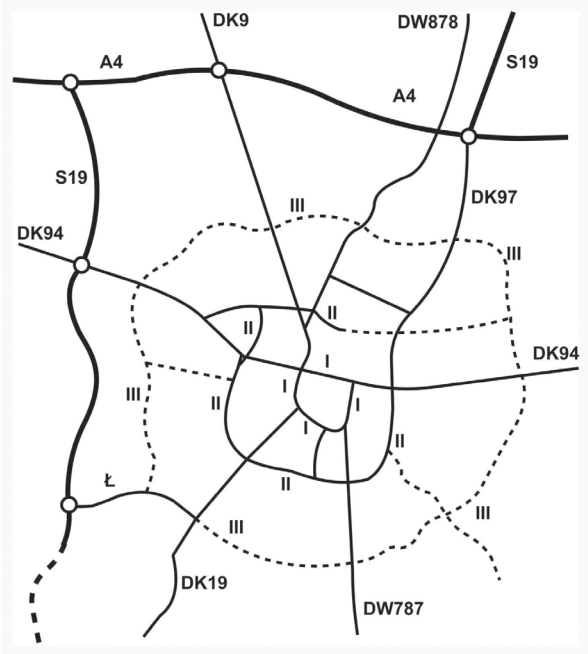
[3] Tak rozumiane obwodnice to pełne obwody drogowo-uliczne; nie należy ich mylić z obejściami drogowymi, zgodnie z terminologią użytą w Ustawie o drogach publicznych, gdzie jednak niesłusznie nazywane są obwodnicami.



Rys. 5. Pośrednie powiązanie podstawowej sieci ulic Tarnowa (część wschodnia miasta) oraz drogi krajowej nr 73 z autostradą A4 w rozwiązaniach etapowych: a) stan pierwotny, b) stan po wybudowaniu autostrady, c) stan docelowy wg SUiKZP, na podstawie [9]
Źródło: opracowanie własne

jest po obwodnicy peryferyjnej, a część ruchu docelowo-źródłowego rozrządzana jest przez powiązania obwodnicy peryferyjnej z obwodnicą śródmiejską. Drogi zewnętrzne klasy Z mogą się wiązać bezpośrednio z pokazaną na rysunku 6 obwodnicą śródmiejską.

Na rysunku 7 pokazano na przykładzie Rzeszowa (196 tysięcy mieszkańców), jak można zespolić sieć dróg ruchu szybkiego z siecią ulic miasta.



Rys. 7. Powiązania sieci ulic Rzeszowa z autostradą A4 i drogą ekspresową S19
Źródło: opracowanie własne na podstawie rysunku „Kierunki rozwoju komunikacji" *(załącznik graficzny nr 46)* w Studium [8].

Na rysunku wyodrębniono trzy wewnętrzne obwodnice miasta:

- I – odcinki pierwszej obwodnicy
- II – odcinki drugiej obwodnicy
- III – odcinki trzeciej obwodnicy

Liniami ciągłymi zaznaczono odcinki istniejące, liniami przerywanymi – odcinki planowane.

W celu zapewnienia kontynuacji przebiegu drogi ekspresowej S19 (powiązanie wlotów od północy oraz od południa) wykorzystywany jest odcinek autostrady A4. W powiązaniach z siecią ulic dominują połączenia prostopadłe do trzeciej obwodnicy oraz występuje jeden przypadek połączenia stycznego. Jest to łącznik (oznaczony literą Ł na rys. 7), który w zrealizowanym rozwiązaniu etapowym wiąże drogę ekspresową z siecią ulic poprzez drogę krajową nr 19. Równocześnie łącznik ten, na fragmencie swojego istniejącego już przebiegu, stanowi zawiązek budowy południowej części trzeciej obwodnicy.

Podsumowanie i wnioski końcowe

Prawidłowości odnoszące się do zrealizowanych lub dopiero planowanych i projektowanych powiązań miast z DSR uzyskano na podstawie analizy dostępnych przypadków miast: 23 – w odniesieniu do autostrady, 73 – w odniesieniu do dróg ekspresowych.

Liczba powiązań miasta z drogami ekspresowymi i autostradami zależy przede wszystkim od jego wielkości oraz od struktury sieci pozostałych dróg w obrębie miasta. Im większe miasto, tym na ogół większa liczba węzłów. Brak jest jednak jednoznacznego powiązania tych czynników. Na liczbę węzłów ma też wpływ liczba DSR w sąsiedztwie miasta. Najczęściej występujące liczby węzłów na drodze ekspresowej i autostradzie w otoczeniu miasta podaje zestawienie w tabeli 1.

Tabela 1

Typowe liczby powiązań miasta z drogą ekspresową i autostradą

Liczba mieszkańców [tys.]	Liczba powiązań:	
	z drogą ekspresową	z autostradą
do 10	1	0
od 10 do 40	1÷2	1
od 40 do 100	2÷3	2
od 100 do 300	3÷4	3
od 300 do 800	3÷5	4

Źródło: opracowanie własne

Lokalizacja węzłów wynika głównie z miejsc przecięć DSR z innymi drogami krajowymi i wojewódzkimi. W każdym przypadku wymagane jest zindywidualizowane podejście, z uwzględnieniem wymogu zachowania minimalnej odległości między sąsiadującymi węzłami.

Typologię powiązań drogi DSR z innymi drogami oraz z siecią ulic miasta można w sposób syntetyczny przedstawić za pomocą modeli geometryczno-topologicznych. Dla drogi ekspresowej typologia modeli odnosi się głównie do tego, czy jest ona wyprowadzona z istniejącego przebiegu ciągu drogowego lub czy przebiega niezależnie.

Rodzaje powiązań sieci drogowo-ulicznej miasta (w tym jego obwodnic wewnętrznych) z DSR pokazano na modelach oraz na kilku rzeczywistych przykładach.

Literatura

1. Han B., Sun D., Yu X., Song W., Ding L., *Classification of Urban Street Networks Based on Tree-Like Network Features*, Journal Sustainability 12 (2), 2020.
2. *Handbook of Transportation Engineering. Volume 1: Systems and Operation*, Myer Kutz, Editor, The McGraw-Hill Companies, Second Edition, 2011.
3. *Wytyczne metodyczne planowania układu powiązań dróg szybkiego ruchu z układami dróg miejskich*, Instytut Kształtowania Środowiska, Oddział w Krakowie, Kraków 1981.
4. Kukiełka J., *Planowanie i projektowanie dróg ekspresowych w Polsce*, „Drogownictwo", 2011, nr 12.
5. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie z dnia 2 marca 1999 r. (Dz.U. Nr 43, poz. 430, tekst ujednolicony Dz.U. z 2016 r. poz. 124.)
6. Rudnicki A., *Zasady planowania obejść drogowych*, Materiały konferencji „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego", Annały inżynierii ruchu i badań transportowych, Poznań 2017, t.1 (XI).
7. Starkie D.N.M., *Transportation Planning, Policy and Analysis*, Urban and Regional Planning Series, Volume 13, Pergamon Press, First edition, 1976.
8. Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Rzeszowa zatwierdzone uchwałą Rady Miasta w dniu 4 lipca 2000 r.
9. Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Tarnowa zatwierdzone uchwałą Rady Miejskiej w dniu 25 września 2014 r.

Priorytet dla pojazdów transportu zbiorowego w programie sygnalizacji świetlnej na podstawie liczby pasażerów w pojeździe[1]

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

Streszczenie: W artykule zaprezentowano opracowaną funkcję do wyznaczania priorytetu w programach sygnalizacji świetlnej dla pojazdów transportu publicznego z uwzględnieniem aktualnej liczby pasażerów w pojeździe oraz kosztów społecznych transportu. Przedstawione zostały wybrane sposoby detekcji pojazdów, w tym pojazdów transportu zbiorowego pod kątem możliwych do uzyskania danych. Zaprezentowane zostały najważniejsze technologie automatycznych systemów zliczania pasażerów oraz dokładność, z jaką zbierane są dane. W artykule omówiono także społeczne koszty transportu, które zostały podzielone na trzy grupy: wewnętrzne, zewnętrzne oraz pośrednie. Na podstawie zebranych danych z literatury i badań własnych opracowano funkcje kosztów zatrzymania pojazdu przed skrzyżowaniem, oddzielnie dla transportu publicznego i indywidualnego. Dla opracowanej funkcji kosztu priorytetu na skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną przedstawiono możliwe jej zastosowania. Artykuł zakończono podsumowaniem i planem dalszych badań nad tematem.
Słowa kluczowe: transport zbiorowy, priorytety dla transportu zbiorowego, automatyczne systemy zliczania pasażerów, sterowanie ruchem, koszty społeczne transportu.

Wprowadzenie

Priorytety w programach sygnalizacji świetlnej dla pojazdów miejskiego transportu zbiorowego są coraz powszechniejszym sposobem skracania czasu przejazdu linii transportu publicznego. Udogodnienia te najczęściej związane są ze zmianą w cyklu sygnalizacji świetlnej po wykryciu zbliżania się pojazdu transportu publicznego do skrzyżowania przez detektory ruchu. W procesie detekcji pojazdów wykorzystywane są rozwiązania, dzięki którym możliwe jest określnie różnych parametrów poruszającego się pojazdu [1]. Detektory są także wykorzystywane w przypadku transportu indywidualnego przejeżdżającego przez skrzyżowania z priorytetem w sygnalizacji świetlnej dla transportu publicznego. Systemy te umożliwiają:

- określenie liczby pojazdów przejeżdżających przez skrzyżowanie z każdego wlotu,
- określenie liczby pojazdów oczekujących na przejazd w sytuacji wysokiego natężenia ruchu i tworzenia się kolejek przed skrzyżowaniami.

Najczęściej wykorzystywanym sposobem detekcji pojazdów w transporcie publicznym i transporcie indywidualnym są pętle indukcyjne. Umożliwiają one pozyskanie informacji o obecności pojazdu nad pętlą lub o przejechaniu pojazdu nad detektorem. Wśród innych popularnych metod detekcji można wymienić: wideo detekcję oraz detekcję radiową (częściej wykorzystywaną w transporcie publicznym) [1].

W procesie nadawania priorytetów pojazdom transportu publicznego wykorzystywane są najczęściej dane związane z obecnością pojazdu w obszarze detekcji. Przyjęta w ten sposób metodyka nadawania priorytetów nie uwzględnia innych aspektów, związanych z funkcjonowaniem systemu transportowego, takich jak:

- koszty zatrzymania i ponownego rozpędzenia pojazdów indywidualnych i transportu publicznego,
- kosztów czasu traconego podczas oczekiwania na możliwość przejazdu przez skrzyżowanie,
- liczby pasażerów w pojazdach miejskiego transportu zbiorowego,
- liczby pojazdów indywidualnych oczekujących na wlotach skrzyżowania.

W przypadku uwzględnienia tych czynników w procesie nadawania priorytetów na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną niezbędne jest pozyskiwanie informacji na ich temat w czasie rzeczywistym. Można to osiągnąć, wykorzystując automatyczne systemy zliczania pasażerów oraz sygnały z detektorów drogowych. Uzyskane w ten sposób dane umożliwiają wyliczenie kosztów zatrzymania przed skrzyżowaniem, zarówno dla transportu indywidualnego, jak i transportu publicznego. Niezbędnym elementem obliczeń są funkcje, dzięki którym można określić wielkość jednostkowych kosztów eksploatacji pojazdów i czasu traconego.

Koszty społeczne transportu

Wpływ systemu transportowego na otoczenie określa się za pomocą kosztów. Nie są to tylko koszty ponoszone przez przedsiębiorstwo zajmujące się działalnością transportową, ale odnoszą się one również do kosztów społecznych, które są ponoszone przez całe społeczeństwo oraz środowisko [2]. Koszty społeczne dzieli się na trzy grupy:

- wewnętrzne,
- zewnętrzne,
- pośrednie.

Koszty wewnętrzne ponoszone są bezpośrednio przez użytkowników systemu transportowego oraz nakładane są na nich przez rynek. Przykłady kosztów wewnętrznych transportu zostały zaprezentowane w tabeli 1.

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2021. Wkład autorów w publikację: J. Aleksandrowicz 50%, A. Stróżek 50%.

Drugą grupę stanowią koszty zewnętrzne, które są ponoszone przez społeczeństwo i środowisko w związku z funkcjonowaniem systemu transportowego [3]. Czynników, które wpływają na koszty zewnętrzne, jest bardzo dużo, w związku z czym kompleksowe wyznaczenie wszystkich kosztów zewnętrznych jest procesem trudnym [4]. Przykłady kosztów zewnętrznych transportu przedstawiono w tabeli 1.

Ostatnią grupą są koszty pośrednie, które ze względu na swoją specyfikę są ciężkie do oszacowania. Jest to powód, przez który koszty te są często pomijane podczas obliczania ogólnych kosztów transportu. Przykłady kosztów pośrednich przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Koszty społeczne transportu		
Koszty wewnętrzne	**Koszty zewnętrzne**	**Koszty pośrednie**
• koszty związane z eksploatacją pojazdów (zakup, paliwo), • koszt biletu, • koszty związane z infrastrukturą (np. podatki od środka transportu, paliwowe), • koszty związane z wypadkami, • straty czasu związane z zatłoczeniem, • koszty środowiskowe.	• koszty związane z obsługą infrastruktury oraz jej uszkodzeniami, • koszty wypadków i zanieczyszczenia środowiska (np. wyczerpywanie nieodnawialnych źródeł energii), nie zawarte w kosztach wewnętrznych, ponoszone przez osoby nie będące użytkownikami systemu, • negatywny wpływ na zdrowie i życie społeczeństwa, • straty czasu osób nie będących użytkownikami systemu, • koszty związane z: emisją drgań i hałasu do środowiska, uciążliwością transportu, kongestią.	• koszty związane z emisją zanieczyszczeń do środowiska oraz zmianami klimatycznymi wynikającymi z produkcji paliw i energii elektrycznej oraz produkcji i utrzymania środków transportu i infrastruktury, • koszty związane z utylizacją odpadów wytworzonych w procesie funkcjonowania systemu transportu.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3, 4]

Koszty strat czasu i eksploatacji pojazdów

Koszty podróży z punktu widzenia użytkowników systemu transportowego (koszty wewnętrzne), niezależnie od wybranego środka transportu, dzielą się na pieniężne i niepieniężne. Porównując ze sobą te koszty, należy wziąć pod uwagę wszystkie etapy podróży: od miejsca początku podróży, czasu dojścia na przystanek transportu publicznego czy do pojazdu indywidualnego, przez właściwy czas podróży, aż do czasu dojścia do celu podróży [5].

Koszty niepieniężne związane z czasem trwania podróży będą inne w zależności od wyboru środka transportu. W przypadku pojazdów indywidualnych nie występuje czas oczekiwania na przystanku, jednak charakterystyczny dla tego rodzaju podróży jest np. czas związany z poszukiwaniem miejsca parkingowego [5].

Pieniężnymi kosztami podróży w przypadku transportu indywidualnego są wszelkie koszty związane z eksploatacją pojazdu i ewentualnie koszty parkingu, natomiast podczas podróży pojazdem komunikacji zbiorowej jest koszt biletu [5].

Uogólniony koszt podróży można przedstawić jako sumę kosztów pieniężnych i kosztów czasu z wykorzystaniem następującego wzoru [5, 6]:

$$GP = P + T \cdot VOT$$

gdzie:

GP – uogólniony koszt podróży,
P – koszty pieniężne,
T – czas,
VOT – wartość czasu.

Wartość kosztu czasu podróży określa się jako maksymalny koszt (wyrażony w jednostce pieniężnej na daną jednostkę czasu), jaki użytkownik jest skłonny ponieść, aby zyskać jedną jednostkę czasu, przy niezmienionych pozostałych parametrach podróży [7]. Wartość czasu podróży jest indywidualnie przypisywana do każdego użytkownika systemu transportowego, subiektywna, i zależy od: wysokości jego zarobków, wygody podróżowania, celu podróży oraz samopoczucia. Istotnym elementem czasu podróży jest czas tracony w wyniku kongestii drogowej. Jednym z czynników wpływających na powstawanie kongestii drogowej jest sygnalizacja świetlna na skrzyżowaniach. Można na tej podstawie stwierdzić, że istotnym składnikiem kosztu czasu podróży jest koszt oczekiwania na przejazd przez skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną [8].

Koszty pieniężne podróży można określić np. na podstawie: ilości zużytego paliwa, taryfy biletowej w pojazdach transportu publicznego i wysokości opłat za parkowanie. Koszty te zależą od następujących czynników: długości podróży, warunków drogowych, czasu postoju i typu pojazdu. Efektem tego są różne koszty podróży po tych samych odcinkach drogowych w różnych godzinach i różnymi środkami transportu. Zwiększające się natężenie ruchu drogowego wpływa istotnie na wzrost kosztów eksploatacji pojazdów (częstsze zatrzymania pojazdów, mniejsza prędkość przejazdu). Istotny wpływ na wzrost liczby zatrzymań w transporcie drogowym mają skrzyżowania z sygnalizacją świetlną. W ich przypadku koszty pieniężne można określić na podstawie czasu oczekiwania na przejazd przez skrzyżowanie.

Na potrzeby wykonywanych obliczeń kosztów strat czasu w transporcie przyjmuje się, że wartość czasu podróży stanowi połowę stawki średniego wynagrodzenia za pracę. Wyznaczona stawka w horyzoncie do 2030 roku ma docelowo wynieść 24 PLN/h (VOT) [8].

Automatyczne systemy zliczania pasażerów

Automatyczne systemy zliczania pasażerów umożliwiają zbieranie danych na temat liczby pasażerów w pojeździe na każdym odcinku międzyprzystankowym z dokładnością do jednego pasażera. Dane gromadzone są w formie informacji na temat liczby pasażerów wsiadających i wysiadających z pojazdu na każdym przystanku. Dodatkowo dane uzupełniane są o współrzędne lokalizacyjne każdego przystanku oraz dokładną godzinę, o której miało miejsce zatrzymanie i obsługa pasażerów. Do najczęściej wykorzystywanych technologii czujników stosowanych w automatycznych systemach zliczania pasażerów (w skrócie: ASZP) zalicza się:

- czujniki na podczerwień,
- czujniki wykorzystujące obraz wideo z kamer,
- czujniki laserowe.

Każda z technologii ma swoje zalety i wady. W zależności od wykorzystanej w systemie technologii, producenci deklarują różne poziomy zgodności danych zbieranych automatycznie z rzeczywistą liczbą pasażerów wsiadających i wysiadających [9]. Zrealizowane pomiary weryfikujące prace ASZP wykazały zgodność danych na poziomie 60%. Zgodność ta odnosiła się do liczby pasażerów wsiadających i wysiadających z pojazdu [9, 10, 11].

Dane z pojazdów gromadzone są w pamięci komputerów pokładowych i zgrywane na serwery po zjeździe pojazdu do zajezdni. Dane przekazywane w ten sposób umożliwiają wykorzystanie ich we wszelkiego rodzaju analizach dotyczących potoków pasażerskich. Z punktu widzenia wykorzystania danych w inteligentnych systemach transportowych (systemy ITS) odpowiedzialnych za sterowanie ruchem drogowym dane gromadzone w taki sposób nie mogą być wykorzystywane w czasie rzeczywistym. Aby dane z ASZP były przydatne z punktu widzenia sterowników sygnalizacji świetlnej, musiałyby być przesyłane w czasie rzeczywistym do serwerów, a następnie do sterowników sygnalizacji świetlnej lub bezpośrednio do sterowników sygnalizacji świetlnej [9] (co zostało przedstawione w formie schematu na rys. 1).

Rys.1. Przepływ danych pomiędzy automatycznym systemem zliczania pasażerów a sterownikiem sygnalizacji świetlnej

Na podstawie danych przesyłanych w czasie rzeczywistym do sterowników sygnalizacji świetlnej możliwe jest wykorzystanie informacji o liczbie pasażerów w pojeździe w procesie przydzielania priorytetów na skrzyżowaniu dla pojazdu transportu publicznego. Informacja ta umożliwiałaby nadawanie priorytetów w sygnalizacji świetlnej, na podstawie kryterium kosztów eksploatacyjnych i strat czasu, w odniesieniu do pojedynczego użytkownika ruchu.

Priorytety dla pojazdów transportu zbiorowego na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną

Udogodnienia dla pojazdów miejskiego transportu zbiorowego w ruchu drogowym można wprowadzać na różne sposoby, poprzez:

- zmiany infrastrukturalne (m.in. wydzielanie pasów autobusowych czy bezkolizyjność torowisk tramwajowych),
- zmiany organizacyjne (m.in. priorytety w sygnalizacji świetlnej czy zmiany pierwszeństwa przejazdu).

W obu przypadkach celem zmian jest skrócenie czasu przejazdu środkami miejskiego transportu zbiorowego. Efektem wprowadzanych zmian jest zwiększenie atrakcyjności transportu publicznego. W obrębie skrzyżowań z sygnalizacją świetlną najczęściej stosowanym rozwiązaniem usprawniającym ruch pojazdów miejskiego transportu zbiorowego jest stosowanie priorytetów w programach sygnalizacji świetlnej. Priorytety tego typu można podzielić na: bezwzględne (częściej stosowane na przejazdach przez torowisko tramwajowe) i względne (uzależnione od różnych czynników). W przypadku priorytetów warunkowych (względnych) nadanie sygnału zezwalającego na przejazd przez skrzyżowanie dla pojazdów transportu zbiorowego uzależnione jest od obliczeń algorytmu sterującego sygnalizacją świetlną. Najczęściej stosowanymi metodami są:

- metoda uruchomienia dodatkowej fazy w cyklu dla pojazdu transportu zbiorowego, po zakończeniu wyświetlania fazy wyświetlanej w momencie zgłoszenia z detektorów o zbliżaniu się do skrzyżowania pojazdu transportu zbiorowego;
- metoda skracania do minimum wszystkich faz w cyklu, które muszą zostać uruchomione, przed wyświetleniem fazy dla transportu zbiorowego – kolejność faz w cyklu zawsze jest ta sama.

W obu przypadkach zdarzają się sytuacje, w których mimo wprowadzonego priorytetu pojazdy transportu zbiorowego zatrzymują się.

Kwestie priorytetów w sygnalizacji świetlnej dla transportu zbiorowego należy także rozpatrywać pod kątem transportu indywidualnego. Nadawanie priorytetu wpływa na ruch pojazdów indywidualnych poprzez zwiększenie czasu przejazdu przez skrzyżowanie. W przypadku małych, peryferyjnych skrzyżowań, gdzie ruch pojazdów transportu zbiorowego nie jest duży, wpływ priorytetów na ruch pojazdów indywidualnych będzie istotnie mniejszy niż w przypadku dużych skrzyżowań (zwłaszcza takich, gdzie dochodzi do krzyżowania się różnych linii transportu zbiorowego). Stosowanie priorytetów bezwzględnych na skrzyżowaniach o dużym natężeniu ruchu pojazdów indywidualnych i transportu zbiorowego mogłoby skutkować znacznym zwiększeniem kongestii drogowej. Problemem, jaki zauważono podczas obserwacji na skrzyżowaniach, było uniezależnienie przyznawania priorytetu od sytuacji na drogach wlotowych skrzyżowania oraz liczby pasażerów korzystających z pojazdu transportu zbiorowego. Zauważone zostały dwie skrajne sytuacje:

- zatrzymanie pojazdu transportu zbiorowego przewożącego dużą liczbę pasażerów w celu przepuszczenia kilku oczekujących pojazdów indywidualnych (przy niskim natężeniu ruchu pojazdów indywidualnych na wlotach skrzyżowania),
- skrócenie do minimum lub pominięcie fazy dla pojazdów indywidualnych oczekujących w kolejce w celu przepuszczenia pojazdu transportu zbiorowego przewożącego bardzo małą liczbę pasażerów (przy wysokim lub bardzo wysokim natężeniu ruchu pojazdów indywidualnych na wlotach skrzyżowania).

Obu wyżej wymienionych sytuacji udałoby się uniknąć, gdyby w przypadku przydzielania priorytetu w sygnalizacji świetlnej dla transportu zbiorowego brano pod uwagę koszty społeczne transportu. Obecnie uwzględnianie tego typu kosztów w procesie decyzyjnym jest już możliwe, ponieważ dostępne są urządzenia i systemy automatycznie zliczające pojazdy indywidualne zbliżające się do skrzyżowania lub oczekujące w kolejce oraz pasażerów w pojazdach transportu zbiorowego.

Przykład zastosowania kosztów społecznych transportu i danych z ASZP w programie sygnalizacji świetlnej z priorytetem dla transportu zbiorowego

Przedstawione w artykule zagadnienia dotyczące kosztów zewnętrznych i wewnętrznych transportu oraz danych z automatycznych systemów zliczania pasażerów dają podstawę wnioskować, że mogą być one wykorzystane w procesie nadawania priorytetu dla pojazdów miejskiego transportu zbiorowego na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Opracowana została w tym celu funkcja przyjmująca wartości ze zbioru {0,1}, gdzie wartość 1 oznacza nadanie priorytetu dla pojazdu transportu zbiorowego, a wartość 0 brak nadania priorytetu. Funkcja została przedstawiona w następujący sposób:

$$F(t_{tz}, np, t_{ti}, lp) = \begin{cases} 1\ dla\ f(ttz, np) - g(tti, lp) \geq 0 \\ 0\ dla\ f(ttz, np) - g(tti, lp) < 0 \end{cases}$$

gdzie:

$F(t_{tz}, np, t_{ti}, lp)$ – funkcja kosztu priorytetu na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną,
$f(t_{tz}, np)$ – funkcja kosztów zatrzymania pojazdu transportu zbiorowego,
$g(t_{ti}, lp)$ – funkcja kosztów zatrzymania pojazdów transportu indywidualnego.

Na podstawie przeprowadzanej analizy literatury i wykonanych prac badawczych podjęto próbę zapisania w sposób formalny funkcji kosztów zatrzymania dla transportu zbiorowego i transportu indywidualnego. Pierwszym etapem prac było przyjęcie założeń, jakie muszą być spełnione, aby była możliwość wykorzystania opracowanej funkcji:

- detektory dla transportu zbiorowego muszą być zlokalizowane w takiej odległości od sygnalizatorów, aby pojazd potrzebował na przejechanie tego dystansu (ze stałą dopuszczalną prędkością maksymalną na odcinku) więcej czasu, niż trwa najdłuższy czas międzyzielony w programie sygnalizacji świetlnej;
- detektory dla pojazdów indywidualnych zbierają informacje na temat liczby pojazdów oczekujących przed skrzyżowaniem dla każdego wlotu;
- każdy pojazd transportu zbiorowego przejeżdżający przez skrzyżowanie wyposażony jest w automatyczny system zliczania pasażerów umożliwiający przesyłanie aktualnych danych o liczbie pasażerów w pojeździe w czasie rzeczywistym;
- każdy pojazd transportu zbiorowego przejeżdżający przez skrzyżowanie wyposażony jest w system komunikacji w czasie rzeczywistym ze sterownikiem sygnalizacji świetlnej;
- znane są charakterystyki zużycia paliwa lub energii elektrycznej dla każdego pojazdu przejeżdżającego przez skrzyżowanie;
- znane są charakterystyki uśrednione zużycia paliwa dla każdej uwzględnianej klasy pojazdów indywidualnych.

W przypadku pojazdów transportu zbiorowego zdecydowano się uzależnić koszt zatrzymania przed skrzyżowaniem od czasu zatrzymania i liczby pasażerów w pojeździe. Koszt zatrzymania przed skrzyżowaniem składa się z kosztu czasu oraz kosztu ponownego rozpędzenia pojazdu po zatrzymaniu (zużycie paliwa lub energii elektrycznej oraz inne koszty eksploatacyjne). Funkcja kosztu zatrzymania pojazdu transportu zbiorowego została zapisana w następujący sposób:

$$f(t_{tz}, np) = ((ttz + \max(t_m))/3600 * np * VOT_{tz}) + ZK_{tz}$$

gdzie:

ttz – czas zatrzymania pojazdu transportu zbiorowego [s],
$max(t_m)$ – maksymalny czas międzyzielony w cyklu sygnalizacji świetlnej dla analizowanego skrzyżowania [s],
np – liczba pasażerów w pojeździe [pas.],
VOT_{tz} – wartość czasu pasażera – transport zbiorowy [PLN/h],
ZK_{tz} – koszt eksploatacyjny ponownego rozpędzenia pojazdu po zatrzymaniu – transport zbiorowy [PLN].

W powyższej funkcji koszt eksploatacyjny ponownego rozpędzenia pojazdu po zatrzymaniu uzależniony jest od typu pojazdu [12]. Jeżeli wraz z informacją o liczbie pasażerów w pojeździe przesyłana byłaby także informacja o typie taboru, możliwe byłoby dokładniejsze określenie kosztów. W przypadku braku takiej informacji parametr ZK_{tz} należałoby wyliczyć na podstawie średniego kosztu dla całej eksploatowanej floty pojazdów.

Wartość czasu w powyższej funkcji podawana jest jako stała [8]. Wykonując odpowiednie badania ankietowe, możliwe byłoby sprawdzenie, czy dla pasażerów strata czasu jest tak samo postrzegana w różnych porach dnia. W przypadku uzyskania odpowiedzi od większości z badanych osób, że nie jest tak samo postrzegana, możliwe byłoby określenie wartości czasu, jako funkcji zależności od pory dnia.

Dla pojazdów transportu indywidualnego koszt zatrzymania przed skrzyżowaniem został uzależniony od czasu zatrzymania oraz liczby oczekujących na przejazd pojazdów. Podobnie jak w przypadku pojazdów transportu zbiorowego, koszt zatrzymania składa się z kosztu: straty czasu

oraz ponownego rozpędzenia pojazdów. Funkcja kosztu zatrzymania pojazdów indywidualnych została zapisana w następujący sposób:

$$g(tti, lp) = \sum_{i=1}^{n}((tti_i/3600 * lp_i * VOT_{ti}) + (ZK_{ti} * lp_i)$$

gdzie:

tti_i – czas oczekiwania na przejazd przez skrzyżowanie dla pojazdów w i-tej fazie cyklu sygnalizacji świetlnej [s],

lp_i – liczba pojazdów oczekujących na przejazd w i-tej fazie cyklu sygnalizacji świetlnej [poj.],

VOT_{ti} – wartość czasu kierującego pojazdem i pasażerów w pojeździe – transport indywidualny [PLN/h],

ZK_{ti} – koszt eksploatacyjny ponownego rozpędzenia pojazdu po zatrzymaniu – transport indywidualny [PLN].

Ze względu na charakter cyklu sygnalizacji świetlnej – kolejno wyświetlanych faz podjęto decyzje, aby koszty liczyć oddzielnie dla każdej fazy, ponieważ dla każdej z nich będzie inny czas oczekiwania na przejazd. Uwzględniana liczba pojazdów w funkcji to liczba pojazdów oczekujących w momencie detekcji nadjeżdżającego pojazdu transportu zbiorowego.

Koszt ponownego rozpędzenia pojazdu oraz wartość czasu określone zostały jako wartości stałe. W pierwszym przypadku koszt ten określony powinien być na podstawie kosztu średniego dla pojazdu ekwiwalentnego. W przypadku wartości czasu, podobnie jak dla transportu zbiorowego, w celu określenia jej zmienności w czasie należałoby przeprowadzić badania ankietowe wśród kierowców pojazdów indywidualnych.

Obliczenie obu funkcji kosztów umożliwiłoby określenie w chwili detekcji pojazdu transportu zbiorowego, czy pojazd otrzyma priorytet w przejeździe przez skrzyżowanie, czy będzie musiał się zatrzymać. W celu zminimalizowania czasu oczekiwania na sygnał zezwalający na przejazd sterownik sygnalizacji świetlnej powinien wykonywać obliczenia co sekundę, porównując wartości obu funkcji kosztów. W przypadku, gdyby wartość funkcji dla transportu zbiorowego była cały czas niższa niż dla transportu indywidualnego, faza dla transportu zbiorowego uruchamiana byłaby zgodnie z pierwotnym programem sygnalizacji świetlnej.

Podsumowanie

Przygotowana metoda nadawania priorytetu w przejeździe przez skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną dla pojazdów transportu zbiorowego, w oparciu o kryteria kosztów, liczbę pasażerów w pojeździe oraz liczbę pojazdów indywidualnych, umożliwia bardziej efektywne sterowanie ruchem drogowym pod względem kosztów społecznych transportu. Opracowane funkcje są jedynie bazą dla dalszych prac mających na celu opracowanie ogólnego algorytmu sterowania ruchem na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną z priorytetem dla pojazdów transportu zbiorowego.

W celu opracowania metody sterowania ruchem na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną z priorytetem dla transportu zbiorowego planowane jest podjęcie dalszych działań:

- opracowanie modelu symulacyjnego do testowania algorytmu,
- określenie na podstawie badań ankietowych postrzegania wartości czasu przez pasażerów i kierowców oraz określenie zależności pomiędzy postrzeganiem wartości czasu a godziną i dniem tygodnia,
- stworzenie alternatywnych funkcji kosztów oraz przetestowanie ich za pomocą modelu symulacyjnego,
- sprawdzenie możliwości przesyłania informacji zwrotnej przez sterownik sygnalizacji świetlnej w celu zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych poprzez zmniejszenie prędkości nadjeżdżającego pojazdu transportu zbiorowego [13].

Na podstawie przeprowadzonych prac można stwierdzić, że ze względu na postępującą degradację środowiska oraz próby minimalizowania strat energii niezbędne jest wprowadzanie rozwiązań, które umożliwią zmniejszenie łącznego zużycia energii w transporcie.

Literatura

1. Aleksandrowicz J., Piwowarczyk M., *Sposoby detekcji pojazdów transportu zbiorowego i ich funkcjonalność*, „Transport Miejski i Regionalny", 2016, nr 5.
2. Dyrekcja Generalna ds. Polityki Wewnętrznej, Parlament Europejski: Obliczanie kosztów zewnętrznych w sektorze transportu, 2009.
3. Pawłowska B., *Koszty zewnętrzne transportu w Polsce*, „Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska", 2018, nr 27 (1).
4. Burdzik R., Kabot M., Cieśla M., *Podział i internalizacja kosztów zewnętrznych transportu samochodowego,* „Logistyka – nauka", 2014, nr 4.
5. Kłos-Adamkiewicz Z., *Uogólniony koszt podróży na przykładzie wyboru komunikacji miejskiej i samochodu osobowego*, „Problemy Transportu i Logistyki", 2016, nr 3 (35).
6. Estache A., Rus de G., *Privatization and Regulation of Transport Infrastructure: Guidelines for Policymakers and Regulators*, Washington: The World Bank Institute, 2000.
7. Athira I.C., Muneera C.P., Krishnamurthy K., Anjaneyulu M.V., *Estimation of Value of Travel Time for Work Trips*, Transportation Research Procedia 17, 2016.
8. Szarata A., *Ocena efektywności funkcjonalnej parkingów przesiadkowych (P = R)*, praca doktorska, Kraków 2005.
9. Aleksandrowicz J., Starowicz W., *Automatyczne systemy zliczania pasażerów w miejskim transporcie zbiorowym,* „Transport Miejski i Regionalny", 2020, nr 6.
10. Aleksandrowicz J., *Przydatność automatycznych systemów zliczania pasażerów w celach predykcji popytu na usługi transportowe,* „Transport Miejski i Regionalny", 2018, nr 4.
11. Aleksandrowicz J., *Informowanie pasażerów o wolnych miejscach w pojazdach miejskiego transportu zbiorowego z wykorzystanie automatycznych systemów zliczania pasażerów*, „Transport Miejski i Regionalny", 2019, nr 8.
12. Aleksandrowicz J., *Narzędzia metodologii lean w procesach doskonalenia miejskiego transportu zbiorowego*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe", 2016, nr 12.
13. Aleksandrowicz J., Piwowarczyk M., *Architektura informacji o priorytecie dla prowadzących pojazdy*, „Transport Miejski i Regionalny", 2016, nr 5.

URSZULA DUDA-WIERTEL
dr inż. Politechnika Krakowska,
Katedra Systemów Transportowych,
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków,
e-mail: ududa@pk.edu.pl

Search traffic w obszarach z deficytem miejsc postojowych[1]

Streszczenie: Artykuł w całości poświęcono problematyce ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego (*search traffic*), pojawiającego się w obszarach z deficytem miejsc parkingowych, a którego najczęstszą przyczyną jest duża różnica pomiędzy popytem na parkowanie a podażą parkingową. W pracy przedstawiono wyniki wnikliwego przeglądu literatury: analizę definicji i interpretacji ruchu tego rodzaju, rozważania nad możliwymi czynnikami wpływającymi na jego występowanie i parametry oraz strategie realizowania tego poszukiwania, przegląd stosowanych za granicą metod badawczych, przykładów modelowania oraz stopnia uwzględnienia go w analizach różnego rodzaju. Odwołano się do wyników badań ruchu tego rodzaju przeprowadzonych w Krakowie, które pokazują możliwy udział *search traffic* w ruchu ogólnym – na tle wyników z miast zagranicznych. Zwrócono uwagę na uciążliwość przemieszczeń wykonywanych w ramach *search traffic* oraz kosztów, które generują.

Słowa kluczowe: ruch generowany poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego, parkowanie, polityka parkingowa.

Wprowadzenie

O deficycie miejsc postojowych mówi się często w obszarach śródmiejskich, kiedy z powodu niewystarczającej podaży parkingowej, która nie jest w stanie sprostać ciągłemu zapotrzebowaniu, bardzo trudno znaleźć wolne miejsce do zaparkowania pojazdu. Zapotrzebowanie to wynika w głównej mierze z dużej liczby punktów handlowych, usługowych czy innych miejsc użyteczności publicznej absorbujących ruch samochodów w podróżach zarówno obligatoryjnych, jak i fakultatywnych. Ograniczona przestrzeń tych obszarów nie mieści wystarczającej liczby stanowisk parkingowych, a te istniejące bardzo często zajmowane są przez jeden samochód przez bardzo długi czas.

Rozwiązania tego problemu poszukuje się na różne sposoby, w tym poprzez ogólne zwiększenie liczby lub wymuszenie bardziej intensywnego wykorzystania miejsc istniejących tak, aby większa liczba pojazdów w ciągu dnia mogła skorzystać z przestrzeni parkingowej. Duży potencjał dostrzega się także w ograniczeniu dostępu do miejsc parkingowych, co ma spowodować zmniejszenie popytu na parkowanie – atrakcyjność przestrzeni ze słabą dostępnością miejsc parkingowych jest niska z punktu widzenia użytkownika systemu transportowego realizującego podróż samochodem. Wyniki badań pokazują, że dostęp do wolnych miejsc parkingowych jest istotnym czynnikiem wpływającym na liczbę podróży wykonywanych samochodem do danego obszaru [1], [2].

Skutkiem działań mających na celu poprawę dostępności miejsc parkingowych może być m.in. tzw. ruch wzbudzony, czyli dodatkowa liczba podróży, które będą wykonywane do tych obszarów samochodem, ponieważ zyskają one dodatkową liczbę miejsc do parkowania. Osoby, które w sytuacji braku miejsc zapewne zrezygnowałyby z podróży, bądź wybrały transport zbiorowy, w sytuacji dobrej dostępności parkingowej częściej wybiorą samochód. Ograniczenie dostępu do miejsc parkingowych z kolei może spowodować zwiększenie ruchu przez *search traffic* – ruch związany wyłącznie z poszukiwaniem miejsca do zaparkowania pojazdu. Jest to ruch tworzony przez przemieszczenia kierowców szukających wolnego miejsca postojowego przy ulicy, które jest dla nich atrakcyjne z powodu bliskiej odległości do punktu docelowego podróży. Ruch ten nie jest więc związany z żadną konkretną motywacją, poza znalezieniem wolnego miejsca, co potęguje jego uciążliwość – nie byłby wykonywany, gdyby miejsca parkingowe były łatwo dostępne. To stwierdzenie prowadzi do założenia, że zwiększenie dostępności przestrzeni parkingowej może także (równolegle do zwiększenia ruchu generowanego większa rotacją pojazdów oraz pojawieniem się nowych podróży) ograniczyć ruch obserwowany na ulicach, poprzez zmniejszenie liczby samochodów przemieszczających się wyłącznie w poszukiwaniu wolnego miejsca postojowego.

Wątpliwości co do optymalnego kierunku działań, jaki powinien zostać podjęty w ramach zarządzania systemem parkingowym newralgicznych obszarów centrów miast, wywołują szerokie dyskusje. Niepewność co do efektów rozważanych zmian powoduje, że niezwykle istotnym jest prowadzenie badań i analiz parkowania uwzględniających wzajemne relacje parametrów parkowania oraz wielkości potoków ruchu w sieci drogowo-ulicznej, zwłaszcza w obszarach centrów miast. Ważna jest także świadomość możliwych konsekwencji ingerencji w bieżący sposób funkcjonowania systemu parkingowego. Zagadnienia pojawiania się ruchu wzbudzonego, jak również *search traffic* w polskich warunkach funkcjonowania systemów parkingowych miast są rzadko podejmowane w literaturze (krajowej). Niniejszy artykuł prezentuje szczegółowy przegląd literatury nt. ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego.

Search traffic – informacje podstawowe

Literatura nie podaje szczegółowej definicji ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca do pozostawienia samochodu. W publikacjach zagranicznych ruch ten określany jest mianem *search traffic* lub *cruising for parking*, przez co w języku polskim można spotkać się z określeniami: „ruch w poszukiwaniu miejsca postojowego", „krążenie"

[1] ©Transport Miejski i Regionalny, 2021.

w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego, czy też „ruch jałowy". Kwestie te nie są jednak poruszane w polskiej literaturze naukowej, a podane nazewnictwo pojawia się raczej w artykułach technicznych i publicystycznych, o tematyce ogólnej, związanej z parkowaniem [3], [4].

Według P. Bartera [5] i D. Shoupa [6] krążenie w poszukiwaniu miejsca postojowego jest powodowane przez zbyt dużą rozbieżność cen za parkowanie na parkingach wydzielonych (*off-street parking*) i miejscach postojowych przy ulicy (*on-street parking*) – podczas gdy ceny na parkingach wydzielonych są wysokie, a postój przy ulicy często bezpłatny. Odnosi się to głównie do warunków amerykańskich, gdzie liczba parkingów wydzielonych jest duża i dzięki temu (nie biorąc pod uwagę stawek za postój) stanowią one alternatywę dla miejsc postojowych przy ulicy. W takim przypadku, aby ograniczyć *search traffic*, wystarczyłoby ustanowić cenę za postój przy ulicy na tak wysokim poziomie (w stosunku do parkingów wydzielonych), żeby nie było opłacalnym poszukiwanie wolnego miejsca przy ulicy – co, w domyśle, miałoby wynikać z chęci zaoszczędzenia na kosztach postoju [6]. W warunkach polskich miejsca postojowe przy ulicy są o wiele bardziej atrakcyjne w porównaniu z miejscami na parkingach wydzielonych. Po pierwsze ze względu na bardziej korzystną dla kierowcy stawkę za postój (w przypadku, gdy parking wydzielony jest parkingiem prywatnym) i po drugie – ze względu na bliską odległość punktu docelowego podróży.

Merytoryczne kwestie związane z ruchem generowanym przez poszukiwanie wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu w warunkach polskich praktycznie nie były do tej pory poruszane w branżowej literaturze krajowej. Nie zidentyfikowano publikacji, która prezentowałaby wyniki badań prowadzonych wyłącznie w tym zakresie. Problem wpływu parkowania na warunki ruchu w przyległej sieci ulicznej pojawia się w publikacjach, ale dotyczy raczej wpływu pochodzącego od parkingów wielkopowierzchniowych, zlokalizowanych najczęściej przy dużych generatorach ruchu, jak centra handlowe [7], [8] czy też uciążliwości manewrów parkowania przykrawężnikowego dla ruchu pojazdów indywidualnych [9], lub autobusów poruszających się po wydzielonych pasach autobusowych [10].

Kwestie związane z szeroko pojętą relacją pomiędzy podażą miejsc parkingowych w danym obszarze lub jej zmianą a wielkością potoków ruchu pojazdów indywidualnych w sieci tego obszaru są poruszane, ale w sposób dość ogólny. Analizom poddaje się problematykę wpływu dostępności do infrastruktury parkingowej obszaru na ogólnie rozpatrywany podział zadań przewozowych, a konkretnie – na procentowy udział podróży wykonywanych samochodem indywidualnym w liczbie wszystkich podróży wykonywanych do danego obszaru. Liczba dostępnych miejsc postojowych u celu podróży jest jednym z czynników determinujących wybór samochodu jako środka transportu [1], [2], [11], tak więc poprawa dostępności do infrastruktury parkingowej, poprzez budowę nowych lub lepsze wykorzystanie istniejących miejsc postojowych i parkingów, jest przedstawiana jako czynnik wpływający na zwiększenie potoków ruchu w analizowanym obszarze. Badania prowadzone w tym aspekcie to głównie badania ankietowe, przeprowadzane z użytkownikami systemu transportowego. W ujęciu ekonomicznym parkowanie jest traktowane wyłącznie jako dodatkowy koszt podróży, przy czym kosztem parkowania jest koszt finansowy, ponoszony z tytułu opłaty za godzinę postoju w obszarze strefy płatnego parkowania lub na parkingu wydzielonym.

W publikacjach zagranicznych natomiast dyskusje związane z ruchem, który generowany jest wyłącznie koniecznością zaparkowania samochodu, pojawiają się częściej – właściwie od czasu popularyzacji podróży z wykorzystaniem indywidualnego samochodu osobowego. Prawdopodobnie pierwsza z prac, w których poruszono kwestię pojazdów krążących w poszukiwaniu wolnego miejsca, powstała w 1927 roku [6], [12]. Przeprowadzone wówczas badania wykazały, że w dwóch punktach pomiarowych zlokalizowanych w centralnej części Detroit, ruch pojazdów poszukujących miejsca do postoju stanowił odpowiednio 19% i 34%.

Interpretacja definicji ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego

Autorzy literatury zagranicznej zgodnie zwracają uwagę, że w obszarach miejskich, gdzie występują liczne problemy parkingowe, można zauważyć ruch generowany wyłącznie przez poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego (*search traffic*). Jest to potwierdzone licznymi badaniami prowadzonymi w tym zakresie, m.in. [6], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]. Problematyka analizowana jest w dwóch aspektach:

1. **Z punktu widzenia użytkownika** systemu transportowego: kierowcy samochodu, którego celem jest zaparkowanie pojazdu;
2. **Z punktu widzenia obserwatora** sytuacji ruchowej w analizowanej sieci ulicznej – zarządcy ruchu, zarządcy strefy płatnego parkowania, pozostałych uczestników ruchu.

Aspekty te różnicują wpływ tego procesu na: w podejściu pierwszym – indywidualne odczucia kierowcy, w podejściu drugim – warunki ruchu w sieci ulicznej obszaru.

W pierwszym podejściu, gdzie zagadnienie analizowane jest z punktu widzenia kierowcy, jako proces poszukiwania miejsca postojowego jest traktowany ostatni etap każdej jego podróży, która nie kończy się na rezerwowanym lub prywatnym (własnym) parkingu [20]. Znalezienie wolnego miejsca może okazać się bardzo łatwe i w efekcie praktycznie nieodczuwalne bądź też zajmuje określony czas. Rozpatrywana jest wówczas odczuwana uciążliwość tego procesu oraz analizowane są czynniki, które mogą mieć wpływ na decyzje kierowcy, związane z realizacją (bądź nie) poszukiwania miejsca (akceptowalna długość czasu poświęconego na poszukiwanie, wybierane trasy, warunki podjęcia decyzji o podjęciu poszukiwania lub rezygnacji z postoju itd.). Informacje uzyskane w rozważaniach prowadzonych pod tym kątem, analizuje się na potrzeby tworzenia modeli behawioralnych, decyzyj-

nych, uwzględniających indywidualne cechy i przyzwyczajenia kierowców [6], [21], [22], [23].

W drugim toku rozważań, w którym *search traffic* rozpatrywany jest z perspektywy zewnętrznego obserwatora, pod uwagę brany jest wpływ rzeczywistej liczby pojazdów realizujących poszukiwanie miejsca postojowego w danym obszarze na warunki ruchu w przyległej sieci ulicznej. Nie zdefiniowano jednak dotąd cech ruchu tego rodzaju w jednoznaczny sposób tak, aby było możliwym udzielenie odpowiedzi na pytanie: jak w potoku pojazdów wyróżnić samochody, które przemieszczają się wyłącznie w celu znalezienia miejsca postojowego?

Autorzy badań terenowych w różny sposób interpretują proces poszukiwania miejsca pod względem cech, dzięki którym z potoku pojazdów można wyróżnić samochody kierowców szukających wolnego stanowiska. W jednym z pierwszych badań *search traffic*, przeprowadzonym w 1927 roku w Detroit w Stanach Zjednoczonych, podczas zliczania pojazdów, jako krążące w poszukiwaniu miejsca zakwalifikowano samochody, które kilkukrotnie przekroczyły wyznaczony przekrój ulicy w przyjętych punktach pomiarowych [6]. W innym badaniu przeprowadzonym także w Stanach Zjednoczonych w Los Angeles przyjęto, że pojazdem poszukującym miejsca postojowego jest każdy pierwszy samochód, który zajmuje zwalniające się właśnie lub już/jeszcze wolne miejsce postojowe. W tym toku rozumowania samochody krążące w poszukiwaniu miejsca, przejeżdżając obok stanowiska, które aktualnie się zwalnia lub jest już wolne, korzystają z okazji i je zajmują. Pozostali – niezainteresowani – przejadą dalej obojętnie. W tym celu osoby prowadzące badanie swoim zachowaniem sugerowały pozostałym kierowcom, że zamierzają zwolnić zajmowane miejsce postojowe – obserwując tym samym, ile samochodów przejedzie obok zajętego (jeszcze) przez nich miejsca obojętnie oraz który z kolei samochód zatrzyma się w oczekiwaniu na zwolnienie miejsca. Na tej podstawie szacowany był udział pojazdów krążących w ogólnym potoku pojazdów obserwowanych na danej ulicy [6], [18]. Inne podejście, jako element wyróżniający pojazdy poszukujące wolnego miejsca postojowego, wskazuje przyjmowaną przez nie prędkość. Według I. Benensona, K. Martensa, S. Birfira i N. Levy'ego [24], [25] pojazdy te przemieszczają się z prędkością niższą niż podczas przejazdu tranzytowego. Według ich obserwacji prędkość ta wynosi średnio 12 km/h. Z kolei według badań przeprowadzonych przez D. Shoupa [6] w Los Angeles, prędkość pojazdów krążących wynosiła tam średnio 8–10 mph, co w przeliczeniu na jednostki europejskie daje wartości z przedziału 12,9–16,1 km/h.

Analizując zagadnienie z punktu widzenia obserwatora ruchu, problematycznym jest także zdefiniowanie konkretnego momentu rozpoczęcia procesu poszukiwania miejsca postojowego. L. Montini i inni [26] definiują ten moment w następujący sposób:

1. Rozpoczęcie poszukiwania miejsca następuje w momencie, kiedy kierowca mija ostateczny cel swojej podróży (jedzie w pierwszej kolejności do celu podróży i dopiero tam rozpoczyna poszukiwanie);
2. Rozpoczęcie poszukiwania miejsca następuje w momencie, kiedy kierowca mija pierwsze miejsce parkingowe, które mógłby zaakceptować, gdyby było wolne (kierowca jeszcze przed dojazdem do punktu docelowego myśli o konieczności zaparkowania samochodu).

Obie przedstawione definicje mają związek ze znajomością obszaru i dostępności przestrzeni parkingowej, która się w nim znajduje. Obie także mają swoje słabe strony w odniesieniu do analizy procesu z punktu widzenia obserwatora. Podejście pierwsze, w którym rozpoczęcie poszukiwania opiera się na lokalizacji celu podróży, nie uwzględnia sytuacji, w której kierowca zna obszar, do którego się udaje, spodziewa się (lub niekoniecznie) słabej dostępności miejsc parkingowych i rozpoczyna szukanie miejsca jeszcze przed dotarciem do punktu docelowego. Drugie podejście jest trudne do realizacji w analizach z punktu widzenia obserwatora, głównie przez silną zależność od indywidualnego podejścia kierowcy.

W związku z opisanymi ograniczeniami rozwiązaniem, które stosuje się najczęściej, jest założenie, że kierowca rozpoczyna poszukiwanie w określonej odległości od miejsca celu podróży – jeszcze zanim do niego dojedzie, a następnie, szukając miejsca, zbliża się do punktu docelowego. Obszar poszukiwań jest odwzorowany okręgiem (o promieniu określającym odległość od miejsca rozpoczęcia poszukiwania do punktu docelowego, mierzoną w linii prostej). Promień okręgu (odległość, w której rozpoczynają się poszukiwania) ustalany jest na podstawie wiedzy ekspertów bądź też (najczęściej) w oparciu o wyniki badań empirycznych.

Przytoczony przykład wskazuje, że proces poszukiwania miejsca przebiega w różny sposób, zależnie od przyjętej procedury. Podczas poszukiwania miejsca do zaparkowania pojazdu kierowca przyjmuje odpowiednią sobie strategię, według której realizuje cały proces od momentu podjęcia decyzji o zaparkowaniu do momentu zakończenia poszukiwania (z lub bez skutku, jakim jest pozostawienie samochodu na danym miejscu postojowym).

Strategie poszukiwania miejsca

Proces poszukiwania wolnego miejsca rozumiany jest przez badaczy na różne sposoby – w różny sposób również kierowcy to poszukiwanie realizują (co znacznie utrudnia proces jego identyfikacji z punktu widzenia obserwatora). Podsumowując i porządkując strategie wyboru miejsca parkowania, a następnie realizowania poszukiwania miejsca przy ulicy, należy podkreślić, że:

1. Wśród różnych możliwości pozostawienia samochodu, kierowca ma do wyboru:
   - miejsce postojowe przy ulicy (*on-street parking*, miejsce przykrawężnikowe),
   - miejsce na parkingu wydzielonym (*off-street parking*),
   - miejsce zarezerwowane (dla klientów/mieszkańców/itp.) oraz
   - miejsce poza wyznaczoną powierzchnią parkingową (co do zasady – nielegalne).

2. Wybór każdego z tych miejsc ma z punktu widzenia kierowcy szereg wad i zalet:
   - miejsce postojowe przy ulicy – z reguły jest płatne, zlokalizowane w miarę blisko punktu docelowego (bliżej niż miejsce na parkingu wydzielonym, czasem bezpośrednio obok celu podróży),
   - miejsce na parkingu wydzielonym – z reguły jest płatne i często droższe niż miejsce przy ulicy, zlokalizowane w dosyć dużej odległości od punktu docelowego,
   - miejsce zarezerwowane, w zależności od statusu kierowcy – jest bezpłatne, blisko punktu docelowego lub nielegalne, co wiąże się z ewentualnością poniesienia kary,
   - miejsce poza wyznaczoną powierzchnią parkingową – jest przede wszystkim nielegalne, co wiąże się z ewentualnością poniesienia kary.
3. W pierwszej kolejności kierowca podejmuje decyzję o parkowaniu w określonym miejscu (wg jednego z czterech wymienionych wariantów) – wybór miejsca postojowego przy ulicy jest równoznaczny z koniecznością podjęcia krążenia w celu znalezienia wolnego stanowiska.
4. Podejmując decyzję o pozostawieniu samochodu na miejscu przykrawężnikowym, co bardzo często jest jednoznaczne z krążeniem w poszukiwaniu tego miejsca, kierowca przyjmuje pewną strategię tego poszukiwania:
   - jedzie bezpośrednio do celu podróży i wtedy zaczyna szukać miejsca do zaparkowania (krążyć), lub
   - jeździ (krąży) ulicami, szukając wolnego miejsca jeszcze przed osiągnięciem punktu docelowego.
5. Decyzją kolejnego szczebla jest wybór trasy przejazdu, którą realizowane jest poszukiwanie – w zależności od wariantu wybranego w poprzednim punkcie kierowca najczęściej:
   - zatacza coraz większe okręgi wokół punktu docelowego, stopniowo się oddalając [16], lub
   - rozpoczyna poszukiwanie w określonej odległości od punktu docelowego i, szukając miejsca, przemieszcza się jego kierunku, wybierając zawsze ścieżkę najkrótszą [24].
6. Ostatnim punktem w hierarchii jest zaparkowanie pojazdu na znalezionym, wolnym miejscu postojowym, rezygnacja z wybranego wcześniej miejsca parkowania (decyzja o parkowaniu na parkingu wydzielonym, miejscu nielegalnym itd.) lub całkowita rezygnacja z poszukiwania, a tym samym z postoju.

W tym miejscu należy podkreślić, że pojęcie „poszukiwania miejsca parkingowego" w zagranicznych publikacjach stosowane jest najczęściej do określenia przemieszczeń w poszukiwaniu wolnego miejsca do zaparkowania przy ulicy (krążenia), ale także niejednokrotnie używa się go w znaczeniu określającym rozważanie zaparkowania w różnych miejscach, w tym przy ulicy, na parkingu wydzielonym, również na miejscu nielegalnym.

Przegląd stanu badań na temat *search traffic*

Według przeprowadzonego przeglądu literatury wnioski w kwestiach związanych z ruchem generowanym poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego formułowane są albo wprost – na podstawie przeprowadzonych badań empirycznych, albo na podstawie modeli analitycznych i wyników symulacji procesu parkowania (który obejmuje – bądź nie – także etap wyszukiwania wolnego miejsca). J. Cao i M. Menendez [27] wprowadziły prosty podział, wyodrębniający trzy podejścia wykorzystywane w szacowaniu parametrów związanych z parkowaniem: podejście empiryczne, analityczne i z użyciem narzędzi symulacyjnych opartych na modelowaniu agentowym. Nie określono jednoznacznie, które z podejść jest bardziej adekwatne – każde z nich ma swoje ograniczenia. Według R. Arnotta i P. Wiliamsa [28] oraz J. Cao i M. Menendez [27] głównym ograniczeniem bazowania wyłącznie na wynikach badań empirycznych są przede wszystkim trudności metodyczne, a w szczególności:

- niemożliwość dokładnego odróżnienia pojazdów poszukujących wolnego miejsca postojowego od innych uczestników ruchu – co już na wstępie jest przyczyną błędnych interpretacji wyników – bądź też
- silna zależność od lokalnych uwarunkowań, które trudno uogólnić.

W innych pracach pod dyskusję poddano rozważania teoretyczne ze względu na złożoną naturę zjawiska oraz jego silną zależność od indywidualnego postrzegania kierowcy [17].

Badania empiryczne – pomiary ruchu

Analogicznie do podejścia i definicji, również badania ruchu generowanego przez poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego prowadzone są w kilku wersjach:

- Przede wszystkim, są to **wywiady prowadzone bezpośrednio z kierowcami** samochodów w dwóch wariantach: badane są zagadnienia związane z zachowaniami kierowców, dotyczącymi parkowania pojazdu (najczęściej przyjmowana strategia poszukiwania miejsca postojowego, zmiany przyjmowanej strategii w zależności od charakteru bieżącej podróży, sposób wykorzystania różnego rodzaju informacji dotyczących sytuacji parkingowej w obszarze docelowym, skłonność do pozostawiania pojazdu na miejscach o ograniczonej dostępności, np. zarezerwowanych dla mieszkańców czy osób niepełnosprawnych) oraz pozyskiwanie danych dotyczących ostatnio wykonanych podróży [6], [16], [17], [29], [30], [31].
- Drugi typ badań polega na **obserwacjach ruchu** w sieci, z próbą wyróżnienia pojazdów krążących – dążą one do określenia wielkości i parametrów tego rodzaju ruchu – jego udziału w ruchu ogólnym, charakterystyk wykonywanych podróży (stracony czas, przebyty dystans itp.) [6], [12], [32], [33]

Metodyka prowadzonych badań, w zależności od przyjętego źródła informacji, przybiera różne formy. W obszarze dotyczącym zachowań kierowców oraz ich subiektywnej relacji z etapu podróży będącego poszukiwaniem miejsca postojowego prowadzi się:

- **badania ankietowe z kierowcami**, przeprowadzane najczęściej tuż po zakończeniu podróży (na miejscu postojowym lub parkingu) lub za pośrednictwem tzw. dzienniczków podróży;
- **badania z wykorzystaniem techniki wideorejestracji**, z kamerami umieszczonymi wewnątrz pojazdu – dzięki kamerom rejestrującym zachowania kierowców (ich gesty, ruchy, mimikę) podejmuje się próbę ustalenia momentu rozpoczęcia poszukiwania miejsca do zaparkowania [23];
- **badania wykorzystujące symulatory komputerowe** – uczestnicy biorący udział w badaniu mają za zadanie zaparkować samochód i dotrzeć do określonego celu podróży, a poszukiwanie miejsca odbywa się w dokładnie odwzorowanej wirtualnej rzeczywistości, z zakodowanymi atrybutami odpowiadającymi realnym uwarunkowaniom określonego obszaru analizy (parametry ulicy, pojazdów, uwarunkowania parkingowe, otoczenie). Ich zachowania i podejmowane decyzje są rejestrowane, a na ich podstawie wyciągane są wnioski dotyczące zachowań kierowców związanych z procesem parkowania pojazdów [19], [24].

W obszarze dotyczącym parametrów podróży związanej z poszukiwaniem wolnego stanowiska do zaparkowania pojazdu prowadzi się [6], [19], [20], [21], [36]:

- **śledzenie pojazdów** – metoda polegająca na śledzeniu losowo wybranych pojazdów od momentu pojawienia się ich w badanym obszarze do momentu zaparkowania pojazdu;
- **obserwacje** w poligonie badawczym – badania podróży pojazdów za pomocą kamer wideo rejestrujących ruch pojazdów z powietrza (drony);
- badanie polegające na **rejestrowaniu i dopasowywaniu numerów tablic rejestracyjnych** pojazdów, pojawiających się w kolejnych punktach pomiarowych;
- **park-and-visit** – badania polegające na kilkukrotnych przejazdach z zadanego punktu źródłowego do zadanego punktu docelowego z jednoczesnym rejestrowaniem przebytej odległości, czasu poszukiwania miejsca postojowego, czasu dojścia do ostatecznego celu podróży;
- **obserwacje** pojazdów kolejno zajmujących zwolnione miejsce postojowe;
- **wykorzystanie urządzeń GPS** do śledzenia i rejestrowania parametrów podróży pojazdów.

Najistotniejsze informacje, które są możliwe do uzyskania z zastosowaniem wymienionych metod pomiaru, to:

- czas tracony na poszukiwanie miejsca postojowego;
- udział pojazdów poszukujących miejsca postojowego w ruchu ogólnym;
- odległość pokonana w wyniku poszukiwania miejsca postojowego;
- maksymalna akceptowalna odległość pozostawienia zaparkowanego samochodu w stosunku do punktu docelowego podróży;
- odległość (od punktu docelowego) miejsca rozpoczęcia poszukiwania miejsca postojowego;
- czas, po którym kierowca rezygnuje z poszukiwania miejsca przy ulicy i udaje się na parking wydzielony;
- czas, po którym kierowca rezygnuje z danego punktu docelowego z powodu niemożliwości zaparkowania pojazdu;
- czynniki, które powodują, że kierowca decyduje się na poszukiwanie miejsca postojowego przy ulicy (lub na parkingu wydzielonym).

Najważniejsze z nich (najczęściej badane) to czas tracony na poszukiwanie miejsca postojowego oraz udział pojazdów poszukujących miejsca postojowego w ruchu ogólnym.

Wraz z rozwojem nauki i techniki do analiz *search traffic* stosowane są coraz bardziej zaawansowane narzędzia, wykorzystujące techniki m.in. geokodowania, lokalizowania oraz szeroko pojętej symulacji komputerowej. Nie wskazano dotychczas metody, która w kwestii badań nad ruchem generowanym przez poszukiwanie wolnego miejsca byłaby najbardziej odpowiednia – każda z nich ma swoje wady i ograniczenia.

Najistotniejszą determinantą wyboru danej metody pomiaru ruchu generowanego poszukiwaniem miejsca do zaparkowania wydaje się być oczekiwany efekt badania. Dodatkowo pod uwagę należy brać koszt oraz niedokładność otrzymywanych wyników powodowane przez dobraną metodę – np. jeden z najważniejszych wskaźników badanych w ramach *search traffic*, którym jest czas tracony na poszukiwanie wolnego miejsca postojowego, może być badany za pomocą ankietowania lub obserwacji pojazdów przemieszczających się w sieci ulicznej danego obszaru. W przypadku obu tych metod wyniki obarczone są błędem wynikającym odpowiednio z:

- w badaniu ankietowym – subiektywnej oceny czasu krążenia przez kierowcę samochodu (badania dowodzą, że długość czasu traconego odczuwana przez użytkowników systemu transportowego w niekomfortowych dla niego warunkach jest przeszacowywana w stosunku do straty realnej [37]. Dodatkowo kierowca niespodziewający się pytania o czas szukania miejsca nie rejestruje go w świadomości, co może zaburzyć racjonalną ocenę długości tego czasu),
- w badaniu polegającym na obserwacji – nieznanego momentu rozpoczęcia poszukiwania wolnego miejsca parkingowego przez kierowcę samochodu.

W przypadku badań obserwacyjnych dodatkowym utrudnieniem jest wspomniana wcześniej trudność w wyróżnieniu wśród pojazdów przemieszczających się w sieci ulicznej obszaru samochodów, które poszukują wolnego miejsca

do zaparkowania. Udział w ruchu tych pojazdów nie jest natomiast możliwy do uzyskania z badań ankietowych. Te z kolei są natomiast jedynym źródłem wiedzy o indywidualnych wyborach użytkowników systemu transportowego.

Modele procesów parkowania

Według przytoczonego wcześniej przez J. Cao i M. Mendeza prostego wyszczególnienia podejść do analizowania procesu parkowania i poszukiwania wolnego miejsca parkingowego [27], poza podejściem empirycznym, wyróżnić można także metody modelowania tego procesu: analityczne i symulacyjne. Literatura podaje wiele różnych zestawień opisujących podejścia do modelowania tego zagadnienia. Najbardziej szczegółowy ich opis udostępnia W. Young [38]. Porządkuje on wszystkie kwestie związane z analizą procesu parkowania w różnym ujęciu skali sieci transportowej, a także podkreśla różnorodność podejść do analizy tego zagadnienia. W sposób szczególny na wybrane trzy podejścia, spośród wszystkich opisanych przez W. Younga [38], zwracają uwagę F. Laurent i H. Boujnah [39]. Wyróżniają oni następujące zestawienie:

- modele wyboru konkretnego rodzaju parkingu [21],
- modele wyboru parkingu, rozpatrywane w kontekście wyboru trasy dojazdu do niego, co w efekcie przekłada się na obciążenie sieci ulicznej obszaru [40], [41], oraz
- modele skupiające uwagę na etapie krążenia w poszukiwaniu wolnego miejsca postojowego [24], [42].

Można zauważyć, że podział ten wyróżnia poszczególne, najistotniejsze etapy podróży wykonywanej samochodem (związane z parkowaniem): decyzja o miejscu (sposobie) parkowania, wybór trasy z punktu źródłowego do miejsca parkowania i poszukiwanie w sytuacji braku wolnych stanowisk. Warto zauważyć, że ujęcie pierwsze to ujęcie raczej behawioralne, skupiające się na indywidualnych decyzjach użytkownika, a tylko drugi i trzeci sposób analizowania procesu parkowania wyróżnia poszukiwanie wolnego miejsca jako osobny element analizy. Tylko w trzecim jest on elementem dominującym.

Analizując to zestawienie, należy podkreślić, że opracowane dotąd modele parkowania często nakierowane są na jeden z wymienionych obszarów, ale równocześnie, pośrednio lub bezpośrednio, dotykają także innych problemów. Jest to spowodowane złożonością procesu parkowania i jego zależnością od czynników indywidualnych, ale także przestrzennych. W efekcie trudno jest jednoznacznie zakwalifikować konkretny model do jednej z wymienionych kategorii. W związku z tym, biorąc równocześnie pod uwagę przytoczony podział tematyczny, rozwijane do tej pory modele procesu parkowania porządkować można wg innego schematu, zaproponowanego przez K. Martensa, I. Benensona i S. Birfira [44]. Podział ten grupuje modele w kategoriach związanych ze sposobem prowadzenia analizy zagadnienia.

Pierwsza grupa to modele matematyczne, oparte albo na preferencjach kierowców (ustalanych podczas badań empirycznych) – które następnie przekładane są na ich decyzje podejmowane podczas parkowania albo bazujące na ekonomicznej opłacalności skutków decyzji podejmowanych przez kierowców. Druga grupa to modele sieciowe – realizowane w dokładnie odwzorowanym przestrzennie obszarze analizy: podaż jest odzwierciedlona siecią ulic, powierzchnią parkingową oraz zabudową o konkretnej funkcji. Każdemu ze zdefiniowanych elementów przypisywane są atrybuty: ulicom przypisuje się pewną przepustowość, określa się dozwoloną prędkość jazdy itp. Miejsca postojowe w konkretnej liczbie mogą być usytuowane przy ulicy (*on-street parking*) lub poza nią w formie parkingów wydzielonych (*off-street parking*). Często przypisywane są im również reguły określające różne ograniczenia postoju: czasowe, dla rozmaitych pojazdów – np. elektrycznych, dla mieszkańców, klientów oraz konkretną cenę za godzinę postoju lub jej brak. Zabudowa ma określoną funkcję i powierzchnię. Przypisuje się jej odpowiednią liczbę osób mieszkających w niej, bądź liczbę pracujących pracowników, czy odwiedzających klientów, wg pełnionej funkcji. Popyt na parkowanie wyrażony jest populacją kierowców o określonych wzorcach zachowań. Na podstawie wszystkich zdefiniowanych parametrów sieci, w kolejnych krokach prowadzona jest symulacja procesów parkowania.

Analizując podział przyjęty przez K. Martensa, I. Benensona i S. Birfira [44], należy uzupełnić opis obydwu wyróżnionych grup modeli parkowania. Grupa modeli niewymagających przestrzennego odwzorowania sieci transportowej dzielona jest na modele natury statycznej i dynamicznej. Modele sieciowe z kolei, ze względu na zakres analizowanej przestrzeni, można podzielić na:

- modele w skali mikro – ograniczające analizę do wycinka sieci ulicznej i skupiające uwagę na samym procesie parkowania [24], [45], [46], [47],
- modele w skali makro – gdzie w obszar analizy wchodzi często całe miasto, a analizie poddawany jest ruch pojazdów w szerszym przedziale czasowym. Pod uwagę brane są wszystkie podróże uczestników ruchu odbywane w ciągu dnia, często realizowane różnymi środkami transportu, a parkowanie jest elementem towarzyszącym realizowaniu podróży samochodem [42], [48], [49], [50].

Biorąc pod uwagę narzędzie, za pomocą którego dany model można aplikować, podział jest następujący:

- modele tworzone od podstaw jako osobne, dedykowane aplikacje [24], [42], [44], [46], [51], oraz
- modele będące rozwinięciem istniejących, wielozadaniowych narzędzi do symulowania ruchu [48], [50].

Analizując zakres merytoryczny symulacji, wprowadzić należy również podział na:

- modele, w których analizowany jest cały proces parkowania, wraz z procesem poszukiwania miejsca postojowego – w efekcie możliwe jest ustalenie związa-

nych z tym parametrów, np. czasu traconego na to poszukiwanie (nie we wszystkich tworzonych modelach proces parkowania uwzględniany jest kompleksowo, włącznie z procesem poszukiwania wolnego miejsca do zaparkowania) [24], [42] oraz
- modele, w których proces parkowania ogranicza się jedynie do wyboru miejsca postojowego, często w różnych wariantach: płatnego lub bezpłatnego, przy ulicy lub na parkingu wydzielonym itp. [50].

Analizując opublikowane prace w tym zakresie, należy zauważyć, że wśród modeli sieciowych wyróżnić można zarówno takie, w których sieć ulic obszaru, zabudowania i podaż parkingowa są odwzorowane schematycznie lub takie, w których odwzorowanie to jest zrealizowane na bardzo wysokim poziomie szczegółowości. Często w tym celu wykorzystuje się Systemy Informacji Geograficznej (ang. *Geographical Information Systems* – GIS), a same modele tworzone są w formie aplikacji – dedykowanych programów do symulacji komputerowych.

Istota prowadzenia badań nad *search traffic* – podsumowanie

W Polsce do tej pory nie prowadzono badań nad ruchem generowanym poszukiwaniem wolnego miejsca do parkowania. Pierwsze badania zostały zrealizowane w ramach pracy doktorskiej [52]. Ich pierwsze wyniki, wskazujące szacowny udział *search traffic* w ruchu ogólnym obszaru śródmieścia Krakowa (rejon ul. Szlak), a także wyniki badań ankietowych z kierowcami parkującymi w tym obszarze na miejscach przy ulicy opisano w artykule [53]. Zestawiono w nim również wyniki badań prowadzonych za granicą. Zestawienie to, wraz z wynikami z Krakowa, wskazuje, że szacowana wielkość *search traffic* może być bardzo zróżnicowana. W Krakowie udział przemieszczeń w poszukiwaniu miejsca parkingowego w ruchu ogólnym oscylował w dniu badania w okolicach 8–10%, podczas gdy wyniki z innych miast (zagranicznych) wskazywały udział sięgający nawet 70%. Od samej wielkości tego ruchu bardziej jednak istotne są koszty, które generuje. Są one ponoszone zarówno przez samego kierowcę, jak również pozostałych uczestników ruchu, którzy odczuwają skutki zatłoczenia wywołanego m.in. zwiększeniem liczby pojazdów poszukujących wolnego miejsca do zaparkowania. Artykuł [53] podaje szacunkowe koszty wewnętrzne oraz zewnętrzne generowane przez *search traffic*, oszacowane na podstawie wyników uzyskanych z badania *search traffic* przeprowadzonego w Krakowie. Pomimo że są to koszty szacunkowe, określone przy pewnych założeniach, dobrze pokazują poziom strat ponoszonych na skutek tych przemieszczeń – szczególnie przeliczając koszty jednostkowe na wszystkich użytkowników systemu transportowego w skali roboczego tygodnia, miesiąca lub roku. Wskazują także skalę oszczędności, którą można osiągnąć, eliminując lub choćby zmniejszając liczbę samochodów przemieszczających się tylko i wyłącznie w celu znalezienia wolnego miejsca parkingowego po ulicach śródmieścia.

Poruszenie tematyki ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego odgrywa istotna rolę w odpowiedzi na pytanie o pożądany kierunek prowadzenia polityki parkingowej obszarów śródmieścia – w sytuacji, gdy wciąż nie wiadomo, czy ograniczenie dostępu do miejsc postojowych zmniejszy atrakcyjność tych obszarów pod kątem podróży samochodem, czy, przeciwnie, spowoduje wzrost ruchu pojazdów przez zjawisko poszukiwania wolnego miejsca parkingowego. Świadomość możliwych konsekwencji różnego rodzaju ingerencji w bieżący sposób funkcjonowania systemu parkingowego pozwala na lepsze planowanie i niejednokrotnie zwiększa szanse na powodzenie zamierzonych działań.

Literatura

1. Ciastoń-Ciulkin A., Nosal K., *Hierarchizacja czynników mających wpływ na wybór środka podróży na przykładzie Krakowa*, „Transport Miejski i Regionalny", nr 3, 2014.
2. Sierpiński G., *Zachowania komunikacyjne osób podróżujących a wybór środka transportu w mieście*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, z. 84, 2012.
3. Strona internetowa: www.edroga.pl: *Systemy naprowadzania na parkingi w miastach*, Przegląd systemów naprowadzania na miejsca parkingowe przeprowadzony przez Piotra Krukowskiego z firmy Qumak podczas VI Polskiego Kongresu ITS – Warszawa, 13–14 maja 2013.
4. Strona internetowa: www.parkianzer.com: *Polska parkuje przy pracy, Część 1: parkingowi szczęściarze i skazańcy*. Raport z badań listopad 2017–styczeń 2018.
5. Barter P., *On-Street Parking Management*, An International Toolkit, Sustainable Urban Transport Technical Document #14, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development
6. Shoup D., *The high cost of free parking*, American Planning Association, Planners Press, Chicago 2011.
7. Gaca S., *Parkingi centrów handlowych – charakterystyka ruchowa i powiązanie z układem komunikacyjnym*, Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Seria: Materiały konferencyjne , nr 61, 1998.
8. Parkitny W., *Postrzeganie przez kierowców kongestii ruchu w pobliżu dużych parkingów*, Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Seria: Materiały konferencyjne z konferencji Polityka parkingowa w miastach, nr 1(100), 2013.
9. Żochowska R., Karoń G., *Przegląd literatury na temat zjawiska kongestii i zakłóceń ruchu w systemie transportowym miasta w aspekcie modelowania podróży*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, Seria: Materiały Konferencyjne, nr 2(98), 2012.
10. Bauer M., *Pasy autobusowe a strefa płatnego parkowania przykrawężnikowego – przypadek krakowski*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, nr 1(100), 2013.
11. Birr K., *Modelowanie podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych*, Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2018.
12. Simpson H.S., *Downtown Storage Garages*, The Annals of the American Academy of Political and Social Science, Vol. 133, Planning for City Traffic, 1927.
13. Belloche S., *On-street parking search time modeling and validation with survey-based data*, Transportation Research Procedia 6, 2015.

14. Ben-Elia E., Levy N., Benenson I., Ashkenazi S., *Serious game-based study of urban parking dynamics*, Conference paper, 201.5
15. Brooke S., Ison S., Quddus M., *On-street parking search: A UK local authority perspective*, The Journal of Transport and Land use, Vol. 10 No. 1, 2017.
16. Gantelet E., Lefauconnier A., *The time looking for a parking space: strategies, associated nuisances and stakes of parking management in France*, Association for European Transport and contributors, 2006.
17. Lee J.B., Agdas D., Baker D., *New Empirical Evidence on Cruising for On Street Parking, a Brisbane Case Study*, Australasian Transport Research Forum 2016 Proceedings, Melbourne 2016.
18. *Parking in the city*, Praca zbiorowa pod redakcją Shoup D., A planners Press Book, 2018.
19. Shoup D., *Cruising for parking*, Transport Policy 13, 2006.
20. Weinberger R., Millard-Ball A., Hampshire R.C., *Parking Search Caused Congestion: Where's all the fuss?,* Transportation Research Board, 2017.
21. Axhausen K.W., Polak J.W., *Parking search behavior: a review of current research and future prospects*, Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford 1990.
22. Brooke S., Ison S., Quddus M., *On-Street Parking Search: a review and future research direction*, Transportation Research Board.
23. Hampshire R.C., Jordon D., Akinbola O., Richardson K., Weinberger R., Millard-Ball A., Karlin-Resnik J., *An analysis of parking search behavior using video from naturalistic driving*, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2017.
24. Benenson I., Martens K., Birfir S., *PARKAGENT: An agent – based model of parking in the city*, Computers, Environment and Urban Systems, 32, 2008.
25. Levy N., Benenson I., Martens K., *Exploring cruising using agent-based and analytical models of parking*, Transportmetrica, 2012.
26. Montini L., Horni A., Rieser-Schussler R., Axhausen K.W., *Searching for parking in GPS data*, Travel Behaviour Research: Current Foundations, Future Prospects, 13th International Conference on Travel Behaviour Research, Toronto 2012.
27. Cao J., Menendez M., *A parking-state-based transition matrix of traffic on urban networks*, Transportation Research Procedia 7, 2015.
28. Arnott R., Williams P., *Cruising for parking around a circle*, 2016.
29. Assemi B., Baker D., Paz A., *Searching for On-Street Parking: An Empirical Investigation of the Factors influencing Cruise Time*, Pre-proof, Parking Policy, 2020.
30. Axhausen K.W., Polak J.W., *The role of parking search strategies in understanding parking behavior*, Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford 1989.
31. van Ommeren J., N., Wentink D., Rietveld P., *Empirical evidence on cruising for parking*, Transportation Research Part A 46, 2012.
32. van der Waerden P., Timmermans H., van Hove L., *GPS data and car drivers' parking behavior in the City of Turnhout, Belgium*, Geoinformatics for intelligent transportation, Kluwer Academic Publishers, 2015.
33. Zhu Y., Ye X., Chen J., Yan X., Wang T., *Impact of Cruising for Parking on Travel Time of Traffic Flow*, Sustainability, MDPI, Open Access Journal, vol. 12(8), 2020.
34. Benenson I., Elia E.B., Medvedev E., Ashkenazi S., Levy N., *Serious game-based study of urban parking dynamics*, Conference paper, XIII NECTAR International Conference, Ann Arbor, 2015.
35. Bonsall P., Palmer I., *Modelling drivers' car parking behavior using data from a travel choice symulator*, Transportation Research Part C 12, 2004.
36. King D.A., *Estimating environmental and congestion effects from cruising for parking*, Transportation Research Board, 2019.
37. Rudnicki A., *Jakość komunikacji miejskiej*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału SITK w Krakowie, Seria: Monografie Nr 5 (Zeszyt 71), Kraków 1999.
38. Young W., *Modeling parking* in: Hensher D.A., Kenneth J.B., *Handbook of transport modeling*, Emerald Publishing Limited, United Kingdom, 2007.
39. Leurent F., Boujnah H., *Traffic equilibrium in a network model of parking and route choice, with search circuits and cruising flows*, Procedia – Social and Behavioral Sciences, 2012.
40. Gallo M., D'Acierno L., Montella B., *A multilayer model to simulate cruising for parking in urban areas*, Transport Policy 18, 2011.
41. Lam W.H.K., Li Z., Huang H., Wong S.C., *Modelling time-dependent travel choice problems in road networks with multiple user classes and multiple parking facilities*, Transportation Research Part B 40, 2006.
42. Steenberghen T., Dieussaert T., Maerivoet S., and Spitaels K., *SUSTAPARK: An Agent-based Model for Simulating Parking Search,* URISA Journal, Vol. 24, No. 1, 2012.
43. Chen J., Liu H., Mei Z., Wang W., *Modified Motor Vehicles Travel Speed Models on the Basis of Curb Parking Setting Method Under Mixed Traffic Flow*, Transportation Research Board, 2008.
44. Martens K., Benenson I., Birfir S., *Evaluating urban parking policies using an agent-based model of driver parking behavior*, Transportation Research Board, 2008.
45. Levy N., Benenson I., *GIS-based method for assessing city parking patterns*, Journal of Parking Geography 46, 2015.
46. Martens K., Benenson I., *Evaluating urban parking policies with agent-based model of driver parking behavior*, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2008.
47. Vo T.T.A., van der Waerden, Wets G., *Micro-simulation of car drivers' movements at parking lots*, Procedia Engineering 142, 2016 .
48. Bischoff J., Nagel K., *Integrating explicit parking search into a transport simulation*, Procedia Computer Science 109C, 2017.
49. Bisseling M., *Evaluating SimPark as a parking policy analysis tool*, Submitted in partial fullfillment for the degree of master of science, Master Information Studies, Faculty of Science University of Amsterdam, 2019.
50. Waraich R.A., Axhausen K.W., *Agent-based parking choice model*, Transportation Research Record Journal of the Tranpsortation Research Board, December 2012.
51. Spitaels K., Maerivoet S., De Ceuster G., Nijs G., Clette C., Lannoy P., Dieussaert K., Aerts K., Steenberghen T., *Optimising price and location of parking in citiwes under a sustainability constrant „SUSTAPARK" – Final Report*, Science for a sustainable development, Transport and Mobility, SD/TM/07.
52. Duda-Wiertel U., *Wpływ niedoboru miejsc parkingowych w strefie płatnego parkowania na natężenie ruchu samochodowego powodowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego*, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2020.
53. Duda-Wiertel U., *Konsekwencje zmiany dostępności przestrzeni parkingowej we wrażliwych obszarach centrów miast*, „Transport Miejski i Regionalny", nr 7, 2018.

Doktoraty

Mgr inż. Urszula Duda-Wiertel – na podstawie rozprawy: „Wpływ niedoboru miejsc parkingowych w strefie płatnego parkowania na natężenie ruchu samochodowego powodowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego”

Praca doktorska została napisana na Wydziale Inżynierii Lądowej w Politechnice Krakowskiej pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Andrzeja Szaraty. Recenzentami pracy byli: dr hab. inż. Grzegorz Karoń, prof. Politechniki Śląskiej i dr hab. inż. Mariusz Izdebski, prof. Politechniki Warszawskiej. Obrona odbyła się w dniu 16 lutego 2021 roku. Rada Naukowa Wydziału Inżynierii Lądowej zatwierdziła stopień doktora w dniu 24 marca 2021 roku.

Głównym celem pracy było określenie związku stopnia efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowych w obszarach miejskich z wielkością ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w tych obszarach (ang.: *search traffic*), przy uprzednim wypracowaniu praktycznej metody kwantyfikowania tej efektywności oraz określania warunków parkowania w danym obszarze.

W śródmieściu, gdzie duża liczba punktów handlowych, usługowych czy miejsc pracy i nauki generuje popyt na parkowanie, często obserwowany jest niedobór miejsc postojowych. Znaczna część podróży do centrów miast wciąż odbywana jest własnym samochodem, a istniejąca podaż miejsc parkingowych nie jest w stanie sprostać zapotrzebowaniu, przez co bardzo często znalezienie wolnego miejsca parkingowego przy ulicy (w bliskiej odległości celu podróży) stanowi w tych lokalizacjach spory problem. Poza uciążliwością wynikającą z braku możliwości zaparkowania pojazdu, w sytuacji deficytu pojawia się dodatkowy niekorzystny efekt w postaci zwiększenia ruchu pojazdów poprzez przemieszczenia generowane poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego, czyli tzw. *search traffic*. Stanowi on wówczas jedną ze składowych ruchu obserwowanego w sieci ulicznej danego obszaru.

Polityka parkingowa miast kieruje działania zarządców systemu transportowego w stronę ograniczenia liczby miejsc parkingowych lub dostępu do nich w obszarach śródmiejskich, jako jeden ze sposobów na ograniczenie ruchu. Istotnym jest więc sprawdzenie, czy tego rodzaju działania nie spowodują zwiększenia liczby pojazdów, które, poszukując miejsca do parkowania, będą dodatkowym obciążeniem dla ruchu w tych obszarach. Zwiększenie dostępności miejsc parkingowych z kolei (utworzenie całkiem nowych parkingów lub wymuszenie bardziej intensywnego niż obecnie wykorzystania istniejących miejsc parkingowych – tak, aby większa liczba kierowców mogła w ciągu dnia z nich skorzystać) może generować zupełnie nowe, dodatkowe podróże realizowane samochodem, które wcześniej nie odbyłyby się z powodu potencjalnego braku miejsca do parkowania. Pojawiają się więc wątpliwości co do kierunku działań podejmowanych w ramach zarządzania systemem parkingowym newralgicznych obszarów centrów miast, wywołując jednocześnie szerokie dyskusje. Badania i wnioski sformułowane w ramach rozprawy doktorskiej stanowią istotny wkład w ogół prac nad ustaleniem optymalnego kierunku działań realizowanych w ramach zarządzania systemem transportowym miast.

Praca składa się z siedmiu rozdziałów. W rozdziale pierwszym przedstawiono istotę racjonalnego kształtowania polityki parkingowej miasta w odniesieniu do jego obsługi transportowej. Opisano, jakimi narzędziami (organizacyjnymi, prawnymi) w tym zakresie mogą posługiwać się miasta, wskazano także ich istotne ograniczenia. Podkreślono, że istnieje związek pomiędzy efektywnością funkcjonowania systemu parkingowego a wielkością ruchu obserwowanego w sieci drogowo-ulicznej miasta, czego dowodzą autorzy zagranicznych publikacji. W rozdziale drugim zawarto szeroki przegląd literatury dotyczącej tzw. *search traffic*: opisano aktualny stan wiedzy w zakresie definicji i interpretacji ruchu tego rodzaju, możliwych czynników wpływających na jego występowanie i parametry, stanu prowadzonych dotąd badań, metod badawczych, przykładów modelowania, stopnia uwzględnienia go w analizach różnego rodzaju. Ustalono, że badań nad tzw. *search traffic* nie przeprowadzono dotąd w warunkach polskich. W rozdziale trzecim zestawiono wyniki autorskich badań nad tzw. *search traffic* przeprowadzonych w dwóch miastach – w Krakowie i we Wrocławiu. Badania te obejmowały lokalne badania ruchu i parkowania, ale także szeroki zakres badań ankietowych z kierowcami parkującymi pojazdy na miejscach przy ulicy. Miały one na celu potwierdzenie występowania tzw. *search traffic*, a także oszacowanie jego wielkości. Na podstawie przeprowadzonych badań ostatecznie potwierdzono występowanie tzw. *search traffic* także w warunkach polskich. Rozdział czwarty zawiera opis procedury definiowania wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej, który poprzez analizę relacji podaży i popytu na parkowanie pozwala na określenie, jaką część zapotrzebowania jest zdolny obsłużyć analizowany obszar. Polska literatura nie podaje i nie opisuje metody określania poziomu efektywności parkingowej danego obszaru. Nie ma wytycznych, według których można ocenić wyniki przeprowadzonych pomiarów parkowania. Stworzony w ramach pracy wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej pozwala interpretować takie wyniki. Bazując na jego wartościach, w rozdziale piątym zaprezentowano model, którego celem był opis zależności wielkości ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca do parkowania od warunków parkowania, wyrażonych przez ten wskaźnik.

Z praktycznego punktu widzenia, w ramach pracy, poprzez zdefiniowanie wskaźnika i ustalenie związku pomiędzy wielkością tzw. *search traffic* i warunków parkowania, wyrażonych obciążeniem powierzchni parkingowej, umożliwiono kompleksową ocenę efektywności funkcjonowania obszarów parkingowych, a także porównywanie warunków parkowania w różnych obszarach miasta. W rozdziale szóstym opisano najważniejsze zagadnienia związane z dokonywaniem tej oceny, a także doprecyzowano wiele niewyjaśnionych kwestii z nią związanych. Podkreślono konieczność zbierania danych o parkowaniu, ale również o ruchu realizowanym w sieci drogowo-ulicznej miasta, a także wyjaśniono, w jaki sposób dane te można wykorzystać. Opisano, w jaki sposób planować pomiary parkowania tak, aby ich wyniki pozostawały w integracji z pomiarami ruchu. Zdefiniowano problemy z interpretacją wskaźników parkowania wykorzystywanych do tej pory i wskazano, w jaki sposób powinny być wyznaczane. Rozdział siódmy stanowi podsumowanie i zakończenie pracy – przedstawiono w nim spełnienie założonych celów, wnioski ogólne oraz rekomendacje końcowe i kierunki dalszych badań.

Opracował: Wiesław Starowicz

Z działalności SITK

Zespół naukowy prof. Janusza Dyducha, Prezesa SITK RP, wyróżniony w Dniu Nauki Polskiej Nagrodą Ministra Edukacji i Nauki

Prof. dr hab. inż. Janusz Dyduch

Prof. dr hab. inż. Jerzy Kisilowski

dr hab. inż. Mieczysław Kornaszewski, prof. UTH Rad.

dr hab. inż. Waldemar Nowakowski, prof. UTH Rad.

dr hab. inż. Roman Grzegorz Pniewski, prof. UTH Rad.

W Dniu Nauki Polskiej, obchodzonym 19 lutego, tradycyjnie już nagradzani są wybitni przedstawiciele środowiska naukowego za znaczące osiągnięcia w zakresie działalności naukowej, dydaktycznej, wdrożeniowej i organizacyjnej oraz za całokształt dorobku.

W 2021 r. Nagrodą Ministra Edukacji i Nauki w kategorii: Nagrody za znaczące osiągnięcia w zakresie działalności wdrożeniowej został wyróżniony zespół pracowników naukowych Wydziału Transportu, Elektrotechniki i Informatyki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu za uzyskane rezultaty w projekcie naukowo-badawczym realizowanym w latach 2015–2018 pt.: „System gromadzenia danych eksploatacyjnych i analizy niezawodności i bezpieczeństwa układów automatyki kolejowej”.

Projektem kierował **prof. dr hab. inż. Janusz Dyduch**. Członkowie zespołu:

- **prof. dr hab. inż. Jerzy Kisilowski**
- **dr hab. inż. Mieczysław Maciej Kornaszewski**
- **prof. dr hab. inż. Waldemar Nowakowski**
- **dr hab. inż. Roman Grzegorz Pniewski.**

Nagroda Ministra Nauki i Edukacji jest wielkim wyróżnieniem dla zespołu pracowników naukowych Wydziału Transportu, Elektrotechniki i Informatyki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu i jednocześnie uwidacznia zaangażowanie członków naszego Stowarzyszenia w rozwój nauki i nowych technologii. Wszyscy członkowie zespołu są w składzie Rady Naukowej Oddziału SITK RP w Radomiu.

Celem projektu była optymalizacja działań i kosztów związanych z procesem utrzymania i diagnostyki systemów automatyki kolejowej oraz poprawa bezpieczeństwa w ruchu kolejowym.

Badania zrealizowane w projekcie pozwalają na uzyskanie pełnej informacji o zachowaniu się systemów w warunkach eksploatacji (użytkowanie i odnowa). Mogą stanowić podstawę do doskonalenia konstrukcji obiektów technicznych i doskonalenia procesu produkcyjnego oraz umożliwić uzyskanie wiarygodnych informacji, niezbędnych do sterowania procesem eksploatacji, w tym odnową. Istotnym czynnikiem wzrostu bezpieczeństwa ruchu kolejowego jest także doskonalenie metod podejmowania decyzji eksploatacyjnych (niezawodnościowo-utrzymaniowych) systemów automatyki kolejowej, dotyczących planowania obsług systemów i metod postępowania w sytuacjach awaryjnych. Opracowana koncepcja systemu wspomagania analizy niezawodności i bezpieczeństwa systemów automatyki kolejowej może być szczególnie przydatna przy ocenie systemów sterowania ruchem kolejowym, zgodnie z wymaganiami instytucji międzynarodowych zalecanymi przez normy CENELEC. System ten pozwala na utworzenie bazy wiedzy o całym procesie eksploatacji urządzeń automatyki kolejowej.

Założony cel projektu został zrealizowany poprzez:

- budowę nowego laboratorium badawczego urządzeń automatyki kolejowej,
- zaprojektowanie i zbudowanie systemu automatycznego gromadzenia danych o stanie urządzeń,
- opracowanie modelu niezawodnościowego urządzeń automatyki kolejowej,
- przygotowanie środków symulowania typowych uszkodzeń urządzeń automatyki kolejowej,
- przygotowanie procedur do wyznaczania charakterystyk niezawodnościowych i bezpieczeństwa urządzeń.

Opracował:
Waldemar Fabirkieicz, Sekretarz Generalny SITK RP