

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. 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)

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)

Adres redakcji

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

Wydawca

Wydawnictwa SITK RP Sp. z o.o.
ul. Świętokrzyska 14 A, lok. 150, 00-050 Warszawa
wydawnictwa@sitk.com

Nakład

500 egzemplarzy

Skład

Tomasz Wojtanowicz

Druk

Drukarnia Intromax
ul. Biskupińska 21, 30-732 Kraków

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, 2022

Informacje dodatkowe

Za treść i formę ogłoszeń oraz reklam Redakcja nie odpowiada.

Spis treści

Tomasz Kula	3
<i>Analiza rynku i wizerunku kolejowych przewoźników pasażerskich funkcjonujących na rynku polskim</i>	
<i>The analysis of the Polish railway market and image of rail passenger carriers</i>	
Ryszard Przybyszewski	10
<i>Koncepcja integracji komunikacji tramwajowej z podmiejską komunikacją autobusową na przykładzie Torunia</i>	
<i>The concept of integrating tram transport with suburban bus transport on the example of Toruń</i>	
Przemysław Sekuła	16
<i>Szacowanie natężenia ruchu drogowego z wykorzystaniem sieci neuronowych</i>	
<i>Traffic volume estimation with the use of neural networks</i>	
Andrzej Rudnicki	22
<i>Uwarunkowania i zagrożenia dla rozwoju i funkcjonowania komunikacji tramwajowej</i>	
<i>Determinants and threats to the development and operation of tram transport</i>	
<i>Habilitacje – Postępowanie habilitacyjne dr inż. Przemysława</i>	
<i>Sekuly z Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach</i>	
	41

Reklama w „Transportie 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: Elżbieta Nowicka – Dyrektor Marketingu i Komunikacji,
tel. +48 880 443 705

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. *Transport Miejski i Regionalny* nie znajduje się na liście, ale był poprzednio punktowany zatem ma przypisane 5 punktów.

Prenumerata TMiR w 2022 roku

Cena egzemplarza – **27 zł** (zagraniczna – **13 euro** z kosztami przesyłki)
Koszt prenumeraty półrocznej – **150 zł** (zagraniczna – **75 euro** z kosztami przesyłki)
Koszt prenumeraty rocznej – **310 zł** (zagraniczna – **150 euro** z kosztami przesyłki)
Studenti – 50% zniżki (na podstawie kserokopii aktualnej legitymacji studenckiej)
Zamówienia prenumeraty: Wydawnictwa SITK RP Sp. z o.o.,
e-mail: wydawnictwa@sitk.org.pl
Zamówienia egzemplarzy archiwalnych: <http://www.sitk.org.pl/sklep>
Płatność konto: 07 1240 6973 1111 0011 0889 5231

Streszczenia angielskie – Abstracts in English

Tomasz Kula

The analysis of the Polish railway market and image of rail passenger carriers

Abstract: The article focuses on the analysis of the Polish passenger rail market in the reality after the reform of the PKP (Polish State Railways) and the establishment of separate passenger rail companies. A review of the existing and competing railroad companies in the market and their marketing activities is made. Internal competitiveness in the Polish passenger transport market is presented. Based on the analysis and surveys, it was found that the level of public knowledge of the rail market is insufficient. Among travellers, the stereotype that every rail carrier in Poland is the PKP can still be noted. There is also an observed lack of general awareness of the changes that have taken place on the railroad in Poland over the past 20 years. The company that carries the most passengers in Poland is Polregio, while the commonly associated brand among the representative group turned out to be the PKP Intercity, which conducts the most expansive marketing activities. Travel time turns out to be the most important preference when rail customers choose a carrier.

Key words: railway transportation, competitiveness, rail carrier.

Ryszard Przybyszewski

The concept of integrating tram transport with suburban bus transport on the example of Toruń

Abstract: The past few decades have seen in Poland a sprawl of large urban organisms beyond their administrative boundaries. In the case of Toruń, the phenomenon of suburbanisation includes all neighbouring municipalities, where several suburban settlements with more or less concentrated single-family housing have been built. The article describes the concept of improving the integration of the city with the bordering boroughs, which is to be made possible in a special way by new 'transfer' bus lines radially extending beyond the city limits and linked to the existing and developing tramway traction. The article includes the main assumptions for the routing of the access lines, the location of the interchanges and their various design solutions. The interchanges were placed in the median strips separating the carriageways with the tramway tracks – especially in the strips with a width of more than 20.0 metres. All this is done with the highest principles of passenger safety in mind, with interchange on a single platform. The solutions under discussion are in line with the declarations of international institutions, national and European Union policies on the development of public transport, improved traffic safety, environmental protection, including electromobility.

Key words: public transport, regional passenger transport, commuter lines, interchange.

Przemysław Sekuła

Traffic volume estimation with the use of neural networks

Abstract: This paper presents the method of estimating hourly traffic volumes based on artificial neural networks and GPS data. This method was developed by the University of Maryland, Center for Advanced Transportation technologies in research funded by State Highway Agencies. The presented method allows for estimating traffic volume in the entire road network with an EMFR error that is usually smaller than 7%. Additionally, the modifications of the presented method that enables leveraging existing continuous count stations in order to increase the accuracy of the model, as well as the optimal way of deploying such stations, are also discussed. Finally, we discussed ways of reducing the cost of the presented solution by utilizing large data sets and models gathered or trained in different places and time periods.

Key words: traffic, traffic volume, neural networks.

Andrzej Rudnicki

Determinants and threats to the development and operation of tram transport

Abstract: The coverage of conditions and threats to the development and operation of tramway transport is reminiscent of the SWOT analysis, except that some segments of this analysis have been merged. The article outlines the timeless role of tramway transport, with periods of its regression and revival. Nevertheless tram remains a stable element in the development of urban transport systems. The technical and functional characteristics of the high-speed tram system and terminological issues are discussed. Functioning rapid tramway solutions in several Polish cities are briefly described, pointing out their specificities. Multiple determinants and threats are sorted out as far as tram transport and other elements of the transport system are concerned. The urban and political context and economic, social and environmental aspects are also addressed. Measures to improve the capacity of the tramway network are outlined. A frequent reference illustrating some aspects of the analysis is the case of the ongoing investment to extend the fast tram line to the Górka Narodowa terminal in Kraków. A summary synthesises the most relevant insights on selected issues.

Key words: urban transport, tram transport, tram network, fast tram.

TOMASZ KULA

mgr inż., Politechnika Krakowska,
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu,
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków,
tomasz.kula@pk.edu.pl

Analiza rynku i wizerunku kolejowych przewoźników pasażerskich funkcjonujących na polskim rynku¹

Streszczenie: Artykuł skupia się analizie polskiego rynku kolejowych przewoźników pasażerskich w realiach po reformie przedsiębiorstwa Polskie Koleje Państwowe i powstaniu odrębnych spółek kolejowych zajmujących się przewozem osób. Dokonano przeglądu istniejących i konkurujących ze sobą na rynku przedsiębiorstw kolejowych i ich działań marketingowych. Przedstawiono konkurencyjność wewnątrzgałęziową na polskim rynku przewoźników pasażerskich. Na podstawie analizy i badań ankietowych stwierdzono, iż poziom wiedzy społeczeństwa na temat rynku kolejowego jest niewystarczający. Wśród podróżnych nadal można dostrzec stereotyp, że każdy przewoźnik kolejowy w Polsce to PKP. Obserwuje się także brak ogólnej świadomości zmian, jakie zaszły na kolei w Polsce na przestrzeni ostatnich 20 lat. Spółką, która przewozi w Polsce najwięcej pasażerów, jest Polregio, natomiast powszechnie kojarzoną marką wśród grupy reprezentatywnej okazało się PKP Intercity, które prowadzi najbardziej ekspansywne działania marketingowe. Czas podróży okazuje się najważniejszą preferencją przy wyborze przewoźnika przez klientów kolei.

Słowa kluczowe: transport kolejowy, konkurencyjność w transporcie kolejowym, przewoźnicy kolejowi.

Wprowadzenie

Transport kolejowy należy do jednych z najważniejszych gałęzi transportu. Czasy wysokich cen paliw oraz zwiększającej się świadomości ekologicznej społeczeństwa stają się nową szansą dla kolei na przyciągnięcie do siebie większej liczby klientów. Codziennie z przejazdów tym środkiem transportu korzystają w Polsce tysiące pasażerów, dla których priorytetem jest bezpieczne, sprawne i punktualne przemieszczanie się. Nie mają oni często świadomości zmian, jakie zaszły w transporcie kolejowym w Polsce na przestrzeni ostatnich lat, a w szczególności w XXI wieku. Kolej znalazła się w nowej sytuacji – konkurencji w gospodarce rynkowej.

W artykule przeanalizowano obecnie funkcjonujący rynek kolejowych przewoźników pasażerskich w Polsce. Zbadano również systemy obsługi podróżnych występujące wśród przedsiębiorstw kolejowych oraz przedstawiono wyniki badań ankietowych, które obejmowały tematykę analizy wizerunkowej spółek kolejowych, ich działań marketingowych, promocyjnych, rozpoznawalności marek, a także jakości oferowanych usług.

Celem artykułu jest również przybliżenie odbiorcom tematyki konkurencji wewnątrzgałęziowej na rynku kolejowych przewoźników pasażerskich w Polsce, do którego motywacją stanowiły obserwacje autora dotyczące niskiej świadomości społeczeństwa i podróżnych na temat rynku kolejowego, funkcjonowania różnych, odrębnych przedsiębiorstw kolejowych oraz reform PKP. Taka sytuacja prze-

kłada się bowiem na wiele niedomówień i nieporozumień pomiędzy stronami umowy przewozu, a co za tym idzie zniechęcenia do wyboru kolei jako środka transportu i spadku jego atrakcyjności.

Charakterystyka i zakres funkcjonowania transportu kolejowego w Polsce

Transport kolejowy ma znaczący wpływ na rozwój społeczny i gospodarczy ośrodków miejskich, regionalnych, a także całego kraju. Jego podstawą jest ruch kolejowy, czyli procedury i związane z nimi urządzenia umożliwiające spójne funkcjonowanie różnych podsystemów strukturalnych systemu kolei, zarówno w czasie normalnego, jak i pogorszonego funkcjonowania, w tym w szczególności przygotowanie składu, prowadzenie pociągu, planowanie ruchu oraz zarządzanie ruchem.

Transport pasażerski uzależniony jest od pasażerów, czyli klientów. To oni decydują, kiedy i w jakiej relacji chcą pojechać. Aby odpowiednio rozdysponować tabor i liczbę miejsc, jakie są do dyspozycji, przewoźnik zmuszony jest dokonać analizy zapotrzebowania na dany przewóz. Rodzaje środków transportu dostępnych dla przewoźników pasażerskich i ich podział przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Podział rodzajów środków transportu w kolejowym transporcie pasażerskim	
Rodzaj środka transportu	Podział
Wagony	<ul style="list-style-type: none"> • Przystosowanie do wielkości przebiegu: <ul style="list-style-type: none"> – dalekobieżne – do ruchu lokalnego, podmiejskiego • Rodzaj miejsc: <ul style="list-style-type: none"> – z miejscami siedzącymi: <ul style="list-style-type: none"> – przedziałowe – bezprzedziałowe – mieszane • z miejscami leżącymi: <ul style="list-style-type: none"> – sypialne – z miejscami do leżenia
Zespoły trakcyjne	<ul style="list-style-type: none"> • Przystosowanie do wielkości przebiegu: <ul style="list-style-type: none"> – zespoły trakcyjne dalekobieżne – zespoły trakcyjne do ruchu lokalnego • Rodzaj trakcji: <ul style="list-style-type: none"> – zespoły elektryczne – zespoły spalinowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1]

Struktura pasażerskiego rynku kolejowego w Polsce

Na rynku kolejowych przewoźników pasażerskich na przełomie wieków, a także w ciągu ostatnich kilkunastu lat dokonano gruntownych przemian. Mają one swoją genezę w zmianach społeczno-gospodarczych oraz ustrojowych w Polsce. Do roku 2000 przewozy pasażerskie realizowało państwowe przedsiębiorstwo PKP (Polskie Koleje

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2022.

Państwowe). W ramach restrukturyzacji tego przedsiębiorstwa utworzono spółkę akcyjną PKP SA, której jedynym akcjonariuszem był Skarb Państwa, a także na mocy ustawy [2] dokonano podziału jednego, dużego podmiotu na kilka mniejszych przedsiębiorstw. Do tych, które były odpowiedzialne za przewozy pasażerskie, można było zaliczyć wówczas między innymi:

- PKP Intercity,
- PKP Przewozy Regionalne,
- PKP Szybka Kolej Miejska w Trójmieście,
- PKP Warszawska Kolej Dojazdowa.

Na podstawie kolejnych reform samorządom wojewódzkim przekazano odpowiednie kompetencje. Skutkiem tego było pojawienie się na rynku regionalnych przewoźników. Proces ten nazwano regionalizacją przewozów. Obecnie funkcjonujących, kolejowych przewoźników pasażerskich, można podzielić według następujących kryteriów:

- przewozy dalekobieżne: PKP Intercity;
- przewozy regionalne w obrębie więcej niż jednego województwa: Polregio (dawniej Przewozy Regionalne);
- przewozy regionalne w województwie lub koleje miejskie: Koleje Mazowieckie, Koleje Dolnośląskie, Koleje Małopolskie, Koleje Śląskie, Koleje Wielkopolskie, Łódzka Kolej Aglomeracyjna, Arriva RP, Warszawska Kolej Dojazdowa, Szybka Kolej Miejska w Warszawie, PKP Szybka Kolej Miejska w Trójmieście.

Główny obszar działania najważniejszych z nich przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Główny obszar działania kolejowych przewoźników regionalnych w Polsce
Źródło: nik.gov.pl (dostęp: 07.09.2021)

Przewozy pasażerskie w liczbach

Na początku XXI wieku liczba pasażerów kolei w Polsce stopniowo malała. Zjawisko to było spowodowane wieloma czynnikami, do których można zaliczyć między innymi likwidację znacznej liczby linii kolejowych oraz połączeń pasażerskich. Działania takie w znacznym stopniu nadwyrężyły zaufanie klientów do kolei, a także jej wiarygodność. Dopiero od 2014 roku można zauważyć stopniowy wzrost liczby przewiezionych pasażerów. Według danych UTK był to wzrost od 269,1 milionów pasażerów w 2014 roku do 335,9 milionów w roku 2019. Załamanie, które

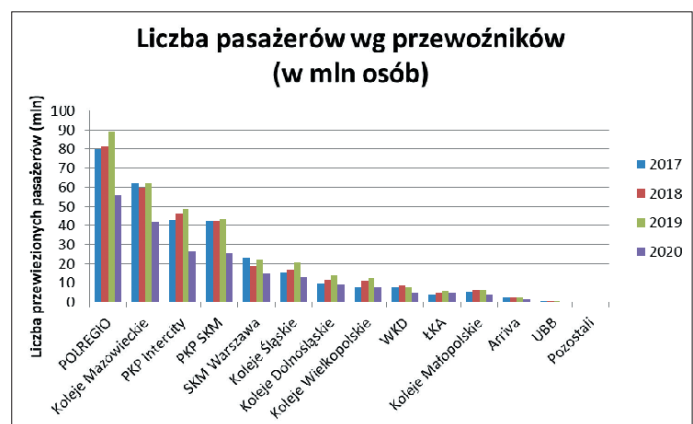


Rys. 2. Liczba przewiezionych pasażerów w transporcie kolejowym w Polsce
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UTK

występuje w 2020 roku, jest spowodowane czynnikami zewnętrznymi, przede wszystkim ograniczeniami w przewozie osób w związku z epidemią koronawirusa. Warto również zauważyć, iż od roku 2014 liczba przewiezionych osób zwiększa się rokrocznie o około 10 mln pasażerów. Mimo tego liczba podróżnych wciąż nie dorównała tej z 2000 roku (rys. 2).

Na przestrzeni lat 2017–2020 przewoźnikiem, który obsługuje każdego roku największą liczbę pasażerów, jest Polregio. Przewoźnik ten w 2017 roku obsłużył 79,9 mln pasażerów, po czym zanotował znaczny wzrost i, w 2019 roku, było ich już 88,9 mln, a zatem aż 9 milionów więcej w ciągu dwóch lat. Na stałym pułapie około 60 mln pasażerów kształtuje się liczba pasażerów kolejnego największego przewoźnika, czyli Kolei Mazowieckich. Trzecie miejsce zajmuje PKP Intercity – przewoźnik skupiony na przewozach dalekobieżnych. Można zauważyć dynamikę wzrostu liczby pasażerów spółki Intercity: od 42,8 mln w 2017 poprzez 46,1 mln w 2018 do 48,9 mln w 2019 roku. Spadki liczby pasażerów w 2020 roku spowodowane są opisywanymi wcześniej czynnikami zewnętrznymi (rys. 3).

Na podstawie danych liczby przewiezionych pasażerów (rys. 3) można zauważyć zależność, iż mimo zmian ilościowych klientów kolei udział w rynku przewozowym poszczególnych przedsiębiorstw na przestrzeni lat jest niemal niezmienny. Przedstawiona zatem analiza udziału przewoźników na rynku w 2020 roku (rys. 4) jest zbliżona do udziałów z lat poprzednich.



Rys. 3. Liczba pasażerów w transporcie kolejowym wg przewoźników w latach 2017–2020
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UTK

Tabela 2

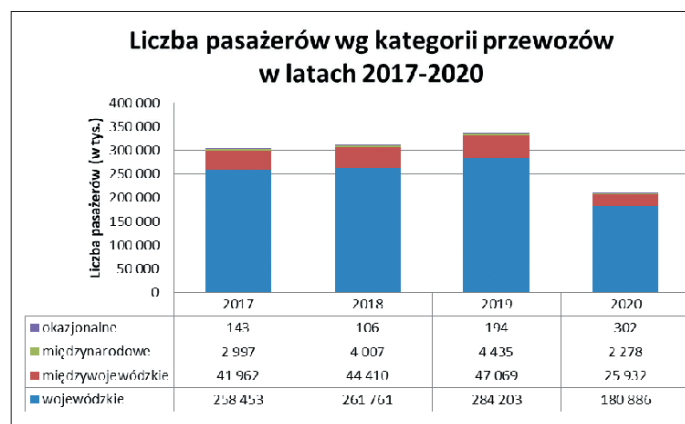


Rys. 4. Udział przewoźników w liczbie przewiezionych pasażerów w 2020 roku
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UTK

Zdecydowanie największy udział w rynku ma spółka Polregio – 26,6%; udział Kolei Mazowieckich to 19,96%; a PKP Intercity oraz PKP SKM mają odpowiednio 12,76% i 12,18% udziału w przewozach, natomiast reszta przewoźników nie przekracza progu 10%. Są to odpowiednio: SKM Warszawa (7,12%), Koleje Śląskie (6,21%), Koleje Dolnośląskie (4,39%), Koleje Wielkopolskie (3,63%), WKD (2,20%), Koleje Małopolskie (1,86%), Arriva (0,72%), UBB (0,14%) oraz pozostali, niewymienieni (0,05%). Analizując udział kategorii pociągu w liczbie przewożonych podróży (rys. 5), w każdym z wybranych lat dominują przejazdy wojewódzkie. W 2020 roku było to ponad 180 mln podróży spośród 209 mln wszystkich, co stanowi 86,5%. Kategorią z kolejnym udziałem są przewozy międzywojewódzkie. W 2020 roku miały udział w 12,4% przewiezionych osób. Z kategorii przejazdów międzynarodowych skorzystało 2,278 mln podróży (1% przejazdów). Kategoria przewozów okazjonalnych ma najmniejszy udział w przewozach (kilkaset tysięcy pasażerów rocznie).

Przewoźnicy pasażerscy funkcjonujący na polskim rynku

Jak podaje ustawa o transporcie kolejowym [3]: „przewoźnik kolejowy jest to przedsiębiorca uprawniony do wykonywania przewozów kolejowych, w tym przedsiębiorca świadczący wyłącznie usługę trakcyjną, na podstawie licencji i jednolitego certyfikatu bezpieczeństwa, lub przedsiębiorca uprawniony do wykonywania przewozów kolejowych na podsta-



Rys. 5. Liczba przewiezionych pasażerów wg kategorii przewozów w latach 2017–2020
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UTK

Przewoźnik	Liczba uruchomionych pociągów	Liczba zatrzymań pociągów na stacjach	Średnia liczba zatrzymań na 1 pociąg	Współczynnik punktualności na stacjach pośrednich	Średnie opóźnienie dla pociągu opóźnionego powyżej 5 min 59 s
Leo Express	286	4 825	17	86,40%	24
SKPL	353	3 362	10	100,00%	0
Arriva RP	35 740	481 287	13	97,58%	16
Koleje Małopolskie	40 509	675 469	17	96,16%	13
ŁKA	53 696	709 762	13	96,81%	16
Koleje Wielkopolskie	70 711	1 362 074	19	94,24%	17
PKP SKM	77 705	1 772 962	23	98,87%	12
SKM w Warszawie	84 221	1 516 563	18	96,33%	15
Koleje Dolnośląskie	97 504	1 497 939	15	92,09%	15
Koleje Śląskie	120 572	2 255 834	19	90,72%	14
PKP Intercity	121 324	2 095 236	17	87,06%	23
Koleje Mazowieckie	261 723	5 010 387	19	95,56%	19
POLREGIO	535 984	9 472 293	18	93,71%	17

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UTK

wie świadectwa bezpieczeństwa”. Po polskich torach kursuje kilkunastu przewoźników zarówno prywatnych, jak i tych z udziałem Skarbu Państwa. Najważniejsi z nich – PKP Intercity oraz Polregio obsługują połączenia na terenie niemal całego kraju. Oprócz nich połączenia obsługują przewoźnicy regionalni, powoływani przez władze właściwych województw, a także ci odpowiedzialni za przewozy aglomeracyjne (głównie w Trójmieście oraz Warszawie). Dane o liczbie uruchomionych pociągów przez wybranych przewoźników na sieci PKP PLK w 2020 roku przedstawia tabela 2.

Systemy sprzedaży biletów

Obecnie najbardziej rozpowszechnionym systemem sprzedaży biletów na kolei w Polsce jest system „Kurs’90” wykorzystywany m.in. przez PKP Intercity oraz Polregio. Jest to z informatyzowany system sprzedaży oraz rezerwacji biletów na przejazdy kolejowe. Opracowany został jeszcze w latach osiemdziesiątych dla kolei niemieckich, a w Polsce wprowadzony w pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych. Pomimo udoskonaleń i wielu modyfikacji z biegiem lat w stosunku do dzisiejszych wymagań ma wiele ograniczeń, które stanowią przeszkodę w rozwoju transportu kolejowego w Polsce oraz jego dostosowaniu do realiów XXI wieku. Ten archaiczny system przyczynia się do wielu problemów na polskiej kolei zarówno dla przewoźników oraz pasażerów. Ma on bowiem kłopoty z wieloma ważnymi dla klientów aspektami przejazdu, na przykład odpowiednim przydziałem miejsca i jego wyborem przez podróżnego. Dodatkowo jest niewydolny w momentach dużego obciążenia i wykorzystywania przez klientów. Niedoskonałości i błędy Kurs’90 zaczęły być szczególnie widoczne i dotkliwe w momencie funkcjonowania na rynku różnych przewoźników, którzy mają w swojej ofercie wiele własnych zniżek, promocji oraz honorują różnego rodzaju ulgi. Z punktu widzenia podróżnego niezwykle istotną rolę odgrywają kanały

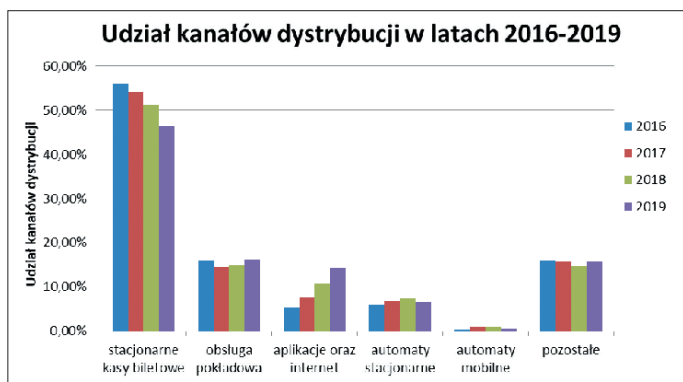
Tabela 3

Wybrane kanały dystrybucji biletów dostępne w PKP IC oraz Polregio	
Przewoźnik	Gdzie można kupić bilet
PKP Intercity	<ul style="list-style-type: none"> kasy PKP IC, Polregio, KM, niektóre kasy KW automaty biletowe na wybranych stacjach/przystankach strona internetowa aplikacja mobilna na pokładzie pociągu (z dopłatą i/lub wyjątkami)
Polregio	<ul style="list-style-type: none"> kasy Polregio, PKP IC, KM, KD, KW, Arriva RP oraz KŚ automaty biletowe na wybranych stacjach/przystankach strona internetowa aplikacja mobilna na pokładzie pociągu (z dopłatą i/lub wyjątkami)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

dystrybucji biletów oraz ich szeroka dostępność. Sprzedaż biletów może odbywać się na wiele sposobów. Ich przegląd w dwóch spółkach przedstawia tabela 3.

Na przestrzeni kilku ostatnich lat widać wyraźny spadek liczby biletów kupowanych w tradycyjnym kanale dystrybucji, jakim są kasy stacjonarne. Zanotowano tu spadek z 56% w 2016 roku do 46,5% wszystkich kupowanych biletów w 2019 roku. Kanałem dystrybucji, który najbardziej zyskuje na popularności, jest internet oraz aplikacje mobilne. Można zauważyć stały wzrost udziału tego kanału sprzedaży. W 2016 roku odpowiadał on za 5,4% wszystkich nabywanych biletów, natomiast w 2019 roku już za 14,3%. W 2019 roku sprzedaż biletu u drużyny konduktorskiej stanowiła 16,2%, a w automatach stacjonarnych 6,6%. Najmniejszy udział odnotowuje się w automatach mobilnych, umieszczonych na pokładach pociągów – w 2019 roku było to 0,6%. Do kategorii pozostałe zaliczono na przykład bilety komunikacji miejskiej honorowane w ramach umowy z przewoźnikami kolejowymi (rys. 6).



Rys. 6. Udział kanałów dystrybucji biletów kolejowych w latach 2016–2019

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UTK [5]

Badania ankietowe

W ramach pracy [9] przeprowadzono badania ankietowe, które miały na celu analizę świadomości i wiedzy podróżnych na temat polskiego rynku kolejowych przewozów pasażerskich. Wybraną grupę badawczą stanowiły w szczególności osoby nie posiadające szczegółowej wiedzy z zakresu transportu kolejowego, czyli nie posiadające wykształcenia w tej dziedzinie ani nie związane z nią poprzez pracę zawodową. Dodatkowo za istotne uznano również, aby respondenci znajdowali się w różnych grupach wiekowych, a ich miejsca zamieszkania były rozproszone po kraju.

Do podstawowych problemów badawczych zaliczono poziom znajomości i rozeznania w rodzimym rynku kolejowym po reformie i restrukturyzacji przedsiębiorstwa Polskie Koleje Państwowe oraz po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej (co za tym idzie, otwarciu rynku przewozów pasażerskich na konkurencję zewnętrzną). Badaniami objęto również rozpoznawalność poszczególnych przewoźników kolejowych funkcjonujących na rynku polskim, ich działania marketingowe, takie jak promocja i reklama oraz wizerunek marki. W ankiecie zawarto ponadto pytania dotyczące zachowań komunikacyjnych ankietowanych, preferencji transportowych, a także, co istotne, odnoszące się do jakości usług i systemów obsługi podróżnych (systemów taryfowych i biletowych) przewoźników kolejowych.

Założono następującą hipotezę badawczą: „Pasażerowie nie mają pełnej świadomości przeobrażeń, jakie dokonały się na polskiej kolei w ramach reformy PKP i powstania wielu różnych, niezależnych przewoźników. Działania marketingowo-promocyjne przewoźników są niewystarczające i nie docierają do odpowiedniej liczby potencjalnych klientów, a systemy obsługi podróżnych i oferowane systemy biletowe nie spełniają nowoczesnych standardów i oczekiwań konsumentów”.

Do opisywanych badań zdecydowano się na metodę ilościową, która została przeprowadzona przez ankietę. Do realizacji wybrano technikę badawczą CAWI (Computer-Assisted Web Interview). Badania realizowane były za pomocą narzędzia, jakim jest kwestionariusz ankietowy stworzony na platformie Google (Formularze Google). Do najważniejszych zalet metody CAWI zalicza się: łatwość dostarczenia do ankietowanych przez internet, możliwość zebrania odpowiedzi od osób zamieszkałych w różnych rejonach kraju, poczucie anonimowości oraz przejrzystość zebranych wyników. Metoda ta ma również swoje wady. Należą do nich: brak możliwości osobistego kontaktu z respondentem, wyjaśnienia wątpliwości i pogłębienia wiedzy oraz brak możliwości zadania szczegółowszych pytań. W badaniu większość zaprojektowanych pytań to pytania zamknięte jednokrotnego lub wielokrotnego wyboru. Taki sposób zbierania odpowiedzi jest interesujący dla ankietowanego i skuteczniej przyciąga jego uwagę niż pytania otwarte. Pozwala to zebrać odpowiedzi w sposób przejrzysty i czytelny.

Wyniki badań ankietowych (sondaż)

W badaniu-sondażu udział wzięło 96 ankietowanych, z których 52% stanowili mężczyźni i 48% kobiety. Strukturę wieku respondentów podzielono na cztery grupy. Najliczniejszą z nich był przedział wiekowy 25–40 lat (42%), następnie osoby do 25 roku życia (31%), w przedziale 41–60 lat (22%) oraz osoby powyżej 60 roku życia (5%).

Zachowania komunikacyjne badanych osób przedstawia rysunek 7. Rzadziej niż raz na rok podróżuje transportem kolejowym 39% badanych, 32% z nich podróżuje kilka razy w roku, 21% raz na rok, 6% kilka razy w miesiącu, a najmniej liczną grupę stanowią osoby korzystające z przejazdów pociągami kilka razy w tygodniu – 2% badanych.

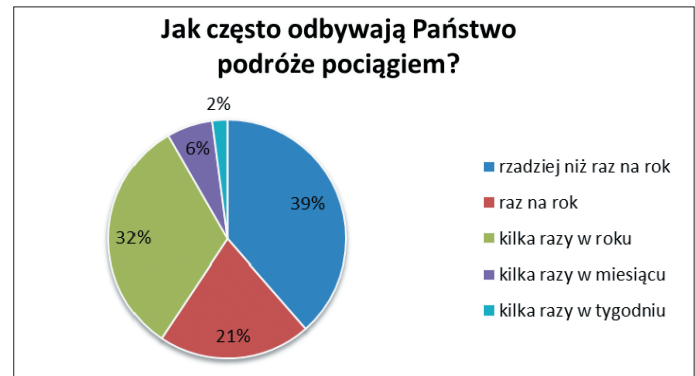
77% osób badanych zadeklarowało, iż nie słyszało o reformie przedsiębiorstwa Polskie Koleje Państwowe oraz jego podziale na wiele różnych spółek (rys. 8). O reformie słyszało 23% badanych. Odpowiedzi na to pytanie są o tyle ciekawe, że wspomniana reforma i restrukturyzacja trwają od 2001 roku, czyli już ponad 20 lat. Okazuje się jednak, że poziom wiedzy społeczeństwa o funkcjonowaniu transportu kolejowego w Polsce jest na bardzo niskim poziomie. Potwierdza to postawioną hipotezę. Można zatem stwierdzić, iż w powszechnym rozumieniu osób postronnych i podróżnych, nie związanych zawodowo z transportem kolejowym, kolej w Polsce wciąż działa jako jeden duży organizm, bez rozróżnienia poszczególnych spółek przewozowych oraz tych, które na przykład odpowiadają za zarządzanie infrastrukturą.

Z badania rozpoznawalności marki przewoźników funkcjonujących na rynku polskim wynika, iż wszyscy ankietowani deklarują znajomość spółki PKP Intercity (rys. 9). Jest to zatem najbardziej znane i kojarzone przedsiębiorstwo kolejowe w Polsce (utożsamiane często z tego powodu z „koleją” w kraju). Kolejne miejsca w zestawieniu rozpoznawalności zajęły spółki Koleje Małopolskie (64,6%) i Polregio (54,2%). Wysokie miejsca zajęły również Koleje Śląskie (41 osób – 42,7%). Spółki Koleje Mazowieckie, Dolnośląskie, PKP SKM, Koleje Wielkopolskie, Leo Express i SKM w Warszawie zostały rozpoznane przez około 30% pytanym. Wynik przewoźników regionalnych jest skorelowany w znacznym stopniu z miejscem zamieszkania respondentów, stąd wysoki wynik na przykład Kolei Małopolskich. Dziwić może fakt, że tylko połowa ankietowanych zna spółkę Polregio, która przewozi największą liczbę pasażerów w kraju na przestrzeni ostatnich kilku lat.

Rozpoznawalność przedsiębiorstw można zestawzić z ich działaniami marketingowymi oraz promocyjnymi. Do takich należą między innymi reklamy w środkach masowego przekazu: w telewizji, radiu, gazetach oraz w internecie, gdzie reklama może być w największym stopniu spersonalizowana i ukierunkowana na konkretnego klienta (w przeciwieństwie do pozostałych wymienionych środków). Rysunek 10 przedstawia strukturę osób, które deklarują, że spotkały się kiedykolwiek z reklamą dowolnego przewoźnika kolejowego. Układa się ona niemal w równym stosunku 50:50, a dokładniej 49% zadeklarowało, iż widziało reklamę przewoźnika, a 51%, że nie. Jest to rezultat niejednoznaczny, wymagający większej liczby badań w tym kierunku.

Powyższe pytanie zostało następnie rozszerzone. Ankietowani mieli za zadanie podać nazwę przewoźnika, z którego reklamą się spotkali. Na pytanie odpowiedziały wszystkie 47 osób, które udzieliły odpowiedzi „tak”. Tutaj również najczęściej skojarzeń w świadomości badanych okazała się spółka Intercity (33 odpowiedzi), która w sposób znaczny wyprzedza pozostałe. Po 6 osób stwierdziło, iż spotkało się z reklamą spółek Polregio i Leo Express. Koleje Śląskie wskazały 4 osoby, a Koleje Mazowieckie i Małopolskie 3 osoby (rys. 11).

Kolejne pytanie dotyczyło kanałów dystrybucji biletów kolejowych (rys. 12). Było to pytanie jednokrotnego wyboru, w którym ankietowani mieli wskazać najlepszy, prefero-



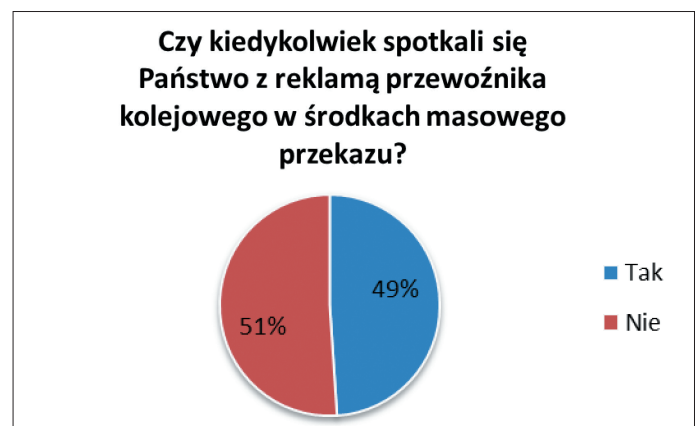
Rys. 7. Struktura liczby podróży pociągiem w ciągu roku wśród ankietowanych
Źródło: opracowanie własne



Rys. 8. Struktura osób, które deklarują znajomość reformy przedsiębiorstwa PKP
Źródło: opracowanie własne



Rys. 9. Rozpoznawalność przewoźników kolejowych funkcjonujących na rynku polskim
Źródło: opracowanie własne



Rys. 10. Przewoźnicy rozpoznani w reklamie
Źródło: opracowanie własne

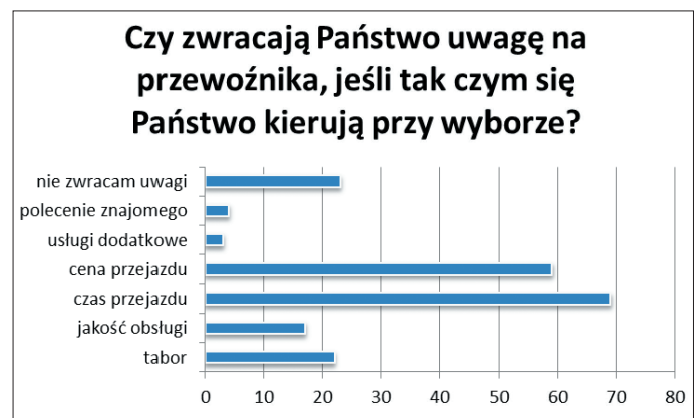
wany przez siebie sposób zakupu biletu kolejowego. Najwyższy wynik, ze znaczącą przewagą nad innymi kanałami dystrybucji, odnotowano dla stron internetowych. Taki sposób zakupu biletu jako preferowany wskazało aż 68% badanych. Na drugim miejscu znalazł się zakup biletu w kasach biletowych. Ten tradycyjny kanał dystrybucji uzyskał 15% odpowiedzi. 8% osób wskazało na aplikacje mobilne, 6% na automaty biletowe, a 3% zakup od obsługi pociągu. Dane przedstawiają aktualne preferencje podróżnych i powinny być szczegółowo zbadane przez przewoźników, tak aby na bieżąco spełniać oczekiwania klientów. Zgadniają się one również z kierunkiem, w jakim zmieniają się trendy obowiązujące co do sposobu zakupu biletów na polskim rynku kolejowym.

Ankietowanych, którzy stwierdzili, że nie zwracają uwagi na przewoźnika, korzystając z transportu kolejowego, było 23 (24,5%). Największą motywacją do wyboru oferty danej firmy przewozowej okazuje się być czas przejazdu – 73,4% odpowiedzi, a następnie cena przejazdu – 62,8%. Tabor uzyskał 23% odpowiedzi, jakość obsługi – 18%, polecenie znajomego – 4%, a usługi dodatkowe na pokładzie – 3% (rys. 13).

Poszerzając wiedzę na temat preferencji transportowych badanych osób, zadano pytanie, która z dwóch ofert przewozowych jest atrakcyjniejsza (rys. 14). Przewoźnik numer 1 oferował o 30 minut krótszy czas przejazdu, ale 2 razy większą cenę za bilet (30 zł), natomiast Przewoźnik 2 zakładał dłuższy czas (1 h 20 min) w zamian za tańszy bilet – 15 zł. Potwierdziła się tutaj obserwacja z pytania po-

przedniego. Większą korzyść podróżujący odnoszą z czasu przejazdu. Odbywa się to nawet kosztem ceny biletu (w tym przypadku dwa razy większej). Pytanie to miało również swoje podłoże w konkurencyjności wewnątrzgałęziowej na trasie Kraków–Katowice, gdzie swoje połączenia realizuje kilku przewoźników pasażerskich. Oferta Przewoźnika 1 symulowała ofertę PKP Intercity, a Przewoźnika 2 ofertę Polregio i Kolei Śląskich. Jest to zatem materiał do analizy przez wymienionych przewoźników, a także wszystkich innych funkcjonujących na tej relacji i innych trasach, gdzie występuje konkurencyjność.

Wśród czynników determinujących jakość podróży kolejowej, bez względu na przewoźnika, ankietowani wskazali konsekwentnie na czas przejazdu (81 odpowiedzi). W znacznym stopniu istotne są również dostępność kolei, rozumiana



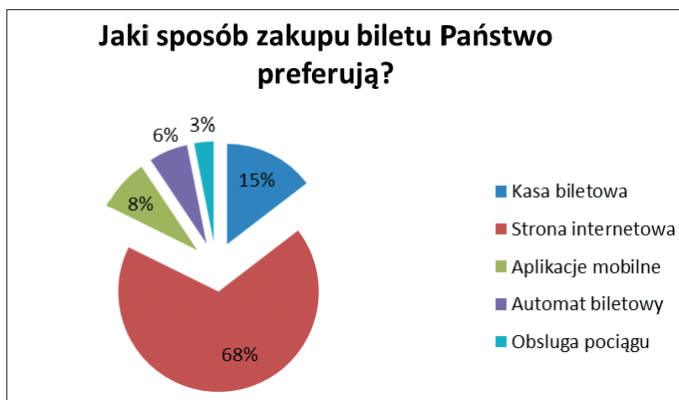
Rys. 13. Preferencje wyboru przewoźnika wśród podróżnych
Źródło: opracowanie własne



Rys. 11. Przewoźnicy rozpoznani w reklamie
Źródło: opracowanie własne



Rys. 14. Wybór atrakcyjniejszej oferty przewozu przez ankietowanych
Źródło: opracowanie własne



Rys. 12. Preferowany sposób zakupu biletu przez ankietowanych
Źródło: opracowanie własne



Rys. 15. Najważniejsze czynniki podróży pociągiem
Źródło: opracowanie własne

jako zatrzymywanie się składów na odpowiednich stacjach, oraz komfort taboru, związany ściśle z jego nowoczesnością i udogodnieniami. Po 30 odpowiedzi ankietowanych zebrały czynniki bezpieczeństwa i częstotliwości kursowania. Natomiast najmniejsze znaczenie dla podróżnych ma wiarygodność przewoźnika – 9 osób i kompetentny personel – 5 osób. Interesującą kwestią jest małe znaczenie wiarygodności przewoźnika. Może mieć to duże znaczenie podczas wejścia na rynek nowych, nieznanymi opinii publicznej przedsiębiorstw (np. RegioJet), które – mimo znikomej rozpoznawalności i renomy – mogą zaskarbić sobie wielu klientów, spełniając ich oczekiwania dotyczące głównie czasu trwania podróży, ceny i jakości taboru (rys. 15).

Podsumowanie

Transport kolejowy pełni niezwykle ważną rolę w systemie transportowym państwa. Po okresie kryzysu zapoczątkowanego w latach osiemdziesiątych i trwającego przez całą kolejną dekadę nastąpił czas reform na Polskiej Kolei, związanych między innymi ze wstąpieniem Polski w szeregi Unii Europejskiej. Na rynku przewozów pasażerskich reformy te były związane przede wszystkim z restrukturyzacją przedsiębiorstwa państwowego Polskie Koleje Państwowe, rozpoczętą w 2001 roku. Zakładała ona w głównej mierze oddzielenie zarządcy infrastruktury od przewoźników.

Na polskim rynku funkcjonuje obecnie piętnastu regularnie kursujących pasażerskich przewoźników kolejowych. Wśród nich są przedsiębiorstwa zależne od spółki PKP, związane ze Skarbem Państwa (np. Intercity, Polregio), takie, które są własnością samorządów lokalnych i miejskich (np. Koleje Małopolskie, Koleje Dolnośląskie, Szybka Kolej Miejska w Warszawie), a również te, które są podmiotami prywatnymi (np. Arriva RP, Leo Express). Większość z nich odnotowuje z każdym rokiem wzrost liczby przewiezionych pasażerów. Załamaniem w przewozach pasażerskich okazał się być rok 2020, co było bezpośrednio spowodowane problemami zewnętrznymi – światową epidemią koronawirusa.

Wśród kanałów sprzedaży biletów na przejazdy kolejowe największą popularnością cieszy się u konsumentów wciąż kanał tradycyjny – kasy biletowe. Jednak obserwuje się znaczny wzrost sprzedaży biletów poprzez nowoczesne kanały dystrybucji. Są to przede wszystkim strony internetowe przewoźników lub innych podmiotów, aplikacje na urządzenia mobilne, a także stacjonarne i mobilne automaty biletowe. Istotnym problemem wpływającym na jakość obsługi podróżnych jest przestarzały system rezerwacji biletów Kurs'90, który wciąż funkcjonuje w systemach informatycznych przewoźników w Polsce. Jego funkcjonalność w obecnych czasach jest niewystarczająca i doprowadza między innymi do problemów w zakresie integracji taryf, takich jak wspólny bilet na przejazd z przesiadką pomiędzy różnymi przewoźnikami.

Przeprowadzone badania w postaci sondażu potwierdzają postawioną wcześniej hipotezę. Wiedza o obecnym stanie kolei i rynku kolejowego w Polsce jest wśród grupy reprezentatywnej na niskim poziomie. Mimo że od czasu

rozpoczęcia reformy i restrukturyzacji przedsiębiorstwa Polskie Koleje Państwowe mijają 20 lat, wciąż można zauważyć opinię wśród podróżnych, że istnieje „jedna kolej” i jedna firma zajmująca się pasażerskim transportem kolejowym w kraju. Taki stan rzeczy potwierdza odpowiedź 77% ankietowanych – nie słyszeli o reformie i podziale PKP na wiele spółek, w tym przewozowych. Zgodnie z badaniami ankietowym można zauważyć, że działania marketingowe i promocyjne przewoźników funkcjonujących na rynku znajdują się na niedostatecznym poziomie. Spółką kojarzoną powszechnie jest PKP Intercity, która też została najczęściej wskazywana jako „widziana” w przestrzeni publicznej, w reklamach (TV, radio, internet itp.). Jest to jednoznaczny rezultat wieloletniej działalności firmy i wielu kampanii reklamowych. Co więcej, badania pokazują, iż mimo tego, że spółka Polregio jest największym przewoźnikiem w kraju pod względem liczby przewiezionych pasażerów, nie przekłada się to jednoznacznie na jej rozpoznawalność i odbiór wśród klientów. Dodatkowo zauważyć można pozytywne nastawienie wśród klientów do nowoczesnych kanałów dystrybucji biletów. Potwierdzają to odpowiedzi 68% respondentów, którzy deklarują, że preferują zakup biletu kolejowego przez stronę internetową.

Ciekawym wnioskiem z ankiety jest ponadto ten dotyczący preferencji podróżnych oraz motywacji klientów w wyborze przewoźnika. Z analizy wynika, że najistotniejszym czynnikiem dla pasażerów jest czas podróży, który w znaczny sposób wyprzedza cenę usługi. Taki stan rzeczy potwierdził się w kilku, różnych pytaniach. Interesującą kwestią jest też małe znaczenie czynnika wiarygodności firmy. Może to stanowić kluczowe znaczenie podczas wejścia na rynek nowych przewoźników, którzy będą nieznanymi opinii publicznej. Okazuje się, że konkurując z innymi firmami ważnymi kwestiami dla podróżnych, takimi jak: czas przejazdu, cena i tabor będą w stanie nawiązać równorzędną walkę o klienta na rynku.

Literatura

1. Jacyna M., Gołębiowski P., Krześniak M., Szkopiński J., *Organizacja ruchu kolejowego*, PWN, Warszawa 2019.
2. Ustawa z dnia 8 września 2000 r. o komercjalizacji i restrukturyzacji przedsiębiorstwa państwowego „Polskie Koleje Państwowe” (tekst jedn. Dz. U. 2018, poz. 1311 ze zm.).
3. Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym (Dz. U. 2003 nr 86 poz. 789).
4. <https://utk.gov.pl/pl/pasazerowie/kolejowe-faq/bilet-t/14076,Zakup-biletu.html> (dostęp: 24.08.2021).
5. <https://utk.gov.pl/pl/aktualnosci/16222,Wiecej-biletow-kupujemy-przez-internet.html> (dostęp: 24.08.2021).
6. Rosa G., *Wspólny bilet kolejowy jako element kształtowania zachowań komunikacyjnych na rynku przewozów pasażerskich*, „Ekonomiczne Problemy Usług”, 2018, nr 130.
7. *Wykorzystanie i potencjał kolejowych przewozów pasażerskich w Polsce*, Urząd Transportu Kolejowego, Warszawa 2017.
8. *Konkurencja w przewozach pasażerskich na wybranych relacjach w Europie*, Urząd Transportu Kolejowego, Warszawa 2020.
9. Kula T., *Analiza systemów obsługi podróżnych przez kolejowych przewoźników pasażerskich funkcjonujących na rynku polskim*, Praca dyplomowa magisterska (promotor Jan Gertz), Politechnika Krakowska, 2021.

Koncepcja integracji komunikacji tramwajowej z podmiejską komunikacją autobusową na przykładzie Torunia¹

RYSZARD PRZYBYSZEWSKI
mgr inż. emeryt, były pracownik
Urzędu Marszałkowskiego
w Toruniu, e-mail:
ryszardprzybyszewski@wp.pl

Streszczenie: W okresie kilku mijających dziesięcioleci zaobserwowano w Polsce „rozlewanie się” dużych organizmów miejskich poza ich administracyjne granice. W przypadku Torunia zjawisko suburbanizacji obejmuje wszystkie przylegające gminy, na których zrealizowano kilka podmiejskich osiedli o mniej lub bardziej skoncentrowanej zabudowie jednorodzinnej. W artykule opisano koncepcję poprawy integracji miasta z przylegającymi gminami, którą mają umożliwić w szczególności urzędzone nowe, promieniście wybiegające poza granice miasta dojazdowe linie autobusowe „na przesiadkę”, powiązane z istniejącą i rozwijaną trakcją tramwajową. Artykuł zawiera główne założenia przebiegu linii dojazdowych, lokalizację węzłów przesiadkowych, ich różne rozwiązania projektowe. Węzły przesiadkowe umieszczono w pasach środkowych rozdzielających jezdnie z torowiskiem tramwajowym – szczególnie w pasach o szerokości przekraczającej 20,0 metrów. Wszystko to przy założeniu najwyższych zasad bezpieczeństwa pasażerów, z przesiadką na jednym peronie. Omawiane rozwiązania są zgodne z deklaracjami instytucji międzynarodowych, polityką krajową i Unii Europejskiej w zakresie rozwoju komunikacji publicznej, poprawy bezpieczeństwa ruchu, ochrony środowiska naturalnego, w tym elektromobilności.

Słowa kluczowe: transport zbiorowy, pasażerska komunikacja regionalna, linie dojazdowe, węzeł przesiadkowy.

Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój motoryzacji indywidualnej w okresie powojennym umożliwił migrację mieszkańców miasta poza jego granice. Proces ten przyspieszył po przemianach ustrojowych w 1989 roku. Zjawisko to zaobserwowano również w Toruniu i powiecie toruńskim, gdzie na przylegających do miasta gminach wyznaczono duże obszary terenu z przeznaczeniem pod budownictwo jednorodzinne. O rozproszonym, mało intensywnym sposobie rozwoju budownictwa we wszystkich kierunkach decydują indywidualni inwestorzy i deweloperzy kierujący się między innymi cenami działek. Ich ceny w mieście przekraczają możliwości wielu inwestorów. Im dalej od miasta tym działki są tańsze. W strefie podmiejskiej Torunia brakuje dużych osiedli zbudowanych w oparciu o szczegółowe plany zagospodarowania przestrzennego z prawidłowo zaprojektowaną i zrealizowaną komunikacją publiczną. W przewozach pasażerskich nowe osiedla obsługuje w większości zamiejska komunikacja autobusowa typu PKS, przebiegająca po drogach wylotowych z miasta. W wielu miejscach realizowana zabudowa oddalona jest znacznie od przystanków autobusowych.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami zapewnienie obsługi w zakresie komunikacji publicznej należy do zadań własnych gminy. W przypadku Torunia zadania te wykonuje Miejski Zakład Komunikacji, spółka przewozowa po-

wołana przez Radę Miasta. W trakcji autobusowej MZK prowadzi przewozy na 37 liniach z których 8 przekracza granice miasta, obsługując część obszarów gmin: Zławieś Wielka, Lubicz, Obrowo. Z 8 wspomnianych linii 5 dowozi pasażerów do centrum miasta, pozostałe 3 linie kończą bieg na pętli osiedla Rubinkowo przy skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka i Dziewulskiego, umożliwiając skomunikowanie (na tym samym peronie przystankowym) z liniami obsługującymi osiedla Na Skarpie i Rubinkowo. Gminy w powiecie toruńskim realizują zadania w zakresie komunikacji publicznej z udziałem przewozowych firm komercyjnym. Trzy wymienione wyżej gminy, na podstawie podpisanych umów, pokrywają część kosztów 8 linii MZK przekraczających granice Torunia.

Niniejszy artykuł zawiera koncepcję usprawnienia, z korzyścią dla pasażerów, komunikacji publicznej między miastem a przylegającymi gminami, na przykładzie regionu toruńskiego, zakładając dążenie do pełnej idealizacji tych połączeń. Przyjęte rozwiązania są zgodne z celami zawartymi w rezolucji ONZ podjętej na Zgromadzeniu Generalnym we wrześniu 2020 roku, dotyczącej „Poprawy globalnego bezpieczeństwa ruchu drogowego”², zaleceniami Deklaracji Sztokholmskiej Światowej Konferencji Ministerialnej dot. bezpieczeństwa ruchu drogowego z 20 lutego 2020 roku³ oraz „Rządowym Planem Rozwoju Elektromobilności” z marca 2017 roku, obejmującym również miejski transport publiczny.

Główne założenia dla nowych linii obsługujących podmiejskie osiedla

Komunikacja tramwajowa rozwija się w Toruniu od ponad 100 lat. Wzdłuż Wisły, w relacji wschód–zachód funkcjonują dwie równoległe trasy obsługujące osiedla i tereny przemysłowe w powiązaniach z centrum miasta. W najbliższych latach zostanie zbudowana nowa linia północ–południe z osiedla Jar do centrum. Na wymienio-

² Podczas 74. sesji ONZ podjęto rezolucję na Zgromadzeniu Generalnym we wrześniu 2020 roku dotyczącą „Poprawy globalnego bezpieczeństwa ruchu drogowego”, w której ONZ między innymi: „zachęca państwa członkowskie do opracowania, stosowania i wdrażania nowych technologii i innowacji w celu poprawy dostępności i bezpieczeństwa ruchu drogowego (na wszystkich etapach działań) oraz do zachęcania do ich wdrażania, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb najbardziej narażonych użytkowników dróg (pieszych, rowerzystów, motocyklistów i użytkowników transportu publicznego).

³ Zalecenia Deklaracji Sztokholmskiej Światowej Konferencji Ministerialnej dot. bezpieczeństwa ruchu drogowego z 20 lutego 2020 roku rekomendującej między innymi: „Osiągnięcie zrównoważenia celów poprawy bezpieczeństwa, zdrowia i ochrony środowiska wymaga wdrożenia w skali krajowej i lokalnej polityki mobilności, preferującej dokonywanie podróży środkami transportu wymagającymi aktywności fizycznej i dostępnymi dla wszystkich, tj. pieszo, rowerem lub środkami transportu publicznego”.

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2022.

nych trasach kursują tramwaje na 4 liniach (1, 2, 4, 5) z częstotliwością od 10 do 30 minut. Niniejszy artykuł zawiera propozycję bezpośredniego skomunikowania, na tym samym peronie, z miejską trakcją tramwajową, nowych autobusowych linii dojazdowych z zastosowaniem wjazdu autobusu na torowisko tramwajowe ([1],[2],[3]). Skomunikowanie linii dojazdowych na tym samym peronie jest najwyżej punktowane w „ocenie wskaźnikowej węzłów przesiadkowych transportu publicznego [4]. Uruchomienie nowych linii dojazdowych, poza zwiększeniem udziału w przewozach ekologiczną trakcją tramwajową, przyczyni się ponadto do poprawy ekonomiki transportu wynikającej z eliminacji części przewozów pasażerskich do centrum miasta liniami autobusowymi przebiegającymi w znacznym stopniu równoległe do traktacji tramwajowej [5]. Propozycje rozwiązań platform przesiadkowych oraz przebieg w szczególności sposób wytrasowanych linii dojazdowych wybiegających poza granice miasta jest przewodnią myślą niniejszego artykułu. Przedmiotowe linie dojazdowe proponuje się wprowadzić z zachowaniem poniższych modelowych założeń:

1. Powinny mieć miejski, dzienny czas kursowania od 5:00 do 22:00 z regularną częstotliwością, na przykład w szczycie 2 kursy w ciągu godziny, mniejsza liczba kursów poza szczytem.
2. Trasę linii dojazdowej należy wprowadzić w obszar osiedla z zachowaniem 500-metrowego promienia dojazdu do przystanków.
3. Rozwiązanie miejsca przesiadki, z zachowaniem najwyższych wymogów bezpieczeństwa ruchu, na tym samym peronie – platformie przesiadkowej – bez przekraczania jezdni przez pasażerów.
4. Miejsce platformy przesiadkowej powinno być zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie dzielnicowego ośrodka usługowego tak, by mieszkańcy osiedli podmiejskich mogli skorzystać z różnych usług, dojeżdżając do nich tylko jedną linią autobusową. Warunku tego nie spełniają platformy przesiadkowe na pętliach tramwajowych, możliwe do realizacji również w Toruniu, bowiem w ich rejonie nie ma żadnych usług.
5. Linia tramwajowa od platformy przesiadkowej winna przebiegać prostoliniowo, z priorytetem w sygnalizacji świetlnej i możliwie z największą prędkością komunikacyjną. Jej długość od centrum powinna mieścić się w przedziale od 3 do 8 km.
6. Kursowanie autobusów na linii dojazdowej powinno być skoordynowane z tramwajem tak, by czas oczekiwania nie przekraczał 2–3 minut. W celu uzyskania maksymalnej prędkości komunikacyjnej, przy obsłudze dużych oddalonych osiedli o zwartej zabudowie możliwe jest rozwiązanie, w którym autobusy zatrzymywałyby się na kilku przystankach wewnątrz osiedla i dalej do platformy przesiadkowej przejeżdżały tranzytem bez zatrzymań.
7. W sytuacji przebiegu w sąsiedztwie torów kolejowych linia dojazdowa winna umożliwiać również dojazd do najbliższego przystanku PKP.

Przedstawione założenia dotyczą tzw. zewnętrznych węzłów przesiadkowych, zlokalizowanych jednak przy dzielnicowych ośrodkach usługowych [3].

Charakterystyka rozwiązań platform przesiadkowych

Toruń w okresie powojennym w części prawobrzeżnej rozwijał się pasmowo wzdłuż Wisły. Na wschodzie powstały duże osiedla: Rubinkowo i Na Skarpie, z jednym wielofunkcyjnym ośrodkiem usługowym oddalonym od centrum miasta o 5 km. W części zachodniej, na skraju Bydgoskiego Przedmieścia, powstało wielkopowierzchniowe Centrum Handlowe „Toruń Plaza”, oddalone od centrum o 3 km. Oba te nowe ośrodki ze śródmieściem łączą linie tramwajowe. Zagospodarowanie miasta w omawianym obszarze wraz z istniejącą siecią tramwajową i projektowaną linią do osiedla Jar pokazano na rysunku 1.

Linia tramwajowa w sąsiedztwie Rubinkowa przebiega w pasie środkowym szerokiej dwujezdniowej ulicy Szosa Lubicka, położonej w ciągu drogi krajowej nr 80. Na tej ulicy, w rejonie obiektów usługowych, zbudowano trzy przystanki z szerokimi peronami, przy skrzyżowaniach z ulicami: Rydygiera, Przy Skarpie, Śląskiego. Cechą tej wylotowej ulicy jest bardzo szeroki pas zieleni rozdzielający jezdnie. Jego szerokość przekracza 30,0 m w rejonie dwóch pierwszych przystanków. Wykorzystanie tego szerokiego pasa dla budowy pętli do zawracania autobusów linii dojazdowych jest głównym założeniem budowy platform przesiadkowych w rejonie Rubinkowa. W dalszej części artykułu opisano szczegóły dla rozwiązań przystanków przesiadkowych na ulicy Szosa Lubicka – ich lokalizacja zaznaczona jest na rysunku 1.



Rys.1. Przebieg linii tramwajowych w Toruniu

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem map Open Street Map

Przystanek przy skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka i Rydygiera

Na trzywlotowym skrzyżowaniu obowiązuje pierwszeństwo ruchu dla pojazdów jadących ulicą Szosa Lubicka. W jego środkowej części zaprojektowano dużą wyspę centralną. Oba przystanki tramwajowe usytuowano na wlocie od strony wschodniej skrzyżowania. Przejścia dla pieszych w ich rejonie zabezpiecza wzbudzana sygnalizacja świetlna. Szeroki pas rozdzielający umożliwia wykonanie jezdni

wjazdowej i wyjazdowej dla autobusów oraz pętli do zawracania w sposób pokazany na rysunku 2. Autobusy od strony wschodniej wjeżdżałyby na peron tramwajowy. Po wyjściu wszystkich pasażerów autobus w pasie torowiska przejeżdża przez skrzyżowanie, by poza nim zawrócić na pętli oraz zatrzymać się na krótki postój do czasu planowanego odjazdu z peronu tramwajowego. Opisany wyżej sposób wjazdu na przystanki tramwajowe autobusu linii dojazdowej wymaga podjęcia następujących działań:

- urządzenia jezdni w pasie torowiska na wspólnym odcinku przebiegu autobusu i tramwaju;
- budowy pętli autobusowej o promieniu minimum 10,0 m (wystarczającym dla autobusów typu np. Solaris 12) wraz z stanowiskiem postojowym niezalaniającym widoczności innym pojazdom;
- zainstalowania sygnalizacji świetlnej obejmującej skrzyżowanie, umożliwiającej również włączenie się autobusu do ruchu na jezdni głównej;
- wprowadzenia stosownego oznakowania na jezdniach autobusowych uniemożliwiającego wjazd dla innych pojazdów na przykład B-1 z tabliczką „Nie dotyczy poj. MZK” i ewentualnie innych pojazdów dopuszczonych do wjazdu na torowisko;
- na pętli autobusowej przy poprzecznym przejeździe przez tory tramwajowe ustawienie znaku A-7 „Ustąp pierwszeństwa” dla autobusów dojazdowych.



Rys. 2. Platforma przesiadkowa przy skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka i Rydygiera
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem map Open Street Map

Przystanek przy skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka i Przy Skarpie

Na czterowłotowym skrzyżowaniu obowiązuje pierwszeństwo ruchu dla pojazdów jadących ulicą Szosa Lubicka. W jego środkowej części zaprojektowano dużą wyspę centralną. Para przystanków tramwajowych usytuowana jest na wlocie od strony zachodniej. Na skrzyżowaniu ruchem steruje sygnalizacja świetlna. Szeroki pas rozdzielający umożliwia wykonanie przed skrzyżowaniem jezdni wjazdowej dla autobusów od strony wschodniej oraz pętli do zawracania bezpośrednio za przystankami tramwajowymi. W omawianym rozwiązaniu wyjazd autobusów można skierować bezpośrednio na obwodnie wyspy centralnej – szczegóły zaprezentowano na rysunku 3. Autobusy od stro-

ny wschodniej wjeżdżałyby na peron tramwajowy, uprzednio przejeżdżając przez całe skrzyżowanie. Zakres podjęcia niezbędnych inwestycji jest taki sam jak na pierwszym skrzyżowaniu z ulicą Rydygiera. Opisując rozwiązanie projektowe, na niniejszym skrzyżowaniu należy jednocześnie zauważyć zagrożenia, jakie powstaną w punktach kolizji w przypadku awarii sygnalizacji świetlnej. Omawiane zagrożenia można ograniczyć, wprowadzając zmiany w „Prawie o ruchu drogowym” polegające na rozszerzeniu przywilejów w ruchu, jakie posiadają pojazdy szynowe poruszające się po torowisku tramwajowym, również na inne pojazdy kołowe, na przykład autobusy i pojazdy techniczne służące naprawie trakcji tramwajowej.



Rys. 3. Platforma przesiadkowa przy skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka i Przy Skarpie
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem map Open Street Map

Przystanek przy skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka i Ludwika Śląskiego

Na czterowłotowym skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną i poszerzonymi wlotami obowiązuje pierwszeństwo ruchu dla pojazdów jadących ulicą Szosa Lubicka. Przystanki tramwajowe, z tunelowym dojściem pieszych, usytuowano na wlocie od strony zachodniej w oddaleniu od skrzyżowania. W rejonie omawianego odcinka pas środkowy jest już zbyt wąski, by można było zaprojektować pętlę do zawracania dla autobusów. Na tym skrzyżowaniu należy zastosować inne rozwiązanie. Podobnie jak na poprzednich skrzyżowaniach, szeroki pas rozdzielający umożliwia wykonanie jezdni wjazdowej dla autobusów od strony wschodniej. Wjazd autobusu na peron tramwajowy ułatwia obowiązujący od tej samej strony zakaz dla tzw. lewoskrętów. Manewr zawracania można wykonać, korzystając z przejazdu wokół wyspy centralnej na położonym w sąsiedztwie od strony zachodniej skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka i Przy Skarpie. W tym wypadku powrót na jezdnię główną powinien być zabezpieczony sygnalizacją świetlną. Autobus, po wykonaniu manewru zawracania, ma możliwość wjazdu w rejon przystanku tramwajowego poprzez stanowisko postojowe dla regulacji czasu odjazdu. Wyjazd autobusów, z zastosowaniem sygnalizacji, można skierować bezpośrednio na jezdnię główną – szczegóły zaprezentowano na rysunku 4. Zakres podjęcia niezbędnych zadań inwestycyjnych jest podobny do wymienionych w opisach dla powyższych skrzyżowań.



Rys. 4. Platforma przesiadkowa przy skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka i Ludwika Śląskiego
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem map Open Street Map

Projektowany przystanek przy skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka i Dziewulskiego

Do tego czwartego skrzyżowania w ciągu ulicy Szosa Lubicka tramwaj w chwili obecnej nie dojeżdża. Są jednak istotne argumenty, by tę możliwość rozważyć koncepcyjnie dla planowanej linii z osiedla Jar do osiedla Na Skarpie. Przedłużenie linii umożliwia dostatecznie szeroki pas środkowy. Inwestycja ta zwiększy obszar obsługi osiedla Rubinkowo przez komunikację tramwajową oraz poprawi ekonomikę tej obsługi, bowiem nowa linia w tym rozwiązaniu nie pokrywa się już z przebiegiem istniejących linii nr 1 i 5 w stopniu dostatecznym, zapewniającym przewozy potoków pasażerskich. Kolejny argument to możliwość budowy bezpiecznego węzła przesiadkowego z autobusu dojazdowego na tramwaj i to dodatkowo w sąsiedztwie realizowanego obecnie wielopoziomowego parkingu Park & Ride. Aktualnie na omawianym czterowłotowym skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną i poszerzonymi wlotami obowiązuje pierwszeństwo ruchu dla pojazdów jadących ulicą Szosa Lubicka. Po stronie zachodniej skrzyżowania zbudowano przejście podziemne dla pieszych, umożliwiające bezkolizyjne dojścia do istniejącej pętli autobusowej MZK i przystanków autobusowych komunikacji zamiejskiej. Po stronie wschodniej brak jest przejścia dla pieszych przez arterię wylotową z miasta. Budowa nowego przystanku wymaga przedłużenia torowiska tramwajowego o około 450 m i rozbudowy przejścia poziomego o dwa wyjścia na perony przystankowe. Kolejnym warunkiem realizacji węzła przesiadkowego jest wprowadzenie dla nowej linii tramwajowej wyłącznie taboru dwukierunkowego, który toruński MZK posiada. Podobnie jak na poprzednim skrzyżowaniu, należy zaprojektować jezdnię wjazdową dla autobusów od strony wschodniej. Manewr zawracania można wykonać korzystając z przejazdu wokół wyspy centralnej na położonym w odległości 950 m skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka – Przy Skarpie. Podobnie jak na poprzednim skrzyżowaniu manewr wjazdu na jezdnię główną należy zabezpieczyć sygnalizacją świetlną. Autobus po wykonaniu manewru zawracania ma możliwość wjazdu w rejon przystanku tramwajowego. Wyjazd autobusu, z zastosowaniem sygnalizacji, można

skierować bezpośrednio na jezdnię główną. Pewnym mankamentem przedstawionego rozwiązania jest duża, prawie kilometrowa, odległość dla zawracania autobusu w kursie do najbliższego skrzyżowania z wyspą centralną. Kurs autobusu na tym odcinku nie musi być przebiegiem bez pasażerów, bowiem w omawianej sytuacji przystanek końcowy i początkowy dla linii dojazdowej byłby usytuowany przy skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka i Przy Skarpie. Rysunek nr 5 zawiera omawianą koncepcję platformy przesiadkowej, przy założeniu przedłużenia torowiska tramwajowego do skrzyżowania ulic Szosa Lubicka i Dziewulskiego. Zakres działań inwestycyjnych, poza wspomnianą budową torowiska tramwajowego, obejmuje rozbudowę tunelu dla pieszych, budowę jezdni manewrowych i rozbudowę sygnalizacji świetlnej.

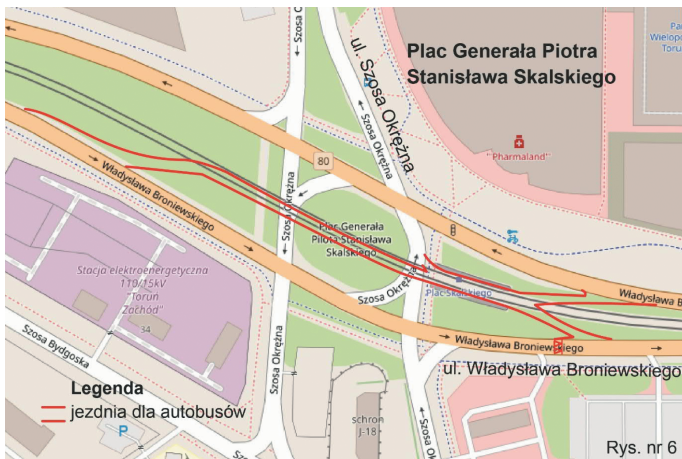
Zaproponowanie czterech platform przesiadkowych w ciągu ulicy Szosa Lubicka nie oznacza, iż wszystkie one powinny zostać zrealizowane. Należy je traktować jako przykłady rozwiązań projektowych do dalszych analiz.



Rys. 5. Platforma przesiadkowa przy skrzyżowaniu ulic Szosa Lubicka i Dziewulskiego
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem map Open Street Map

Przystanek na placu gen. Stanisława Skalskiego

W zachodniej części miasta 5 platformę przesiadkową można zaprojektować na placu gen. Stanisława Skalskiego, w sąsiedztwie CH Toruń Plaza. W pasie środkowym ulicy Władysława Broniewskiego – trasy wylotowej z miasta – przebiega dwutorowa linia tramwajowa. Na przylegającym do obiektu handlowego czterowłotowym skrzyżowaniu rozszerzonym, z wyspą centralną, obowiązuje pierwszeństwo ruchu dla pojazdów jadących ulicą Broniewskiego, położoną w ciągu drogi krajowej nr 80. Oba przystanki tramwajowe usytuowano na wlocie od strony wschodniej skrzyżowania. Przejścia dla pieszych przy dojściach do tych przystanków zabezpiecza wzbudzana sygnalizacja świetlna. Dla autobusów dojazdowych jezdnię wjazdową na tym skrzyżowaniu należy zaprojektować od strony zachodniej. Wąski pas środkowy nie umożliwia zawracania pojazdu w jego obszarze. Należy więc umożliwić, zabezpieczony sygnalizacją świetlną, wyjazd autobusu na jezdnię główną. Z uwagi na brak możliwości do zawracania na najbliższych skrzyżowaniach – autobus powinien zostać skierowany do na przykład pętli przy Szpitalu Wojewódzkim na Bielanych lub do pętli przy Uniwersytecie



Rys. 6. Platforma przesiadkowa na placu gen. Piotra Stanisława Skalskiego
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem map Open Street Map

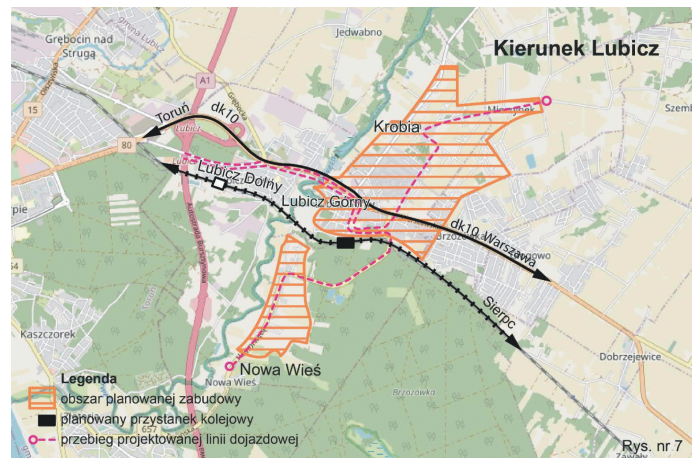
Mikołaja Kopernika. Proponowane rozwiązanie wymaga budowy jezdni manewrowych oraz zainstalowania sygnalizacji świetlnej na całym skrzyżowaniu. Szczegóły rozwiązania znajdują się na rysunku 6.

Nowe przebiegi pozamiejskich linii dojazdowych

Przylegające miejscowości łączy z Toruniem gęsta sieć linii autobusowych przebiegających po drogach publicznych. Większość z nich dojeżdża do centrum miasta, chociaż część z nich mogłoby zakończyć bieg na jednej z wymienionych platform przesiadkowych. Z wielu możliwych tras w niniejszym rozdziale przedstawiono siedem propozycji nowych przebiegów tras dojazdowych spełniających najwyższe wymagania w zakresie bezpieczeństwa ruchu i dostępności dla pasażerów.

Średnicowy przebieg linii w Lubiczu Górnym, Krobi i Nowej Wsi

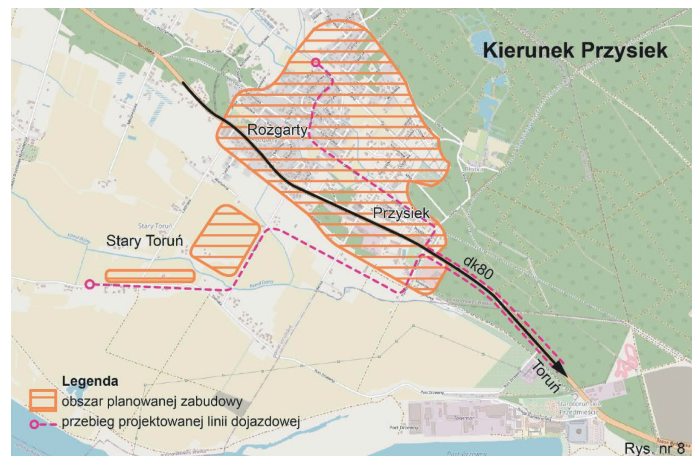
Po wschodniej stronie Torunia rozwija się pasmowo gmina Lubicz w kierunku Dobrzejewa i Krobi. Ten pasmowy obszar intensywnej zabudowy obejmuje teren przylegający do drogi krajowej nr 10. Przystanki autobusowe urządzone przy tej ruchliwej drodze nie wszystkie zabezpiecza sygnalizacja świetlna, co powoduje liczne zagrożenia dla pieszych. W Lubiczu proponuje się wprowadzenie dwóch linii dojazdowych. Pierwszą linię w tej miejscowości poprowadzono między drogą tranzytową a torem kolejowym z Torunia do Sierpca. Dalej projektowana linia przebiega średnicowo przez Krobię. Drugą nową linię z Lubicza Górnego skierowano do rozwijającej się Nowej Wsi. Obie linie umożliwiają skomunikowanie z koleją, bowiem przebiegają w sąsiedztwie projektowanego nowego przystanku na wspomnianej linii z Torunia do Sierpca. Ich przebieg pokazano na rysunku 7. Zapewne przyczynią się one do poprawy bezpieczeństwa ruchu oraz dostępności dla pasażerów z uwagi na większą liczbę przystanków położonych w środku zabudowy. Nowe linie należy zakończyć pętlą autobusową w rejonie granic planowanej zabudowy. Na terenie miasta autobusy tych linii powinny kończyć bieg na jednej z platform przesiadkowych ulicy Szosa Lubicka.



Rys. 7. Proponowany przebieg linii dojazdowych w Lubiczu Górnym, Krobi i Nowej Wsi
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem map Open Street Map

Wewnątrzsiedlowy przebieg linii w Przysieku, Rozgartach i Starym Toruniu

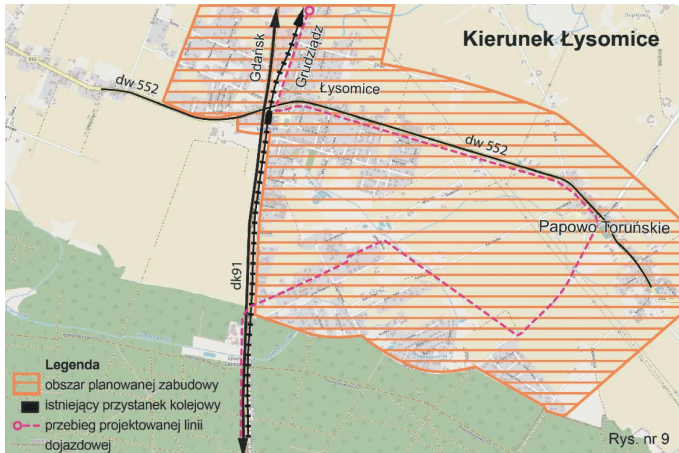
Po zachodniej stronie Torunia dynamicznie rozwijają się przy drodze krajowej nr 80 miejscowości Przysiek i Rozgarty. Również i w tym wypadku przystanki autobusowe urządzone przy tej drodze krajowej. Korzystając z ulic wewnętrznych, proponowany średnicowy przebieg dwóch linii dojazdowych w obu miejscowościach pokazano na rysunku 8. Pierwszą linię poprowadzono średnicowo w Rozgartach. Druga zaś zakończy swój bieg w Starym Toruniu. Pętle autobusowe należy również urządzić na granicy planowanej intensywnej zabudowy. W części zachodniej miasta autobusy z tych linii powinny kończyć bieg na platformie przesiadkowej przy CH Toruń Plaza.



Rys. 8. Proponowany przebieg linii dojazdowych w Przysieku, Rozgartach i Starym Toruniu
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem map Open Street Map

Przebieg linii w Łysomicach i Papowie Toruńskim

Po północnej stronie Torunia rozwijają się przy drodze krajowej nr 91 miejscowości Łubianka i Papowo Toruńskie. W ich rejonie sprawne funkcjonowanie komunikacji publicznej w godzinach szczytu ogranicza położone bezpośrednio przy przejeździe kolejowym w Łysomicach „ciasne” skrzyżowanie drogi krajowej nr 91 z drogą wojewódzką nr 552. Na rysunku 9 pokazano średnicowy przebieg linii dojazdowej w obu miejscowościach z pominięciem powyższego skrzyżowania. Linia w przebiegu pokazanym na rysunku



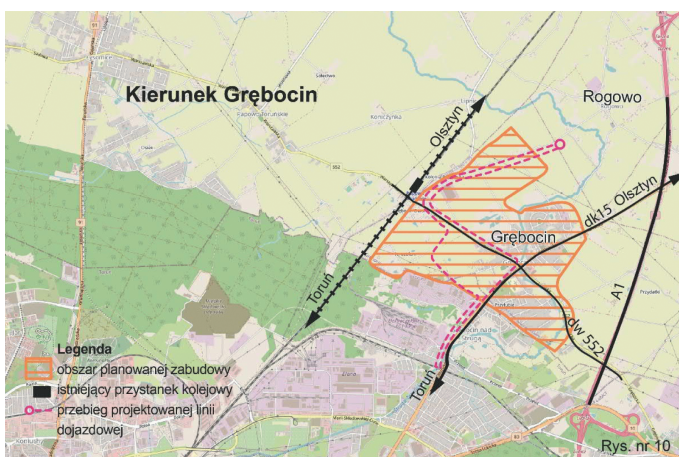
Rys. 9. Proponowany przebieg linii dojazdowej w Łysomicach i Papowie Toruńskim

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem map Open Street Map

dodatkowo umożliwi dojazd do przystanku kolejowego w Łysomicach. Jej przebieg wymaga rozbudowy skrzyżowania drogi krajowej w sąsiedztwie przejazdu kolejowego w Papowie Toruńskim. W części północnej miasta autobusy z tej linii powinny kończyć bieg na jednej z platform przesiadkowych na ulicy Długiej lub ulicy Chełmińskiej. Platformy te są możliwe do wprowadzenia na realizowanej linii tramwajowej do osiedla Jar.

Wewnątrzosiedlowy przebieg linii w Grębocinie

Po północno-wschodniej stronie Torunia rozwija się miejscowość Grębocin przy drodze krajowej nr 15 i drodze wojewódzkiej nr 552. Przy tych drogach urządzono przystanki autobusowe. Zakładając budowę ulic osiedlowych, proponowany średnicowy przebieg dwóch linii dojazdowych w Grębocinie pokazano na rysunku 10. Obie linie na znacznym odcinku przebiegają poza drogą krajową, kończą się wspólną pętlą w pobliskim Rogowie. Omawiane linie przebiegają dodatkowo w sąsiedztwie stacji kolejowej Papowo Toruńskie, umożliwiając pasażerom skomunikowanie z PKP na trasie z Torunia do Olsztyna. Na terenie miasta autobusy z tych nowych linii powinny kończyć bieg na jednej z platform przesiadkowych ulicy Szosa Lubicka.



Rys. 10. Proponowany przebieg linii dojazdowych w Grębocinie

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem map Open Street Map

Podsumowanie

Przedstawione w artykule rozwiązania linii dojazdowych zapewniają pasażerom lepszą ochronę w zakresie bezpieczeństwa ruchu oraz zastosowanie przesiadki między skomunikowanymi pojazdami na tym samym peronie w systemie „od drzwi do drzwi”, z pominięciem przekraczania przez pasażerów jezdni w obrębie skrzyżowania.

Atutem omawianych połączeń jest krótki czas przejazdu dla linii przyspieszonych omijających pośrednie przystanki. Mając na uwadze czasy przejazdu tramwajem z rozkładów jazdy oraz aktualne średnie czasy przejazdu autobusem, można ustalić czasy przejazdu z podmiejskich osiedli do centrum Torunia. Z kierunku wschodniego od Lubicza Górnego do centrum miasta wynosi on 29 minut (16 minut dojazd autobusem, 3 minuty czas na przesiadkę, 10 minut czas przejazdu tramwaju). Z kierunku zachodniego od Rozgart jest on krótszy i wynosi 26 minut (14 minut dojazdu autobusu, 3 minuty czas na przesiadkę, 9 minut czas przejazdu tramwaju). Jedyne warunki, jakie stawia się autobusom na liniach dojazdowych, dotyczy minimalnej wielkości promienia skreślenia dostosowanego do geometrii pętli do zawracania. W przypadku zastosowania autobusów elektrycznych mamy wzorzec pełnej dekarbonizacji połączeń komunikacyjnych miasta z przylegającym regionem.

Artykuł zawiera propozycje działań, których celem jest lepsza integracja miasta z regionem poprzez wprowadzenie bardziej komfortowej, bezpiecznej, sprawnej komunikacji publicznej, mogącej być konkurencją dla samochodu osobowego. Do działań tych należy:

- utrzymanie od rana do późnych godzin wieczornych regularnych połączeń komunikacyjnych o stałych odstępach czasowych (np. co 0,5 h w szczycie, co 1,0–1,5 h poza szczytem). Przejazd linią dojazdową z ograniczoną liczbą przystanków, ze skoordynowaną sygnalizacją świetlną umożliwia osiągnięcie prędkości komunikacyjnej nawet do około 30,0 km/h;
- budowa przystanków dla dwóch trakcji z przesiadką na tym samym peronie z krótkim odcinkiem dojazdu i czasu oczekiwania na odjazd;
- zapewnienie bezpiecznych warunków dojazdu do przystanków w centrum miasta z zastosowaniem sygnalizacji świetlnej. Poza granicami miasta budowa nowych przystanków na ulicach osiedlowych.

Literatura

1. Starowicz W., *Jakość przewozów w miejskim transporcie zbiorowym*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.
2. Majewski B., *Autobusy na tory, czyli integracja miejskiej komunikacji autobusowej z tramwajową w ramach wspólnych torowisk oraz węzłów przesiadkowych*, „Autobusy”, 2011, nr 12.
3. Kruszyna M., *Znaczenie węzłów przesiadkowych w miejskim transporcie zbiorowym*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2012, nr 1.
4. Olszewski P., Krukowska H., Krukowski P., *Metodyka oceny wskaźnikowej węzłów przesiadkowych transportu publicznego*, „Transport Miejski i Regionalny” 2014, nr 6.
5. Krych A., *Energetyczna oś kryterialna w planowaniu ruchu zrównoważonego*, w: *Planowanie ruchu a wyzwania globalne, Annals Inżynierii Ruchu i Planowania Transportu*, t. 3 (XI), 2019.

Szacowanie natężenia ruchu drogowego z wykorzystaniem sieci neuronowych¹

PRZEMYSŁAW SEKUŁA

dr inż., Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Uniwersytet Maryland (Department of Civil and Environmental Engineering, University of Maryland), College Park, USA, e-mail: przemeksekula@gmail.com

Streszczenie: Artykuł przedstawia metodę szacowania godzinowego natężenia ruchu drogowego opartą o sztuczne sieci neuronowe i dane z systemów GPS. Metoda ta została opracowana przez Centrum Zaawansowanych Technologii Transportowych Uniwersytetu Maryland (University of Maryland, Center for Advanced Transportation Technology) w ramach prac badawczych finansowanych przez stanowe agencje drogowe. Przedstawiona metoda umożliwia szacowanie natężenia ruchu w całej sieci drogowej z wartością błędów nie przekraczającą zazwyczaj 7%. W artykule zaprezentowano też modyfikacje, które pozwalają na wykorzystanie istniejących stacji pomiaru natężenia ruchu drogowego dla podniesienia dokładności szacowania w całej sieci drogowej oraz zaproponowano taki sposób rozmieszczania tych stacji, który maksymalizuje uzyskane wyniki. Ostatnim z przedstawionych rozwiązań jest analiza możliwości wykorzystania dużych zbiorów danych z innych obszarów oraz analiza możliwości wykorzystania modeli służących do szacowania natężenia ruchu w innych miejscach i okresach. Opisane w tej części artykułu rozwiązania pozwalają na znaczące obniżenie kosztów proponowanej metody.

Słowa kluczowe: ruch drogowy, natężenie ruchu, sieci neuronowe.

Wprowadzenie

Badania i analizy ruchu drogowego są istotnym narzędziem planowania, projektowania i zarządzania infrastrukturą transportu drogowego oraz ruchem. Wśród zastosowań badań ruchu można wymienić między innymi [1]:

- planowanie systemów i sieci transportu miejskiego oraz zamiejskiego,
- planowanie i projektowanie dróg i skrzyżowań,
- organizację ruchu,
- analizy ekonomiczne,
- zagadnienia związane z utrzymaniem dróg,
- zagadnienia związane z bezpieczeństwem,
- badania wpływu transportu drogowego na ochronę środowiska.

Bardzo intensywny w ostatnich latach rozwój technologii informatycznych otworzył nowe obszary, które znacząco rozszerzają możliwości badania i analiz ruchu. Wykorzystanie dwóch z tych obszarów, uczenia maszynowego i *Data Science* umożliwiło opracowanie metody opisanej w niniejszym artykule.

Z perspektywy badań i analiz ruchu najistotniejszą zmianą w uczeniu maszynowym było powstanie *Deep Learning* (uczenia głębokiego). Za początek *Deep Learning* uznaje się rok 2012 i służącą do klasyfikacji obrazów sieć neuronową „Alex Net” stworzoną przez Alexę Krizhevskę [2]. Samo określenie „Deep Learning” dotyczy głębokich sieci neuronowych (Deep Neural Networks). Sieci te, w porównaniu z kla-

sycznym *Machine Learning*, pozwalają na wykrywanie dużo bardziej skomplikowanych zależności pomiędzy danymi wejściowymi i wyjściowymi, a w efekcie na modelowanie dużo bardziej skomplikowanych zjawisk. W obszarze *Data Science* za najbardziej istotną z punktu widzenia analiz ruchu zmianę należy uznać stale zwiększające się możliwości przechowywania dużych zbiorów danych i powstanie związanego z tym obszaru *big data*. Rozwiązania z tego obszaru umożliwiły przechowywanie, analizę i przetwarzanie dużych i stale rosnących zbiorów danych. Dotyczy to zarówno danych ustrukturyzowanych (np. logi z systemów GPS zawierające współrzędne geodezyjne poruszających się po drogach samochodów), jak i nieustrukturyzowanych (np. zapisy wideo z kamer monitorowania ruchu). Zdolność do przechowywania i analizy tego rodzaju danych, połączona z rozwiązaniami oferowanymi przez *Deep Learning*, stworzyła nowe możliwości w zakresie badań i analiz ruchu.

Przedstawiony artykuł jest próbą podsumowania badań dotyczących wykorzystania *big data* oraz metod uczenia maszynowego na potrzeby szacowania natężenia ruchu. Badania te prowadzone były na Uniwersytecie Maryland, w Centrum Zaawansowanych Technologii Transportowych (University of Maryland, College Park, Center for Advanced Transportation Technology) w latach 2016–2020, w ramach grantów finansowanych przez stanowe agencje zarządzające drogami i autostradami oraz przez konsorcja tych agencji.

Przegląd literatury

Dwa bardzo istotne zestawy informacji, niezbędne instytucjom zarządzającym infrastrukturą drogową, to prędkość, z jaką poruszają się samochody na drodze i natężenie ruchu. Istnieją dobrze znane metody i rozwiązania służące do uzyskiwania danych o prędkości jazdy, które zostały już wdrożone do użytku praktycznego. Informacja dotycząca natężenia ruchu jest jednak znacznie trudniejsza do uzyskania, a zatem pozostaje kluczowym brakującym wymiarem pełnej i praktycznej świadomości sytuacyjnej, oceny wydajności systemu transportowego oraz opłacalnego zarządzania projektami i programami związanymi z budową i wykorzystaniem infrastruktury drogowej.

Istniejące metody dotyczące szacowania natężenia ruchu można podzielić na dwie grupy – metody parametryczne i nieparametryczne [3]. Metody parametryczne opierają się na wykorzystaniu technik regresji i autoregresji oraz ich modyfikacji w celu analizy danych historycznych. Zaletą metod parametrycznych jest pełna wiedza na temat sposobu wnioskowania tego modelu. Wadą jest fakt, że metody te są najlepsze w analizowaniu zjawisk statycznych, charak-

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2022.

teryzujących się zależnościami liniowymi pomiędzy parametrami. Wada ta istotnie ogranicza wykorzystanie metod parametrycznych do analiz ruchu drogowego, który wykazuje cechy systemu chaotycznego [4]. Metody nieparametryczne z kolei pozwalają na lepsze odwzorowanie zależności nieliniowych, co powoduje, że są częściej wykorzystywane na potrzeby analiz ruchu drogowego. Większość prac w tym zakresie dotyczy szacowania średniorocznego dziennego ruchu drogowego (Annual Average Daily Traffic – AADT), który z jednej strony jest prostszy do oszacowania, a z drugiej jest szeroko wykorzystywany przez praktyków. Do najpopularniejszych metod szacowania natężenia ruchu należą *Support Vector Machines* (SVM) [5] [6], drzew decyzyjnych [7], [8], sieci bayesowskie [9] oraz algorytmy genetyczne [10]. Stosowane są również podejścia hybrydowe, wykorzystujące więcej niż jedną metodę [11], [12].

Szczególną grupę metod nieparametrycznych stanowią sztuczne sieci neuronowe (Artificial Neural Networks – ANN). Choć pierwsze próby wykorzystania ANN na potrzeby szacowania natężenia ruchu zaczęły się już w XX wieku [13], to prawdziwy rozkwit wykorzystania tych metod nastąpił w drugiej dekadzie XXI wieku. Związane jest to z pojawieniem się *big data*. M. Karlaftis i E. Vlahogianni [14] pokazali, że jeżeli dysponujemy dużymi zbiorami danych, ANN pozwalają na lepsze szacowanie natężenia ruchu niż metody statystyczne. Do szacowania natężenia ruchu używano także sieci rozmytych [15] oraz sieci ze sprzężeniem zwrotnym (Recurrent Neural Networks) [16]. Duże ilości danych umożliwiły wreszcie wykorzystanie ANN do szacowania nie tylko wartości zagregowanych jak AADT, ale również godzinowego natężenia ruchu [17]. Godzinowe natężenie ruchu było również przedmiotem badań opisanych w tym artykule. W pierwszej fazie badań opracowano rozwiązanie, które pozwoliło na szacowanie godzinowego natężenia ruchu z większą dokładnością niż stosowane wcześniej metody i jednocześnie, ze względu na stosunkowo małe wymagania obliczeniowe, mogło być wykorzystywane w całej sieci drogowej [18]. Następnie wykorzystano dodatkowe dane pochodzące ze stacji pomiaru ruchu, aby poprawić dokładność przedstawionego rozwiązania oraz zaproponowano taką strategię lokowania tych stacji, która pozwala na maksymalizację uzyskanego efektu [19]. W ostatnim etapie opracowano i przetestowano strategię, które pozwoliły na zmniejszenie kosztów przedstawionej metody [20].

Dane

Podstawową ideą proponowanego podejścia jest przygotowanie modelu, który szacowałby natężenie ruchu drogowego jako funkcję różnych, dostępnych dla agencji transportowych, danych wejściowych. Przedstawiony problem był przedmiotem wielu implementacji, w ramach których korzystano z różnych zestawów danych, można jednak wskazać „rdzeń” – główny zestaw, który był wykorzystywany w każdym rozwiązaniu:

- **Dane z ATR.** ATR (Automatic Traffic Recorders) są to urządzenia służące do rejestrowania natężenia ru-

chu drogowego. Urządzenia te są wykorzystywane powszechnie i jednocześnie dość kosztowne. W całych Stanach Zjednoczonych znajduje się 7300 stacji ATR, co zapewnia monitorowanie ruchu drogowego na około 1.7% segmentów TMC (Traffic Message Channel – podstawowe segmenty drogowe). W rzeczywistości w użyciu jest znacznie mniej stacji – przykładowo w stanie Maryland znajduje się 85 stacji, a tylko 47 z nich mogło być wykorzystane do szacowania ruchu. Głównym celem przedstawianego rozwiązania było oszacowanie natężenia ruchu drogowego dla całej sieci drogowej (wszystkich segmentów). Toczy się dyskusja dotycząca dokładności danych ze stacji ATR, jednak na potrzeby szacowania ruchu przyjmuje się, że dane te są dokładne. W przedstawionym rozwiązaniu dane ze stacji ATR traktowane były jako dane *ground truth*.

- **Dane z systemów GPS** – surowe dane z systemów GPS zawierają (dla każdego pojazdu) trójwymiarowy zbiór punktów: współrzędne geograficzne oraz czas. W celu wykorzystania dane te są poddawane dość złożonej obróbce: grupowane są w podróże, punkty przyciągane są do sieci drogowej (snapping) i ruch jest agregowany w krótkich (najczęściej 15 min – 1h) odcinkach czasu. Tak zwane pokrycie różni się znacząco w zależności od miejsca i dostawcy danych, w większości przypadków średnie pokrycie oscylowało pomiędzy 1.7% i 3% natężenia ruchu. Dane z systemów GPS mają największe znaczenie dla szacowania ruchu. Dane te są też najkosztowniejsze do pozyskania.
- **Średnia prędkość** – dane dotyczące średniej prędkości, zagregowane w przedziałach 5-minutowych, pozyskiwane są z systemów GPS. Ponieważ średnie prędkości są o wiele łatwiejsze do uzyskania niż natężenie ruchu, dane te są dostępne dla całej sieci drogowej w USA. W badaniach pozyskiwaliśmy te dane bezpośrednio z danych GPS lub za pośrednictwem istniejących rozwiązań (np. bazy RITIS).
- **Pogoda** – dane dotyczące pogody pozyskiwane są z portali oferujących tego rodzaju usługi (np. Weather Underground). Zakres tych danych był różny, w zależności od konkretnego rozwiązania, zawsze jednak używane były dane dotyczące temperatury, opadów i widoczności.
- **Dane dotyczące infrastruktury drogowej** – klasa i rodzaj drogi, liczba pasów, maksymalna dopuszczalna prędkość (jeśli jest dostępna) itp.
- **Inne dane** – w zależności od implementacji, dostępności i rozmiaru korzystano także z innych danych, takich jak te dotyczące świąt, szacowane średnioroczne natężenie ruchu, tzw. profile natężenia, dane dotyczące dni tygodnia i inne.

Model

Przedstawione zagadnienie jest typowym zadaniem z zakresu uczenia z nadzorem (*supervised learning*). Modelem, który okazał się najlepiej rozwiązywać to zadanie, była

gęsta (dense) sieć neuronowa z trzema warstwami ukrytymi i funkcją aktywacji ELU. W sieci gęstej każdy neuron z warstwy poprzedniej połączony jest z każdym neuronem z warstwy następnej, a wartości wyjściowe neuronów w kolejnych warstwach obliczane są zgodnie z formułą:

$$a_i^{(l+1)} = f(w_i^{(l+1)} a^{(l)} + b_i^{(l+1)}) \quad (1)$$

gdzie:

- $a_i^{(l+1)}$ – jest wartością wyjściową i -tego neuronu w warstwie $l+1$,
- $w_i^{(l+1)}$ – jest wektorem wag pomiędzy i -tym neuronem w warstwie l , a wszystkimi neuronami w warstwie $l+1$,
- $b_i^{(l+1)}$ – reprezentuje wartość wyrazu wolnego (bias) skojarzoną i -tym neuronem w warstwie $l+1$, $f(x)$ jest nieliniową funkcją aktywacji.

Najlepsze rezultaty uzyskano, stosując funkcję ELU, opisaną wzorem:

$$f(x) = \begin{cases} x, & x > 0 \\ \alpha(e^x - 1), & x \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Podczas trenowania modelu wykorzystywano równoległe dwa rozwiązania. Po pierwsze, aby zmniejszyć przeuczenie (*overfitting*), zastosowano *dropout*. Technika ta okazała się dużo lepsza od bardziej popularnych metod regularyzacji L1 i L2. Przy wykorzystaniu *dropout* podczas trenowania losowo wybrane neurony są ignorowane, co oznacza, że ich wkład w aktywację dalszych neuronów jest tymczasowo usuwany, a wszelkie aktualizacje wag związanych z tymi neuronami nie są stosowane. Wartości wyjściowe neuronów wyznacza się więc zgodnie z formułą:

$$r^{(l)} \sim \text{Bern}(p) \quad (3)$$

$$\tilde{a}^{(l)} \sim r^{(l)} a^{(l)} \quad (4)$$

$$a_i^{(l+1)} = f(w_i^{(l+1)} \tilde{a}^{(l)} + b_i^{(l+1)}) \quad (5)$$

gdzie:

- p oznacza parametr rozkładu Bernoulliego (prawdopodobieństwo, że dana wielkość nie zostanie zignorowana).

Kryteria oceny modelu zmieniały się w czasie zarówno ze względu na techniczne możliwości oceny, jak i na różne oczekiwania instytucji finansujących badania. Obecnie zarówno jednostki naukowe zajmujące się tym tematem, jak i agencje będące odbiorcami produktu przyjmują, że najważniejszą miarą błędu jest *EMFR* (Error to Maximum Flow Ratio), definiowany w następujący sposób:

$$EMFR = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left| \frac{\hat{y}_j - y_j}{y_{max}} \right| \right) * 100\% \quad (6)$$

gdzie:

- \hat{y}_j oznacza wartość natężenia ruchu szacowaną przez model,

- y_j oznacza rzeczywistą wielkość natężenia ruchu,
- y_{max} oznacza maksymalne natężenie ruchu obserwowane na danym odcinku drogi.

Jako miary pomocnicze stosuje się najczęściej R^2 , *MAPE*, definiowane następująco:

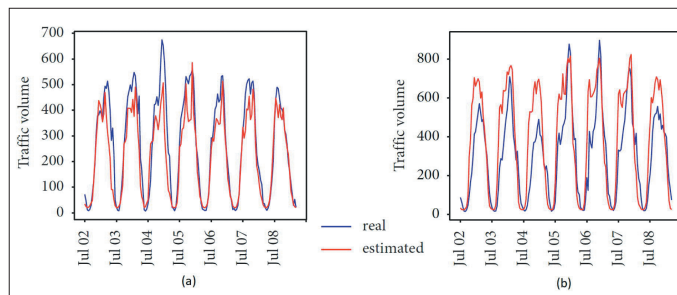
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2}{\sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y}_j)^2} \quad (7)$$

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left| \frac{\hat{y}_j - y_j}{y_j} \right| \right) * 100\% \quad (8)$$

gdzie:

- \bar{y}_j oznacza średnią mierzoną wartość natężenia ruchu.

Dokładność przedstawionej metody zależy od wielu czynników, w tym głównie od liczby i jakości dostarczonych danych, jednak już pierwszy projekt wprowadzający to rozwiązanie pozwolił na zwiększenie dokładności o około 24% względem, uważanej ówczesnie za najlepszą, metody profilowania ruchu opracowanej przez Instytut Transportu w Teksasie (Texas Transportation Institute). W zdecydowanej większości przypadków *EMFR* wynosi około 5–7%, a w żadnym z badanych modeli nie było większe niż 10%. Przykładową wizualizację wyników dla *EMFR* równego 5% i 10% przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Rzeczywiste (niebieski) i szacowane (czerwony) natężenie ruchu drogowego dla *EMFR* = 5% (a) i 10% (b)

Źródło: [20]

Modyfikacje

Dalsze prace związane z usprawnieniem przedstawionego rozwiązania skupione były wokół dwóch głównych celów. Pierwszym z nich jest poprawa dokładności modeli, a drugim zmniejszenie kosztów zastosowania metody, przy szacowaniu ruchu na całej sieci drogowej. W zakresie poprawy jakości modeli najskuteczniejszym rozwiązaniem okazało się wykorzystanie wybranych stacji monitorowania ruchu jako danych wejściowych do przedstawionego modelu. Intuicyjnie, jeżeli do modelu dostarczone zostaną informacje o rzeczywistym ruchu w niektórych miejscach sieci drogowej, powinno to pomóc w dokładniejszej estymacji natężenia ruchu w pozostałych miejscach sieci. Rodzi to dwa istotne pytania badawcze: po pierwsze, jak ułożyć wykorzystywane jako dane wejściowe stacje pomiaru

natężenia ruchu, aby zmaksymalizować efekt, a po drugie, jakie dodatkowe informacje należy dostarczyć do modelu. Zaproponowane rozwiązanie [19] polega na takim rozmieszczeniu stacji, aby zminimalizować sumę odległości pomiędzy każdym segmentem drogi a najbliższą stacją badania natężenia ruchu. Problem ten można sformalizować jako szukanie minimum

$$\min \sum_{i \in A, j \in T} x_{ij} t_{ij} \quad (9)$$

z zastrzeżeniem:

$$\sum_{i \in A} x_{ij} = 1, \forall j \in T \quad (10)$$

$$\sum_{i \in A} y_i = n \quad (11)$$

$$x_{ij} \leq y_i, \forall i \in A, j \in T \quad (12)$$

$$x_{ij}, y_i \in \{0,1\}, \forall i \in A, j \in T \quad (13)$$

gdzie:

T jest zbiorem wszystkich segmentów sieci drogowej,
 A jest zbiorem wszystkich możliwych lokalizacji stacji pomiaru natężenia ruchu (ATR),

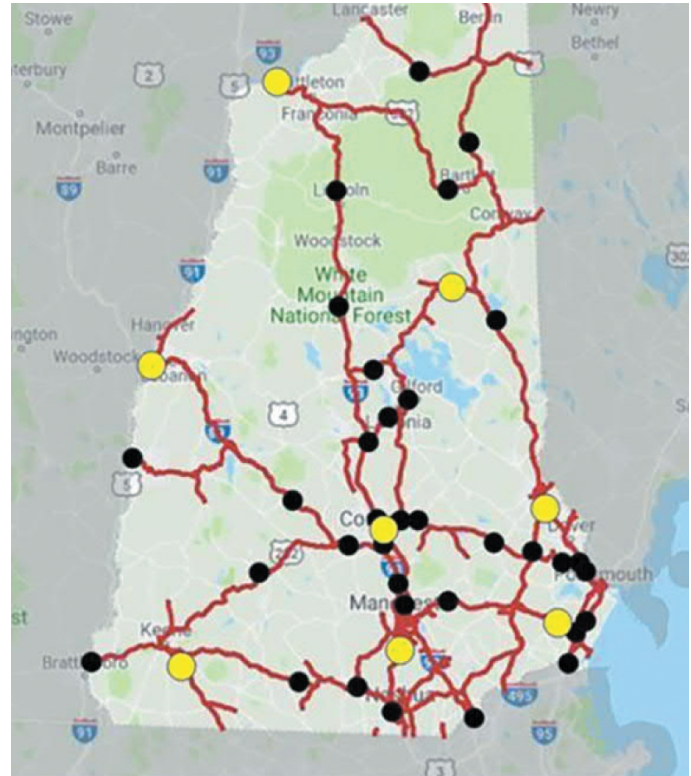
t_{ij} jest odległością pomiędzy j -tym segmentem sieci TMC_j , $j \in T$, a i -tą stacją lokalizacją stacji ATR _{i} , $i \in A$,

y_i jest wartością binarną równą 1, jeśli stacja ATR _{i} została wybrana zgodnie z przedstawianym algorytmem i 0 w przeciwnym wypadku, a x_{ij} jest wartością binarną równą 1, jeśli lokalizacja ATR _{i} znajduje się najbliżej segmentu TMC_j ze wszystkich lokalizacji i 0 w przeciwnym wypadku.

Przykładowe rozmieszczenie stacji zgodnie z prezentowanym algorytmem przedstawiono na rysunku 2.

Rozwiązanie to pozwoliło na zwiększenie względnej dokładności modelu o 13,44% w przypadku miary EMFR i o 35,39% w przypadku miary MAPE. Dokładny opis tego rozwiązania, wraz z analizą istotności dodatkowych informacji (*features*), które należy dostarczyć do modelu, znajduje się w artykule „Estimating Hourly Traffic Volumes using Artificial Neural Network with Additional Inputs from Automatic Traffic Recorders” [19].

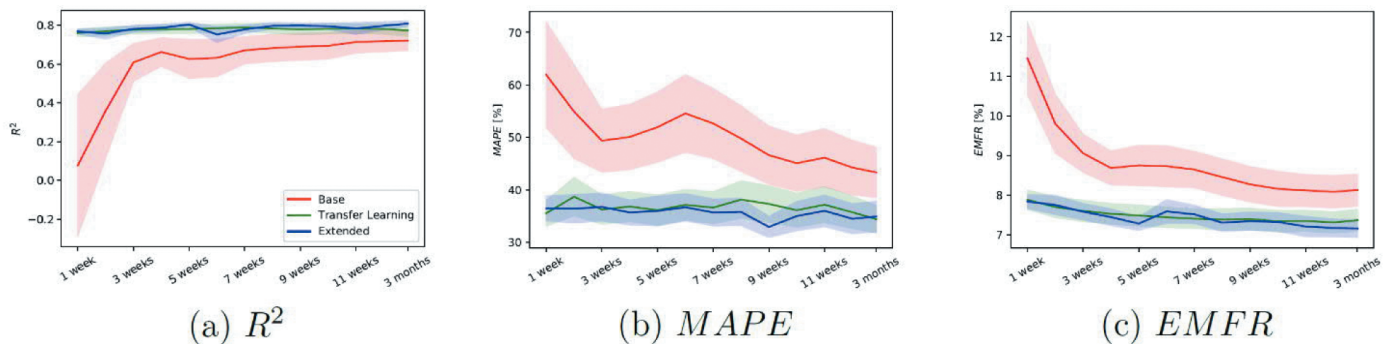
Kolejne prace miały na celu obniżenie kosztów szacowania natężenia ruchu [20]. Dwa główne źródła kosztów to utrzymanie stacji monitorowania natężenia ruchu i zakup danych GPS. Zarówno budowa i utrzymanie stacji monitorowania natężenia ruchu, jak i zakup danych jest w USA zadaniem władz stanowych. Wydatki te nie skalują się liniowo, co powoduje, że problem jest szczególnie istotny dla mniejszych stanów. W badaniach szukano możliwości wykorzystania zbiorów danych i modeli dotyczących innych stanów w celu minimalizacji kosztów przy jednoczesnym zachowaniu dokładności. Wykorzystanie wcześniej wytrenowanych modeli na nowym obszarze okazało się nieskuteczne, co spowodowało poszukiwanie innych rozwiązań. Istotne okazały się dwa z analizowa-



Rys. 2. Stacje pomiaru natężenia ruchu w stanie New Hampshire. Stacje oznaczone kolorem żółtym zostały wybrane zgodnie z prezentowanym algorytmem jako stacje dostarczające danych wejściowych do modelu, a pozostałe stacje wykorzystane zostały do trenowania i oceny modelu

Źródło: [19]

nych podejść. Pierwsze z nich zakłada dostęp do dużego zbioru danych, który może pochodzić z innego obszaru i/lub być zgromadzony w innym czasie. Nowy model trenowany jest przy wykorzystaniu zarówno aktualnych, jak i dodatkowych danych. Podejście to, po rozwiązaniu problemów dotyczących wstępnego przetwarzania i uspołnieniu danych, pozwoliło na utrzymanie dokładności modelu przy trenowaniu modelu z wykorzystaniem (nowych) danych, gromadzonych w pięć razy krótszym okresie, przy jednoczesnym wykorzystaniu czterokrotnie mniejszej liczby stacji pomiaru natężenia ruchu. Rozwiązanie takie ma jednak jedną istotną wadę – wymaga dostępu do dużo większego zbioru danych, co wiąże się z uprawnieniami licencyjnymi. Dane z systemów GPS sprzedawane są – w ogólnym ujęciu – na dwóch znacząco różniących się ceną licencjach: do użytku, w jednym, konkretnym projekcie, lub do dowolnego zastosowania. Przy pierwszej, dużo tańszej licencji, przekazanie danych do innego stanu nie jest możliwe. Rozwiązaniem okazało się zastosowanie *Transfer Learning* – podejścia wywodzącego się z bardziej ogólnej koncepcji *Transferability*. *Transferability* w ogólnym ujęciu może być analizowana w dwóch wymiarach, czasowym i przestrzennym. W wymiarze czasowym jest to możliwość wykorzystania istniejących obserwacji i modeli wytrenowanych na tych obserwacjach w celu szacowania wartości wyjściowych w innym czasie. *Transferability* w wymiarze przestrzennym oznacza możliwość wykorzystania danych i modeli do szacowania wartości wyjściowych w obszarach, z których nie pochodzą te



Rys. 3. Średnie wskaźniki jakości modelu R^2 (rys. a), MAPE (rys. b) i EMFR (rys. c) dla przyjętych strategii w zależności od rozmiaru „mniejszego” zbioru danych, dotyczącego obszaru docelowego. „Base” odpowiada modelowi trenowanemu tylko na mniejszym zbiorze danych, „Extended” to model trenowany na połączonych zbiorach danych, a „transfer Learning” dotyczy modelu wstępnie wytrenowanego na dużym zbiorze, a następnie dostrójonego z wykorzystaniem mniejszego zbioru. Szerokość „wstażki” jest proporcjonalna do odchylenia standardowego
Źródło: [20]

dane. *Transfer Learning*, jako szczególny przypadek *Transferability* dotyczy wykorzystania modeli opartych na uczeniu maszynowym, w tym sieci neuronowych, dla których rozwiązanie to jest szczególnie przydatne [21]. Aby skutecznie zastosować *Transfer Learning*, potrzebna jest sieć neuronowa wytrenowana wstępnie na dużym zbiorze danych. Kolejne neurony i warstwy takiej sieci odpowiadają za odkrycie w zbiorze takich zależności, które ułatwiają dalszą predykcję. Następnie model taki trenowany jest na małym zbiorze danych częściowo (trenowane są tylko ostatnie warstwy sieci) lub z bardzo małym parametrem uczenia się. W efekcie model nie traci zdolności ekstrakowania złożonych zależności z danych, a jednocześnie dostosowuje generowane przez siebie wartości do nowego zbioru. W opisywanych badaniach model został wstępnie wytrenowany na zbiorze danych z Florydy (duży stan), a następnie dotrenowany w New Hampshire. Rozwiązanie to pozwoliło na uzyskanie wyników, które w praktyce pokrywały się z wynikami uzyskanymi przy trenowaniu na znacznie większym zbiorze. Wyniki te przedstawione są na rysunku 3.

Przedstawione rezultaty wskazują na dwie rzeczy. Po pierwsze, w obydwu podejściach zastosowanie większego zbioru danych znacząco poprawiło dokładność modelu. Po drugie, w przypadku korzystania z klasycznego (Base) podejścia, jeśli zbiór danych dotyczył okresu krótszego niż 1 miesiąc, następowało znaczące pogorszenie się dokładności szacowania natężenia ruchu. Przy wykorzystaniu dużego zbioru danych pochodzącego z innego miejsca, możliwe jest zmniejszenie rozmiaru właściwego zbioru nawet do 1 tygodnia, bez istotnego uszczerbku na wynikach. Przedstawiona modyfikacja ma znaczenie nie tylko ze względu na cenę zbioru danych z systemów GPS, ale przede wszystkim – ze względu na sposób zbierania danych o rzeczywistym natężeniu ruchu. Jeżeli tydzień danych wystarcza do opracowania modelu, utrzymywanie stacji pomiaru natężenia ruchu nie jest konieczne. W zamian można wykorzystać rozwiązania służące do krótkotrwałego pomiaru natężenia ruchu, tzw. Short Term Count Stations, które są mniej trwałe, ale wielokrotnie tańsze. Rozwiązanie to otwiera więc możliwość uzyskania danych dotyczących natężenia ruchu drogowego dla mniejszych

stanów USA, a nawet dla hrabstw – mniejszych jednostek terytorialnych.

Podsumowanie

Artykuł prezentuje wyniki badań dotyczących szacowania godzinowego natężenia ruchu drogowego. Przedstawione rozwiązanie, oparte na sieciach neuronowych i danych z systemów GPS, charakteryzuje się następującymi cechami:

- Jest wystarczająco dokładne do zastosowań z zakresu planowania i działań operacyjnych. Dokładność ta jest zazwyczaj określana przez praktyków z pomocą miary błędu $< 10\%$. W przedstawionym rozwiązaniu dokładność wynosi w przybliżeniu $= 6\text{--}7\%$.
- Dzięki stosunkowo niewielkiej złożoności obliczeniowej jest stosowane do szacowania natężenia ruchu drogowego w całej sieci drogowej.
- Umożliwia wykorzystanie istniejących stacji pomiaru natężenia ruchu zarówno na potrzeby trenowania modelu, jak i do podniesienia dokładności rozwiązania.
- Dzięki wykorzystaniu *Transfer Learning* jest dostępne cenowo także dla mniejszych stanów i na poziomie lokalnym (hrabstw).

Omawiane rozwiązanie jest obecnie w fazie komercjalizacji. Równocześnie kontynuowane są prace badawcze. Prace te skupiają się na dwóch głównych obszarach.

Szacowanie natężenia ruchu w krótszych niż 60 minut oknach czasowych. Wstępne nieopublikowane jeszcze wyniki opracowane na Uniwersytecie Maryland, w Centrum Zaawansowanych Technologii Transportowych pokazują, że przy odpowiednio dużym zbiorze danych przedstawiona metoda i źródła danych są wystarczające dla szacowania natężenia ruchu w oknach piętnastominutowych. Zwiększenie tej granulacji wiąże się ze znaczącym spadkiem dokładności szacowania.

Zwiększenie dokładności szacowania natężenia ruchu. W ogólnym ujęciu dokładność może być poprawiona dzięki lepszym danym, bądź lepszym wykorzystaniu istniejących danych. Najbardziej obiecujące prace w tym obszarze zostały przedstawione przez dr Sarę Zahedian [22]. Rozwiązanie to opiera się na *Graph Neural Networks* (GNN). Sieci

neuronowe typu GNN wykorzystują powiązania pomiędzy poszczególnymi punktami danych, które można przedstawić w postaci grafu. Jedną z bardziej istotnych ról takiej sieci jest możliwość wykorzystania danych rzeczywistych (*ground truth*) w tych węzłach grafu, w których mamy do nich dostęp, w celu estymacji odpowiadających wartości w pozostałych węzłach. Sieci drogowe można w naturalny sposób przedstawić za pomocą grafu, a te segmenty dróg, na których znajdują się stacje pomiaru natężenia ruchu, można potraktować jako węzły z wartościami *ground truth*. W swojej pracy doktorskiej dr Zahedian wykazała, że wykorzystanie GNN umożliwia znaczącą poprawę wyników, przy równoczesnym wykorzystaniu stosunkowo niewielkich zbiorów danych. Problemem, który nie został jeszcze rozwiązany, jest złożoność obliczeniowa takiego rozwiązania. W wariantcie proponowanym przez dr Zahedian jest ona zbyt duża, aby sieci GNN dało się wykorzystywać do szacowania natężenia ruchu drogowego w dużej sieci (np. dla całego stanu lub dużego miasta).

Z punktu widzenia komercjalizacji przedstawionego rozwiązania największym wyzwaniem jest przygotowanie rozwiązań, które umożliwią szacowanie natężenia ruchu w czasie rzeczywistym. Wiedza o historycznym natężeniu ruchu drogowego przydaje się w działaniach planistycznych oraz analizach, jednak jej wykorzystanie na potrzeby działań operacyjnych jest ograniczone. O ile prezentowane modele przystosowane są do działania w czasie rzeczywistym, o tyle problemem jest dostarczenie do nich odpowiednich danych. W przeciwieństwie do relatywnie łatwo dostępnych danych dotyczących prędkości czy pogody dostęp w czasie rzeczywistym do informacji o liczbie pojazdów z włączonymi systemami GPS jest bardzo utrudniony. Wyzwaniem jest również powiązanie tych danych z drogami. Dane z systemów GPS to współrzędne geograficzne – przyporządkowanie ich do poszczególnych dróg w czasie rzeczywistym jest zadaniem dość złożonym obliczeniowo. Najbardziej popularne rozwiązanie (Open Source Routing Machine) wymaga mocy obliczeniowych, które znacząco podrażają koszt całego przedsięwzięcia. Trwają więc badania, których celem jest opracowanie mniej złożonych obliczeniowo i jednocześnie tańszych rozwiązań.

Literatura

- Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego: teoria i praktyka*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2009.
- Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E., *ImageNet classification with deep convolutional neural networks*, 25th International Conference on Neural Information Processing Systems, 2012.
- Slimani N., Slimani I., Sbiti N., Amghar M., *Traffic forecasting in Morocco using artificial neural networks*, „Procedia Computer Science”, 2019, vol. 151.
- Shang P., Li X., Kamae S., *Chaotic analysis of traffic time series*, „Chaos, Solitons & Fractals”, vol. 25, no. 1.
- Islam S., *Estimation of annual average daily traffic (AADT)*, Clemson, SC, USA: rozprawa doktorska, 2016.
- Zhang Y., Liu Y., *Traffic forecasting using least squares support vector machines*, „Transportmetrica”, 2009, vol. 5, no. 3.
- Xu Y., Kong Q., Liu Y., *Short-term traffic volume prediction using classification and regression trees*, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2013.
- Alajali W., Zhou W., Wen S., Wang Y., *Intersection traffic prediction using decision tree models*, „Symmetry”, 2018, vol. 10, no. 9.
- Sun S., Zhang C., Yu G., *A bayesian network approach to traffic flow forecasting*, „IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems”, 2006, vol. 7, no. 1.
- Abdulhai B., Porwal H., Recker W., *Short-term traffic flow prediction using neuro-genetic algorithms*, „Intelligent Transportation Systems Journal”, 2002, vol. 7, no. 1.
- Wu Y., Tan H., Qin L., Ran B., Jiang Z., *A hybrid deep learning based traffic flow prediction method and its understanding*, „Transportation Research Part C: Emerging Technologies”, 2018, vol. 90.
- L. Li, X. Qu, J. Zhang, Y. Wang and B. Ran, “Traffic speed prediction for intelligent transportation system based on a deep feature fusion model”, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 6, 2019.
- Sharma S., Lingras P., Xu F., Liu G., *Neural networks as alternative to traditional factor approach of annual average daily traffic estimation from traffic counts*, „Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board”, 1999, vol. 1660, no. 1.
- Karlaftis M., Vlahogianni E., *Statistical methods versus neural networks in transportation research: differences, similarities and some insights*, „Transportation Research Part C: Emerging Technologies”, 2011, vol. 19, no. 3.
- Gastaldi M., Gecchele G., Rossi R., *Estimation of annual average daily traffic from one-week traffic counts. a combined ann-fuzzy approach*, „Transportation Research Part C: Emerging Technologies”, 2014, vol. 47, no. 1.
- Khan Z., Khan S., Dey K., Chowdhury M., *Development and evaluation of recurrent neural network-based models for hourly traffic volume and annual average daily traffic prediction*, „Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board”, 2019, vol. 2673, no. 7.
- Noekhan A., Zahedian S., Hagani A., *A deep learning model for off-ramp hourly traffic volume estimation*, „Transportation Research Record”, 2021, vol. 2675, no. 7.
- Sekuła P., Marković N., Vander Laan Z., Farokhi Sadabadi K., *Estimating Historical Hourly Traffic Volumes via Machine Learning and Vehicle Probe Data: A Maryland Case Study*, „Transportation Research Part C: Emerging Technologies”, 2018, vol. 97.
- Zahedian S., Sekuła P., Noekhan A., Vander Laan Z., *Estimating Hourly Traffic Volumes using Artificial Neural Network with Additional Inputs from Automatic Traffic Recorders*, „Transportation Research Record”, 2020, vol. 2674, no. 3.
- Sekuła P., Vander Laan Z., Farokhi Sadabadi K., Kania K., Zahedian S., *Transferability of a machine learning-based model of hourly traffic volume estimation – Florida and New Hampshire case study*, „Journal of Advanced Transportation”, 2021.
- Tan C., Sun F., Kong T., Zhang W., Yang C. and Liu C., *A survey on deep transfer learning*, 2018, <https://arxiv.org/abs/1808.01974>, 2018.
- Zahedian S., *Introducing a Graph-Based Neural Network for Networkwide Traffic Volume Estimation*, College Park: rozprawa doktorska, 2021.

ANDRZEJ RUDNICKI

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

Uwarunkowania i zagrożenia dla rozwoju i funkcjonowania komunikacji tramwajowej^{1,2,3}

Streszczenie: Ujęcie uwarunkowań i zagrożeń dla rozwoju i funkcjonowania komunikacji tramwajowej nawiązuje do analizy SWOT, z tym że niektóre segmenty tej analizy zostały scalone. W artykule przedstawiono w zarysie ponadczasową rolę komunikacji tramwajowej, z okresami jej regresu i odrodzenia, która jednak pozostaje nadal stabilnym elementem rozwoju miejskich systemów transportowych. Omówiono charakterystykę techniczną i funkcjonalną systemu tramwaju szybkiego oraz kwestie terminologiczne. Krótko opisano funkcjonujące rozwiązania tramwaju szybkiego w kilku polskich miastach, wskazując na ich specyfikę. Wielorakie uwarunkowania i zagrożenia uporządkowano w zakresie odnoszącym się do komunikacji tramwajowej oraz do innych elementów systemu transportowego. Ustosunkowano się także do kontekstu urbanistycznego i politycznego oraz do aspektów ekonomicznych, społecznych i środowiskowych. Zarysowano działania na rzecz poprawy wydolności sieci tramwajowej. Częstym odniesieniem ilustrującym niektóre aspekty analizy jest przypadek realizowanej obecnie inwestycji przedłużenia linii tramwaju szybkiego do Górki Narodowej w Krakowie. Podsumowanie syntetyzuje najbardziej istotne spostrzeżenia dotyczące wybranych kwestii.

Słowa kluczowe: transport miejski, komunikacja tramwajowa, sieć tramwajowa, szybki tramwaj.

Wprowadzenie

Przedstawione ujęcie łączy w sobie wszystkie bloki podejścia analizy SWOT [23]. Uwarunkowania rozwoju wynikają z mocnych (**S** – *Strengths*) stron, czyli wszystkiego, co stanowi atut, przewagę lub zaletę, a także – z szans (**O** – *Opportunities*), czyli wszystkiego, co stwarza pomyślną okoliczność korzystnej zmiany. Natomiast zagrożenia (**T** – *Threats*) rozwoju, czyli wszystko to, co stwarza niebezpieczeństwo zmiany niekorzystnej – są konsekwencją słabych (**W** – *Weaknesses*) stron, czyli wszystkiego, co stanowi słabość, barierę lub wadę. Takie ujęcie oznacza połączenie opisu cech wewnętrznych przedmiotu analizy z cechami zewnętrznymi, z rozpatrywaniem dwukierunkowości powiązań. Zaproponowane ujęcie spaja dwie wykładnie interpretacyjne analizy SWOT traktujące: mocne strony i słabe strony – jako czynniki wewnętrzne lub cechy stanu obecnego, a szanse i zagrożenia – jako czynniki zewnętrzne lub spodziewane zjawiska przyszłe.

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2022.

² Artykuł stanowi obszerne rozwinięcie niepublikowanych referatów autora wygłoszonych na seminariach: „Przesłanki planowania tramwaju szybkiego”. II Ogólnopolskie Seminarium Specjalistyczne „Innowacyjny tramwaj” (Kraków, 15.10.2020) oraz „Zagrożenia dla rozwoju i funkcjonowania komunikacji tramwajowej”. III Ogólnopolskie Seminarium Specjalistyczne „Tramwaj jako innowacyjny środek transportu” (Kraków, 27.10.2021).

³ Treść artykułu była przewidziana do wygłoszenia w programie konferencji „Aktualne problemy transportu zbiorowego w miastach i aglomeracjach”. Kraków, 8–9.09.2022.

Są to uwarunkowania i przesłanki bezpośrednie, czyli skierowane na działania techniczne i efekty funkcjonalne w sferze transportu, lecz także o charakterze pośrednim, skutkujące osiąganiem celów politycznych oraz korzyściami urbanistycznymi, ekonomicznymi i społecznymi. Celem artykułu jest uświadomienie wieloaspektowości przesłanek. Zamierza się to uzyskać przez wyartykułowanie i uporządkowanie różnorodności uwarunkowań i pokazanie rozległości skutków rozwijania komunikacji tramwajowej. W wielości znaczeń słowa „uwarunkowanie” mieszczą się pojęcia: kontekst, przesłanka, postulat, uzasadnienie, współzależność, determinanta, konsekwencje, zagrożenie. Wyszczególnienie uwarunkowań i zagrożeń nie będzie przebiegać według takiego podziału, lecz będzie uporządkowane w układzie przedmiotowym.

Tak zarysowany problem jest bardzo szeroki, dlatego większość kwestii ma odniesienie hasłowe, a tylko niektóre z nich zostały rozwinięte, choć wszystkie na to zasługiwałyby – nawet jednowierszowe. Artykuł ma być tylko przyczynkiem do dyskusji nad rolą komunikacji tramwajowej w obsłudze transportowej miast i nie aspiruje do wyczerpania tematu.

Ponadczasowa rola tramwaju

Historia tramwaju elektrycznego sięga 140 lat; w tym czasie ten środek transportu doświadczał różnych kolei losu. Nie jest to miejsce, aby ten proces szerzej opisać. Rozwój komunikacji tramwajowej został zahamowany po II wojnie światowej, wiele takich systemów w Ameryce Północnej i w Europie Zachodniej zlikwidowano, a w kilku krajach prawie całkowicie. Zostało to spowodowane rosnącą rolą samochodu osobowego, który stał się powszechnie dostępny, przy równoczesnym postrzeganiu tramwaju jako utrudniającego ruch samochodowy. Uznano utrzymywanie komunikacji tramwajowej za przeżytek, a nawet za symbol zacofania. Skutkowało to decyzjami władz o jej likwidacji oraz zastępowania metrem i liniami autobusowymi.

Trudności z uporaniem się z rosnącym zatłoczeniem motoryzacyjnym, wysokie koszty budowy metra klasycznego, a także rosnąca świadomość ekologiczna, to główne powody renesansu tramwaju w krajach zachodnich. Przełamane zostało przekonanie, że tramwaju przebiegającego ulicami nie udaje się przyspieszyć oraz, że jego funkcjonowanie nie może się odbywać kosztem utrudnień dla ruchu samochodowego. Poprzednio taka ocena napędzała rozwój metra, a równocześnie wpływała na zaniechanie rozwoju, a nawet likwidację komunikacji tramwajowej. Ale przecież system priorytetów w ruchu i wydzielanie torowisk może zapewnić duże przyspieszenie tramwaju,

a ponadto nie tylko nie można, ale trzeba na części obszarów zurbanizowanych ograniczać ruch samochodowy, w tym poprzez jego utrudnianie.

Proces przywracania tramwaju został w krajach zachodnich zapoczątkowany w latach 80. XX wieku, doprowadzając do rozbudowy lub powstawania od podstaw systemów tramwajowych. Był on szczególnie dynamiczny w Stanach Zjednoczonych i Francji, gdzie powstało ich (do stanu obecnego) – odpowiednio 40 i 29. Jak wynika z zestawienia podanego w [24], tramwaj funkcjonuje na świecie w 425 miastach lub zespołach miejskich, w tym najwięcej – bo w 285 – w Europie.

W Polsce proces likwidacji komunikacji tramwajowej przypadający głównie na lata 50. i 60. XX wieku objął 18 miast małych i średnich, natomiast w miastach dużych likwidowano tylko niektóre linie. Równocześnie w miastach dużych następowała stopniowa rozbudowa sieci tramwajowej. Zmiana ustrojowa zastała infrastrukturę torową i taborową w wysokim stopniu zdekapitalizowaną. Zadaniem samorządów w latach 90. było zahamowanie procesu jej dalszej degradacji. Ważnym impulsem do modernizacji i rozwoju komunikacji tramwajowej w Polsce stała się dostępność wsparcia finansowego Unii Europejskiej. Obecnie w Polsce funkcjonuje według [25, 26] 15 systemów tramwaju elektrycznego, w tym największy, bo obejmujący 12 miast, ma miejsce w konurbacji górnośląskiej. Olsztyn jest jedynym miastem w Polsce, które zlikwidowało (w 1965 roku) tramwaj, po czym go odtworzono w roku 2015.

W świetle powyższych zestawień nie powinna budzić zastrzeżeń konstatacja, że komunikacja tramwajowa może stanowić racjonalną, a zatem nadal realizowaną, opcję rozwojową transportu miejskiego. W miastach, w których nieprzerwanie istnieje, może być jej rozwój postrzegany jako napędzany siłą inercji. Jednak o ponadczasowości tego rozwiązania świadczy fakt, że po okresie prawie całkowitej likwidacji sieci tramwajowych, po latach powrócono do tej idei. Okazało się, że przywrócenie tramwaju nie było tylko eksperymentem, z którego można się wycofać, ale stało się trwałym asumptem do dalszego rozwoju. Szczególnie we Francji uznano [22] – w przeciwieństwie do wcześniejszych opinii – że jest to rozwiązanie o charakterze wyłącznie technicznym, że komunikacja tramwajowa jest czynnikiem współtworzącym strukturę miasta, kształtującym jego przestrzeń publiczną.

Najbardziej oczekiwaną rekomendowaną opcją rozwoju komunikacji tramwajowej jest „szybki tramwaj”, ze względu na relatywnie wysoką prędkość komunikacyjną oraz niezawodność i punktualność kursowania, czyli cechy powszechnie oczekiwane przez pasażerów.

Tramwaj szybki

Istnieje wiele definicji bądź opisów tego rodzaju transportu miejskiego, na przykład w [2, 3, 4, 13, 15, 16, 21, 26, 27, 28, 29, 30, 31], z których wyłania się charakterystyka tramwaju szybkiego, często jako odniesienie do tramwaju klasycznego, a czasami porównuje się go z metrem lub klasyczną koleją obsługującą zespoły miejskie.

Tramwaj szybki w odróżnieniu od tramwaju zwykłego charakteryzuje się prawie pełną segregacją od pozostałego ruchu miejskiego – jego ruch jest prowadzony po wydzielonym, izolowanym torowisku. Linie szybkiego tramwaju na ogół przebiegają w strefach centralnych miasta pod ziemią, a na pozostałych obszarach – na estakadach bądź wygrodzonych oddzielnych torowiskach z przecięciami z innymi ciągami transportowymi przeważnie w różnych poziomach. Systemy sterowania ruchem zapewniają tramwajom priorytety w przejeździe na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną oraz na krzyżujących się w jednym poziomie przejściach dla pieszych. Zastosowany nowoczesny tabor wielkopojemny (zwykle wielozłonowy – nawet czteroprzegubowy), z dużą liczbą szerokich drzwi zapewniających sprawną wymianę pasażerów na przystankach, powinien kursować z wysoką częstotliwością. Tramwaj szybki ma identyczny system zasilania jak tramwaj klasyczny i może być obsługiwany przez taki sam tabor. Pewne fragmenty sieci mogą być wykorzystywane wspólnie przez tramwaj szybki i klasyczny. Zalecana przeciętna odległość między przystankami wynosi 500 m w centrum, do 1000 m na peryferiach miasta.

Ze względu na uciążliwość dla pasażerów długiego dojeżdżania do przystanków w przypadku dużych odległości międzyprzystankowych zalecenia amerykańskie rekomendują zmniejszenie tych odległości odpowiednio do 300 i 600 m, co jednak obniża prędkość komunikacyjną. Gęstość przystanków w obszarze śródmiejskim jest – w porównaniu do tramwaju klasycznego – wyraźnie niższa w dzielnicach zewnętrznych. Od tramwaju szybkiego oczekuje się prędkości komunikacyjnej co najmniej 25 km/h oraz zdolności przewozowej nawet 15 tysięcy pas./h. W porównaniu z tramwajem klasycznym tramwaj szybki zapewnia wyższą jakość usług przewozowych, także pod względem punktualności i niezawodności kursowania. W początkowym okresie wprowadzania tramwaju szybkiego (od lat 80. XX wieku) eliminacja kolizji z innymi użytkownikami ulic uzyskiwana była poprzez powadzenie jego tras w tunelach i na estakadach, w wielu przypadkach w formule premetra. W chwili obecnej eliminacja kolizji z innymi użytkownikami ulic uzyskiwana jest głównie poprzez zastosowanie elektronicznych systemów sterowania, co znacznie obniża koszty realizacji przedsięwzięcia.

Obecnie postępuje proces integracji tramwaju szybkiego i konwencjonalnego nawet w przypadkach, kiedy ich sieci miały z założenia funkcjonować oddzielnie i niezależnie. Torowe powiązania tras tramwaju szybkiego z siecią tramwaju klasycznego zapewniają bezpośrednio przewozu pasażerów, a tym samym wpływają na zmniejszenie przesiadkowości.

W literaturze polskiej termin „szybki tramwaj” pojawił się na przełomie lat 70. i 80. XX wieku [14, 15]. Było to zapewne związane z reakcją na dostrzeżoną zapowiedź realizacji takich rozwiązań w Kanadzie, RFN, USA i ZSRR. Termin szybko się przyjął, gdyż rezonuje pozytywnym odbiorem społecznym. Należy wspomnieć o kwestii jego przystawalności do obcojęzycznych odpowiedników. Tram-

waj szybki (*Schnellstraßenbahn*) pojawił się w Niemczech już z początkiem XX wieku [2, 29], choć pod względem technicznym nie odpowiadał jeszcze współczesnemu rozumieniu tramwaju szybkiego – była to nieco ulepszona wersja ówczesnego tramwaju klasycznego. Z czasem termin ten został zastąpiony [30] przez *Stadtbahn* (kolej miejska), który pierwotnie był trasowany na zasadach jak metro, a w ostatnich dekadach – już jako usytuowany w poziomie ulic z priorytetami w sygnalizacji świetlnej, czyli mieszczący się w szerszej formule tramwaju szybkiego.

Termin *Light rail transit* (LRT), czyli lekka komunikacja szynowa został wprowadzony w Ameryce Północnej w latach 70. XX wieku [31]. Przymiotnik „lekki” odnosi się do niewielkiej (w stosunku do konwencjonalnej kolei) pojemności pasażerów, a nie do fizycznej masy pojazdów (choć w istocie tramwaj jest znacznie lżejszy od wagonów metra lub od klasycznego pociągu (*heavy rail*). Pomimo że termin *light rail* nie zawiera przymiotnika szybki, to tak jest rozumiany. Aby silniej tę cechę wyartykułować używa się w [21] terminu „*Light rail rapid transit*” (LRRT), rozumiejąc pod tym system z torowiskiem całkowicie wydzielonym, bez kontaktu z trasami dla innych użytkowników. Użycie ogólnego terminu *light rail* pozwala uniknąć poważnych niezgodności między brytyjskim angielskim a amerykańskim angielskim [31].

W Wielkiej Brytanii i wielu byłych koloniach brytyjskich słowo „tramwaj” (jako pojazd) jest powszechnie używane jako *tram*, natomiast w Ameryce Północnej głównie jako *streetcar*. Analogicznymi odpowiednikami w odniesieniu do trasy są „*tramway*” oraz „*street railway*”, a także w omawianych kontekstach jako *transport* oraz *transit*. Stosowane niekiedy w języku polskim terminy „lekka kolej” oraz „lekkie metro” (*light metros*) są kalkami językowymi. Spolszczone słowo „tramwaj” odnosi się przede wszystkim do pojazdu, ale potocznie także do linii tramwajowej, a najszerszej – nawet do komunikacji tramwajowej.

Polska nazwa „szybki tramwaj” ma wprost odpowiednik w języku rosyjskim *skorostnoj tramwaj*, którego rozwój w latach 80. XX wieku i późniejszych latach na obszarze byłego Związku Radzieckiego miał swoją specyfikę [3]. Struktura trasy była zbliżona do metra, lecz z mniejszym udziałem tuneli, system był niepowiązany z siecią tramwaju klasycznego (zwykłego). Odległości międzyprzystankowe były stosunkowo duże – wynosiły 700–800 m w centrum, a na peryferyjnych i wylotowych odcinkach 1200–1300 m, co skutkowało tym, że prędkość komunikacyjna wynosiła ponad 30 km/h.

Zatem termin „szybki tramwaj” i jego obcojęzyczne odpowiedniki jest pojęciem pojemnym, a przez to nieostrym i w pewnym zakresie niejednoznacznym. Dotyczy to zestawu wymogów infrastrukturalnych i funkcjonalnych, które musi spełniać, aby go uznać jako szybki. Nastręcza to trudności interpretacyjne, na przykład czy w zestawieniu w [24] systemów tramwajowych na świecie, jako tramwaj szybki można uznać nazywane tam *light rail* lub *Stadtbahn*, których obecnie jest 99, najwięcej w USA – 27. Wszystkie systemy w Polsce są tam klasyfikowane jako „*tram*”.

Prędkość komunikacyjna (najczęściej jest to podawana wartość co najmniej 25 km/h) stanowi główne – co zrozumiałe – kryterium uznawania tramwaju jako szybki. W tramwaju klasycznym na ogół ta prędkość nie przekracza 20 km/h. Wcześniej wysokie prędkości były osiągnięte przez odpowiednią infrastrukturę budowlaną (trasa w wykopie lub na estakadzie oraz w tunelu), zapewniając bezkolizyjne przejazdy. Obecnie można tę postulowaną prędkość uzyskać w rozwiązaniach jednopoziomowych, ale z priorytetami dla tramwajów na skrzyżowaniach i przejazdach.

Dylematem jest, czy ta prędkość ma się odnosić do odcinka trasy z założenia budowanej dla szybkiego tramwaju, czy do linii wklejonej w całą sieć, z której korzysta także tramwaj klasyczny funkcjonujący w ruchu mieszanym. Rozstrzygnięcie to ma wpływ na uznanie, gdzie w Polsce funkcjonuje szybki tramwaj.

Budowa szybkiego tramwaju w polskich miastach

Na ogół uważa się, że trasy szybkiego tramwaju, a właściwie ich mniejsze bądź większe fragmenty, zostały zrealizowane w Poznaniu, Krakowie, Szczecinie, Bydgoszczy, w nieco różniącej się formule. Tak to zostało przedstawione w filmach dydaktycznych⁴. Należy też wspomnieć o tego typu inwestycjach w Warszawie, gdzie szybki tramwaj pełni w relacji do metra rolę uzupełniającą.

Szybki tramwaj w Poznaniu

Pierwszą zrealizowaną w Polsce tego typu inwestycją był Poznański Szybki Tramwaj (PST). Pierwotnie zakładano, że trasa PST będzie stanowić bezkolizyjny oddzielny autonomiczny układ, który w zamierzeniu miałby się przekształcić w przyszłości w metro. Zbudowany odcinek PST prowadzi z północnych dzielnic miasta do kolejowego Dworca Zachodniego. W części północnej torowisko prowadzone jest w głębokim wykopie. W miejscach bezkolizyjnych przecięć z ulicami poprzecznymi prowadzonymi w poziomie terenu znajdują się przystanki, będące równocześnie elementem węzła przesiadkowego. Zmierzając w kierunku południowym, trasa przekracza długą estakadą dolinę Bogdanki. Końcowy odcinek prowadzony jest wzdłuż torów kolejowych w ich poziomie. Rozjazdy umożliwiają przejazd między sąsiednimi torami.

Odcinek włączony do sieci tramwajowej w rejonie mostu Teatralnego został oddany do eksploatacji w 1997 roku, natomiast w 2013, po przedłużeniu do Dworca Zachodniego – został włączony do sieci tramwajowej w ulicy Głogowskiej. Całość trasy PST ma długość 7,5 km, liczy 8 przystanków; zatem średnia odległość międzyprzystankowa wynosi 1070 m. Maksymalna dopuszczalna prędkość jazdy wynosiła 70 km/h, natomiast prędkość komunikacyjna dla całego bezkolizyjnego odcinka – 31 km/h. Linie tramwajowe, rozpoczynające swój bieg na trasie PST, łączą się dalej z pozostałą siecią

⁴ *Niskopodłogowiec* – kanał o transporcie publicznym i inżynierii ruchu:
<https://www.youtube.com/watch?v=WKSUVjjZFJU> (Poznań)
<https://www.youtube.com/watch?v=hhKivi6nOAU> (Kraków)
<https://www.youtube.com/watch?v=lwyJtLtRpm8> (Szczecin)
<https://www.youtube.com/watch?v=73NcRsmnWDk> (Bydgoszcz)

tramwajową Poznania i po dotarciu do śródmieścia rozchodzą się w kierunkach: zachodnim, południowym i wschodnim. Od sierpnia 2022 roku torowisko PST na całym odcinku zostało zamknięte, gdyż po 25 latach intensywnej eksploatacji wymaga generalnego remontu, po zakończeniu którego tramwaje znowu pojadą z prędkością 70 km/h.

Przebieg trasy PST na tle sieci tramwajowej Poznania jest dostępny na przykład w [32], gdzie między innymi jest opisana koncepcja i historia jego powstania.

Szybki tramwaj w Krakowie

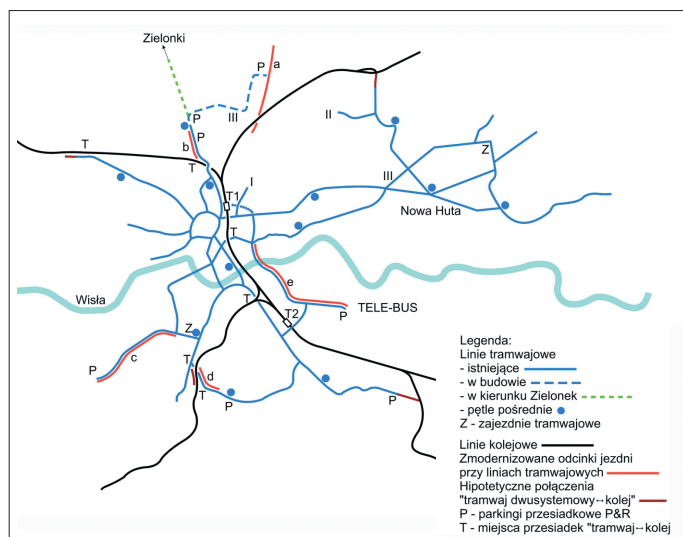
Przebieg linii nr 50 Krakowskiego Szybkiego Tramwaju (KST) na tle całej sieci tramwajowej Krakowa pokazuje rysunek 1. Natomiast rysunek 2 przedstawia istniejącą sieć tramwajową z treściami ilustrującymi problematykę uwarunkowań na przykładzie Krakowa.

Nominalnie pierwsza linia szybkiego tramwaju (oznaczonego nr 50) została uruchomiona w 2008 roku po oddaniu do eksploatacji tunelu pod dworcem kolejowym Kraków Główny (symbol T-1 na rysunku 2). Tunel ten, o długości 1420 m, był budowany z kilkoma długimi przerwami 34 lata! Pierwotnie tunel miał być przeznaczony dla linii



Rys. 1. Przebieg linii nr 50 Krakowskiego Szybkiego Tramwaju

Źródło: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=114810866> autorstwa Agnaton – Praca własna, CC BY-SA 4.0.



Rys. 2. Istniejąca sieć tramwajowa Krakowa z treścią dotyczącą problematyki uwarunkowań
Źródło: opracowanie własne

metra o generalnym przebiegu wschód–zachód. W trakcie budowy został przystosowany do ruchu tramwajowego, w tym dla linii tramwaju szybkiego o generalnym przebiegu północ–południe. W 2015 roku przebieg linii został nieznacznie zmieniony (do postaci jak na rys. 1) w wyniku poprowadzenia trasy tramwaju wybudowaną estakadą nad peronami stacji Kraków Płaszów (symbol T-2 na rys. 2) z przystankiem przesiadkowym. Linia nr 50 została zatem wkomponowana w układ sieci tramwajowej. W konsekwencji z fragmentów korytarzy KST (w tym z tunelu), mogą korzystać inne linie tramwajowe. Płynny przejazd tramwaju został zapewniony przez przyznanie mu priorytetu na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną, z reguły bezwarunkowego. Długość linii nr 50 wynosi 12,9 km, liczba przystanków dla każdego z kierunków – 21, średni odstęp międzyprzystankowy – 645 m, a prędkość komunikacyjna – 23 km/h. Ta ostatnia wartość sytuuje się już poniżej granicy uznania tramwaju jako szybkiego. Badania prędkości komunikacyjnej na tej linii w okresie dostrojania systemu sterowania oraz po jego końcowym wdrożeniu przedstawione w [11] podają wartość 22 km/h.

Linia nr 50 tworzy pierwszy korytarz Krakowskiego Szybkiego Tramwaju. Budowane obecnie przedłużenie tej linii tramwajowej do Górki Narodowej (rys. 2) stanowić będzie – dla wielu omawianych w artykule kwestii – studium przypadku. Następne planowane odcinki tras tramwajowych (np. opisane w [33, 34]) nazywane są kolejnymi etapami rozwoju Krakowskiego Szybkiego Tramwaju. Będą one wzbogacać sieć tramwajową jako nowe połączenia bądź jako przedłużenie istniejących linii.

Szybki tramwaj w Szczecinie

Szczeciński Szybki Tramwaj (SST) łączy prawobrzeżną i lewobrzeżną część Szczecina [35, 36]. Odcinek trasy o długości 4,0 km, liczący zaledwie 3 odcinki międzyprzystankowe, został uruchomiony w 2015 roku. Stanowi przedłużenie trasy tramwaju wychodzącej z południowo-wschodniej części śródmieścia (Brama Portowa). Trasa SST na całej długości biegnie bezkolizyjnie względem istniejącego i projektowanego układu drogowego. Przy dopuszczalnej prędkości jazdy 70 km/h, wyliczona na podstawie rozkładów jazdy prędkość komunikacyjna (jako średnia dla obu kierunków), wynosi 33 km/h, natomiast – jeśli do tego odcinka dodać odcinek doprowadzający do Bramy Portowej – prędkość ta wynosi 27 km/h. Mankamentem wybudowanego odcinka jest jego przebieg w oddaleniu od zabudowy, co wymaga dowożenia pasażerów z okolicznych osiedli do węzłów przesiadkowych liniami autobusowymi. Realizacja następnego odcinka (o jeszcze nie przesądzonym ostatecznie przebiegu) jest uzależniona od uzyskania środków finansowych z Unii Europejskiej.

Szybki tramwaj w Bydgoszczy

Ukończona w 2016 roku budowa trasy ma długość 9,5 km i prowadzi do Fordonu, peryferyjnej dzielnicy Bydgoszczy, dynamicznie rozwijającej się (obecnie liczącej 70 tysięcy mieszkańców). Stanowi przedłużenie linii kończącej się

poprzednio na pętli „Wyścigowa”. Posiada 13 par przystanków, a na jej końcu znajduje się zajezdnia. Na trasie zlokalizowane są dwie nieliniowe pętle pośrednie, umożliwiające wyjazd tramwajów w obu kierunkach. Przy nich znajdują się pętle umożliwiające przesiadki na autobusowe linie zastępcze. Na wszystkich 14 przebudowanych jednopoziomowych skrzyżowaniach i przejazdach toru przez jezdnie tramwaj ma bezwzględny priorytet w sygnalizacji świetlnej. Dzięki temu (wyliczona na podstawie rozkładów jazdy) prędkość komunikacyjna wynosi 31 km/h. Ta wysoka prędkość wynika także ze stosunkowo dużej średniej odległości międzyprzystankowej, która wynosi 790 m. Jeśli do nowo budowanego odcinka dołożyć odcinek do ronda Jagiellonów, położonego już w południowo-zachodniej części śródmieścia Bydgoszczy, to prędkość ta wynosi 27 km/h, czyli nadal jest wysoka. Trasa tramwaju biegnie środkiem pasma zabudowy dzielnicy, co sprawia, że większość celów podróży znajduje się w akceptowanej jeszcze, liczącej 600 m odległości dojścia. Natomiast na obszarach położonych dalej operują linie autobusowe umożliwiające dojazd do przystanków tramwajowych. Utworzony dwupoziomowy węzeł przesiadkowy Bydgoszcz Wschód umożliwia wygodne przesiadki na pociągi kursujące w kierunku Warszawy i Torunia.

Więcej informacji o tej inwestycji można znaleźć na przykład w [37], natomiast usytuowanie linii do Fordonu na tle całej sieci komunikacji miejskiej zawiera schemat dostępny w [38].

Szybki tramwaj w Warszawie

Ze względu na wysoką prędkość komunikacyjną do miana szybkiego tramwaju pretendują budowane obecnie odcinki trasy tramwajowej pełniące funkcję dowozową z odległych dzielnic do stacji metra – końcowych lub położonych daleko od centrum. Zastępuje to nieodzowność wydłużania tamże linii metra, zapewniając przy tym wysoki poziom integracji transportu zbiorowego.

Taką rolę pełni ukończona w całości w 2021 roku trasa tramwajowa o długości 8 km, prowadząca od stacji metra Młociny do północnych osiedli Warszawy: Tarchomina i Nowodworów. Prowadzona po tej trasie linia tramwajowa nr 2 osiąga wysoką prędkość komunikacyjną 28 km/h (wyliczoną na podstawie rozkładowego czasu przejazdu półkursu). Okazało się to możliwe dzięki stosunkowo dużym średnim odległościom międzyprzystankowym – 730 m i szerokim zakresem uprzywilejowania tramwaju na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Spośród 16 takich punktów w 13 zapewniony jest pełny priorytet, a na pozostałych trzech – wysoki priorytet³. Mapkę z przebiegiem linii nr 2 można znaleźć na przykład w [39].

Innym przykładem inwestycji o takim charakterze jest rozpoczęta budowa 8 km linii tramwajowej łączącej stację metra Pole Mokotowskie z Miasteczkiem Wilanów w Warszawie. Przewidywana, przy średniej odległości międzyprzystankowej (około 700 m), prędkość komunikacyjna na

tym odcinku wynosi 27 km/h. Więcej informacji podano w [40], a przebieg linii w [41].

Podsumowanie przeglądu linii szybkiego tramwaju w Polsce

Budowa nowych odcinków tramwaju szybkiego realizowana jest w następujących formułach, z podaniem przykładów zastosowania w polskich miastach:

- przedłużanie linii wybiegowych z doprowadzaniem do osiedli odległych od śródmieścia (Szczecin, Bydgoszcz);
- budowa od podstaw linii trasy od dzielnic zewnętrznych do centrum, z bezkolizyjnym przebiegiem i pełną segregacją pionową (Poznań);
- przekroczenie punktowe (stacje kolejowe) bądź obszarowe (fragment śródmieścia) za pomocą tunelu (Kraków Główny) lub estakadą (Kraków Płaszów);
- wykorzystanie na części przebiegu trasy likwidowanych torów kolejowych (Poznań);
- zapewnienie integracji (dogodne przesiadki) ze stacjami kolejowymi (Kraków, Poznań, Bydgoszcz, Szczecin);
- bezkolizyjne odcinki tramwaju szybkiego, w tym pierwotnie zamierzone jako oddzielna sieć – łączy się w jednym lub większej liczbie punktów z siecią tramwaju klasycznego (Kraków, Poznań, Bydgoszcz, Szczecin);
- w miastach posiadających metro, tramwaj szybki łączy odległe dzielnice ze stacjami metra (Warszawa).

Podejście polegające na budowie nowych tras tramwajowych z elementami tuneli i estakad, z priorytetem na skrzyżowaniach dla tramwaju, z równoczesnym wymuszeniem takiegoż na modernizowanych istniejących fragmentach sieci tramwajowych należy uznać za racjonalny kierunek działań.

Specyfikacja uwarunkowań rozwoju i funkcjonowania komunikacji tramwajowej

Zestawione niżej uwarunkowania mają charakter powszechny, przy czym na ich oddziaływanie w dużym stopniu wpływa specyfika miasta. Odnoszą się one głównie do kwestii związanych z rozwojem szybkiej komunikacji tramwajowej, ale w większości są także aktualne w systemach tramwaju klasycznego. Wiele prezentowanych kwestii jest ilustrowanych głównie przykładami Krakowa, dlatego na rysunku 2 pokazano sieć tramwajową z wybranymi elementami systemu transportowego, z którymi jest powiązana. Wiele uwarunkowań dotyczy realizowanej obecnie budowy przedłużenia linii tramwajowej do Górki Narodowej w formule tramwaju szybkiego. Właśnie ta inwestycja unaocznia rozległość uwarunkowań i jest dlatego pouczająca.

Uwarunkowania inwestycyjne i funkcjonalne w odniesieniu do tramwaju

Oczywistymi uwarunkowaniami są kwestie formalno-prawne związane z realizacją inwestycji. Dotyczą one stosowania ustaw, rozporządzeń, wytycznych oraz polegają na

³ Referat A. Górki w trakcie III forum „Innowacyjny Tramwaj”, Kraków, 12.10.2022.

uchwalaniu, opiniowaniu i wydawaniu decyzji administracyjnych. Przestrzeganie tych procedur jest warunkiem koniecznym powodzenia przedsięwzięcia, ale go nie gwarantuje. Zestawione poniżej uwarunkowania będą się skupiać na kwestiach merytorycznych.

Rozwój i modernizacja sieci tramwajowej, szczególnie w formule tramwaju szybkiego:

- Wywiera korzystny wpływ na poprawę wizerunku, w tym jakości komunikacji zbiorowej. Przekłada się to na wzrost liczby podróży tymi środkami komunikacji. W korytarzach obsługiwanych przez tramwaj obserwuje się (według badań zagranicznych) wzrost liczby pasażerów transportu publicznego; w miastach francuskich – przeciętnie o 30%. Natomiast w przypadkach likwidacji linii tramwajowej i wprowadzeniu w jej miejsce linii autobusowych – liczba pasażerów spada. Ponadto szybka komunikacja tramwajowa, w większym stopniu niż komunikacja autobusowa, przejmując podróże realizowane dotychczas samochodami osobowymi.
 - Zapewnia poprawę dostępności odległych dzielnic miasta, w tym bezpośrednio w osiaganiu centrum miasta. W konsekwencji zmniejsza to liczbę przesiadek w relacjach autobus–tramwaj. W szczególności dotyczy to dzielnicy Fordon w Bydgoszczy, osiedli w południowo-wschodniej części Szczecina; osiedli w północnej części Krakowa i Warszawy. Tę rolę spełniałoby brakujące powiązanie relacją II–I na rysunku 2.
 - Umożliwia realizację powiązań między dzielnicami zewnętrznymi z pominięciem śródmieścia. Potrzebę budowy takich odcinków odczuwa się w Krakowie na przykład (rys. 2), w którym brakuje powiązań północ–południe po zachodniej stronie centrum oraz powiązań wschód–zachód na północ od śródmieścia. Zapewniłoby to znaczne skrócenie czasu podróży w tych relacjach.
 - Uaktywnia krótkie końcówki linii poprzez ich przedłużenie w kierunkach obszarów posiadających wysoki potencjał ruchotwórczy. Takie dwie końcówki znajdują się w Krakowie po stronie zachodniej śródmieścia oraz jedna po północno-wschodniej (rys. 2).
 - Toruje możliwość wyjścia na zewnątrz miasta – tramwaj podmiejski (metropolitalny), na przykład w Krakowie do Zielonek – poprzez przedłużenie torowiska od załomu budowanej linii tramwajowej przy ulicy Pachońskiego w kierunku północnym wzdłuż Trasy Wolbromskiej, będącej wylotowym odcinkiem nowego przebiegu drogi wojewódzkiej nr 794 (rys. 2 i 4).
- Sieć Łódzkiego Tramwaju Metropolitalnego obsługująca 7 otaczających miast i gmin jest konsekwentnie modernizowana. Łódź pozostaje jedynym miastem w Polsce posiadającym rozbudowaną sieć tramwajów podmiejskich.
- Obraz więzby podróży unaocznia kierunki istniejących oraz spodziewanych w przyszłości potrzeb przewożonych w komunikacji zbiorowej, co pozwala między

innymi ocenić stopień dostosowania do tych ciężarów obecnej sieci tramwajowej. Więzba podróży jest istotną przesłanką przy tworzeniu racjonalnych marszrut linii oraz wskazuje na potrzebę budowy brakujących odcinków w sieci tramwajowej.

- Budowa nowych połączeń w sieci tramwajowej poprawia jej funkcjonalność nie tylko w codziennej obsłudze pasażerów, ale także zapewnia niezawodność działania w przypadku defektu taboru, awarii lub remontu torowisk. Przykładem krótkiego (około 800 m) łącznika, który zarówno w kategoriach funkcjonalności, jak i niezawodności usprawniłby sieć tramwajową Krakowa, w szczególności jego centrum staromiejskiego, byłby – o charakterze obejścia – odcinek pod Wawelem, którego zadaniem byłoby odciążenie przystanku Grodzka w bliskim sąsiedztwie Rynku Głównego {1}⁶.

Blizszy opis koncepcji takiego rozwiązania przedstawionego przez Zarząd Transportu Publicznego można znaleźć w [42].

Bardzo istotnym uwarunkowaniem konserwatorskim i realizacyjnym tego rozwiązania byłby wieloletni okres koniecznych badań archeologicznych (przed oraz w trakcie budowy) na trasie pod Wawelem, co bardzo oddalałoby (nawet powyżej 10 lat) uzyskanie efektu funkcjonalnego tej inwestycji, a to z kolei osłabia jej celowość.

- Istnienie wielu pętli pośrednich umożliwia reagowanie na poważne zakłócenia w ruchu oraz stwarza możliwość kumulowania taboru w sąsiedztwie obiektów generujących chwilowo duży, spiętrzony ruch, takich jak stadiony, hale sportowe i widowiskowe. Na przykładzie Krakowa zaznaczono je jako kropki na rysunku 2. Rolę pętli pośrednich mogą także pełnić zajezdnie – na rysunku zaznaczone jako Z. Dwie pętle pośrednie wybudowano na odcinku trasy tramwaju do Fordonu, gdzie znajdują się też przelotki pozwalające zmienić tor, cofnąć lub zawrócić tramwaj, co jednak wymaga już taboru dwukierunkowego z drzwiami po obu stronach. Takie rozwiązanie wykorzystuje się przy remontach na odcinkach pozbawionych pętli oraz przy częściowym otwieraniu nowych tras tramwajowych do czasu ukończenia pętli końcowych. Może ponadto stanowić rozwiązanie docelowe, gdy nie przewiduje się pętli końcowych, jak na przykład we Wrocławiu i w Olsztynie.
- Zapewniona wysoka bezkolizyjność przejazdu oraz priorytetów dla tramwajów na wlotach skrzyżowań z sygnalizacją świetlną powodują, że poprawia się punktualność kursowania oraz skraca czas przejazdu. Ponadto na zwiększenie prędkości komunikacyjnej ma wpływ wydłużenie odległości między przystankowych.

⁶ Oznaczony takim nawiasem { } odnośnik na końcu danego akapitu będzie dalej przywoływany przy opisywaniu zagrożenia odnoszącego się do treści danego akapitu.

- Stwarza możliwość dogodnych przesiadek na stacjach i przystankach kolei dalekobieżnej i regionalnej. Takie możliwości już występują w Krakowie i zostaną rozszerzone po uruchomieniu kolejnych nowych przystanków Szybkiej Kolei Aglomeracyjnej. Na rysunku 2, który zawiera tylko linie kolejowe z ruchem pasażerskim, miejsca te oznaczono literą T, przy czym T1 to Dworzec Główny PKP, a T2 – dworzec PKP Kraków Płaszów. Stopień rozległości i złożoności węzła przesiadkowego obsługującego ponadto Galerię Krakowską z parkingiem nad układem peronowo-torowym stacji Kraków Główny pokazuje schemat sytuacyjny (rys. 3).

W Bydgoszczy – aby uzyskać dogodną przesiadkę na kolej – wybudowanie estakady tramwajowej linii do Fordonu wymusiło przesunięcie dworca PKP o około 400 m.

- Ważnym i skutecznym uwarunkowaniem, stymulującym, a w istocie przesądającym budowę trasy tramwajowej, jest wyprzedzająca budowa mostu drogowego z rezerwą pasa pod torowisko tramwajowe, jak to miało miejsce na moście Kotlarskim w Krakowie oraz na moście im. Pionierów Miasta Szczecina.

Uwarunkowania inwestycyjne i funkcjonalne w odniesieniu do innych elementów systemu transportowego

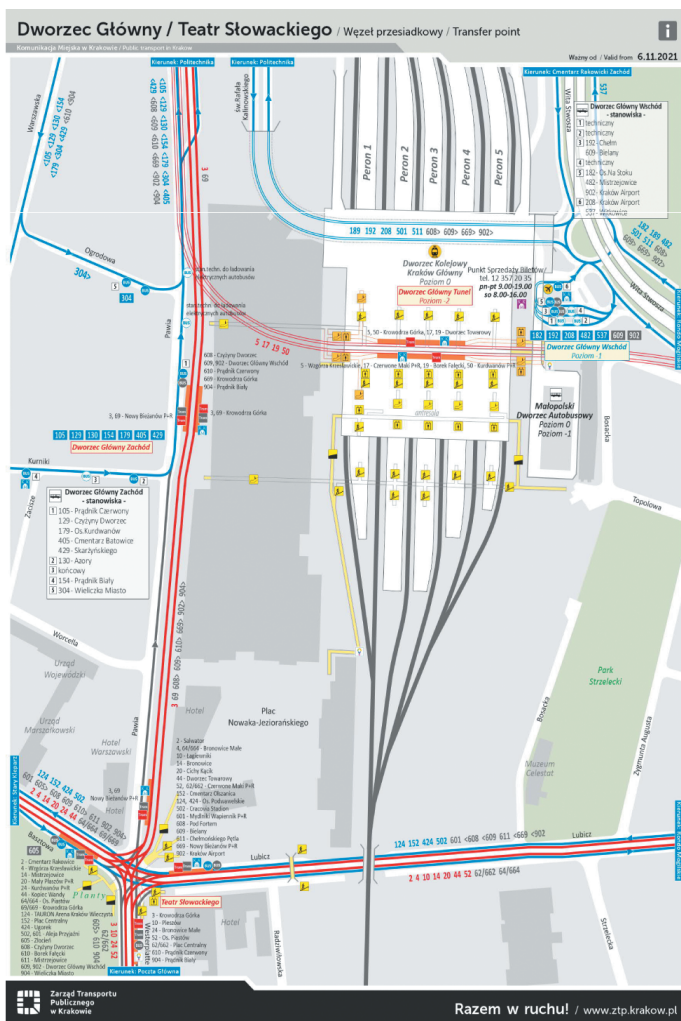
Budowa trasy tramwajowej stanowi równocześnie asumpt do podejmowania innych inwestycji transportowych oraz wywołuje w funkcjonowaniu układu drogowo-ulicznego zarówno zamierzone, jak i niezamierzone skutki. W szczególności budowa trasy tramwajowej:

- Stanowi zachętę i dostarcza bodźca dla budowy czteropasowej ulicy lub przebudowy ulicy do dwóch jezdni, usytuowanej równolegle lub wprost przy trasie tramwajowej. W Krakowie dotyczy to odcinków opisanych na rysunku 2 literami od „a” do „e”: Aleja 29 Listopada pomiędzy ulicami: Banacha, Siewną (a), Żdziebły-Danowskiego (b), Bobrzyńskiego (c), odcinek Trasy Łagiewnickiej pomiędzy ulicą Halszki a Zakopiańską (d), ulicami Kuklińskiego i Lipską (e). Pierwotny zamiar budowy ulicy dwujezdniowej na odcinku (b) został zaniechany; natomiast ruch autobusów będzie prowadzony po torowisku przebudowanej trasy tramwajowej {2}.

Powstanie linii do Fordonu w Bydgoszczy stało się okazją do budowy i przebudowy ulic i skrzyżowań (w tym dobudowy drugiej jezdni ulicy Akademickiej) biegnących równolegle do trasy tramwajowej.

- Stanowi okazję do istotnego podniesienia standardu istniejącego ciągu ulicy z punktu widzenia użytkownika samochodu. Przy okazji inwestycji tramwajowej do Górki Narodowej w Krakowie buduje się, w obrębie węzła w ciągu ulicy Opolskiej, tunel o długości około 200 m (wraz z odcinkami z murami oporowymi), który zapewni samochodom bezkolizyjny przejazd na wprost pod trasą tramwajową i Trasą Wolbromską. Lokalizację węzła pokazano na rysunku 4 (litera W), a jego wizualizację na rysunku 5. Po zrealizowaniu tego rozwiązania bardzo znacznie wzrośnie przepustowość w tym punkcie ciągu drogowego ulicy Opolskiej. Jednakże efekt ten będzie przede wszystkim wrażliwy, a w rzeczywistości o wiele skromniejszy, jeśli wziąć pod uwagę fragment ciągu ulicy Opolskiej obejmujący po obu stronach budowanego węzła sąsiednie skrzyżowania, na których ruch będzie nadal regulowany sygnalizacją świetlną. Wobec sytuacji, w której buduje się północną ekspresową obwodnicę Krakowa w stosunkowo niewielkiej odległości od ciągu ulicy Opolskiej, nie jest racjonalne usprawnianie ruchu w tej ulicy przez budowanie kosztownego tunelu.

- Przyspiesza podjęcie planowanych nowych odcinków sieci drogowej. Budowa trasy tramwajowej była czynnikiem mobilizującym dla budowy odcinka nowego przebiegu drogi wojewódzkiej nr 794, znajdującym się we wspólnym korytarzu transportowym (rys. 4). Nowy przebieg tej drogi – stanowiącej równocześnie zachodnie obejście wsi Zielonki, która jest częścią podmiejskiego obszaru zurbanizowanego Krakowa – usprawni ruch na niej, a równocześnie uwolni



Rys. 3. Schemat zintegrowanego węzła przesiadkowego w rejonie dworca PKP Kraków Główny, w tym z przystankiem tramwaju szybkiego w tunelu

Źródło: <https://ztp.krakow.pl/transport-publiczny/komunikacja-miejska/mapy-i-schematy-kmk#galery-14>

korytarz zwartej zabudowy dotychczasowego jej przebiegu od uciążliwości nadmiernego ruchu.

- Umożliwia dopełnienie ciągu ulicy. Dotyczy to na przykład brakującego dotąd odcinka ulicy Pachońskiego pomiędzy osiedlami Prądnik Biały Zachód a Prądnik Biały Wschód. Na rysunku 4 przerywaną linią dublującą zaznaczono odcinki ulic wykorzystywane obecnie (ściślej – przed rozpoczęciem aktualnie realizowanej przebudowy) do przejścia między punktami A i B ulicą Pachońskiego. Jest to przebieg zakłócony, wydłużony i pozbawiony płynności. Realizowany przy okazji budowy trasy tramwaju, nowy brakujący odcinek ulicy zaznaczony linią czerwoną (rys. 4), zapewni krótki i płynny przejazd pomiędzy tymi osiedlami oraz poprawę czytelności sieci ulic w tym obszarze.
- Skutkuje koniecznością odtwarzania naruszonej spójności sieci ulic, gdyż budowa trasy tramwajowej powoduje rozcięcie istniejącej sieci. Zatem wymaga to działań prowadzących do zespolenia sieci. Efekt rekonstrukcji sieci ulic można prześledzić, porównując sieci ulic na rysunkach 4a i 4b. Skutkiem przekształceń są nowe fragmenty ulic oraz zmienione powiązania w sieci, a ponadto dokonywane są zmiany ich funkcji, na przykład ulice lokalne stają się ulicami dojazdowymi. Konsekwencją rozcięć ulic jest to, że część z nich staje się ulicami ślepych, tym samym zwiększając i tak już dużą wysoką niespójność sieci ulic na analizowanym obszarze.
- Wzbogaca sieć dróg rowerowych i ciągów pieszych, będących inwestycjami towarzyszącymi budowie lub przebudowie trasy tramwajowej. Przykładowo pokazano to na fotografii 1 w ramach realizacji przedłużania trasy tramwajowej do Górki Narodowej. Przed przebudową tego odcinka chodnik ewakuacyjny przy torowisku tramwajowym był wykorzystywany przez rowerzystów. Należy dodać, że brak jezdni przy torowisku w znacznym stopniu poprawia dostępność pasażerów do tramwaju.
- Ułatwia poruszanie się autobusów dzięki dopuszczeniu ich na torowisko tramwajowe. Pozwala to autobusom ominąć zatłoczone odcinki ulic. Takie rozwiązanie zastosowano na przebudowanym odcinku torowiska w rejonie pętli Krowodrza Górka w Krakowie w związku z rezygnacją z kontynuacji przedłużenia Trasy Wolbromskiej w kierunku śródmieścia, w skutek czego wzdłuż odcinka trasy tramwajowej torowisku nie będzie towarzyszyć jezdni dla samochodów.
- Uzasadnia celowość tworzenia większych zespołów parkingów Park and Ride (P+R) i podnosi ich atrakcyjność dla użytkownika. Skorzystanie z tego typu parkingu i przesiadka na tramwaj zapewnia na ogół szybszy dojazd do śródmieścia. Istniejące i budowane parkingi P+R w Krakowie zaznaczono na rysunku 2 literą P. Planuje się wybudowanie kilku dalszych P+R przy istniejących i planowanych trasach tramwaju.



Rys. 4 Wycinek sieci drogowo-ulicznej w północnej części Krakowa w obrębie fragmentu budowanej trasy tramwajowej – stan przed rozbudową (a) oraz po rozbudowie (b)
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Wizualizacja węzła (obecnie w budowie) z przejściem jezdni głównych ul. Opolskiej w tunelu pod trasą tramwajową prowadzącą na Górkę Narodową oraz pod Trasą Wolbromską
Źródło: Materiały Zarządu Inwestycji Miejskich w Krakowie



Fot. 1. Ciąg pieszy oraz ciąg rowerowy przy przebudowanym torowisku tramwajowym na odcinku ul. Żdziebły-Danowskiego w Krakowie, prowadzącej do pętli Krowodrza Górka
Źródło: fotografia ze zbiorów własnych

Uwarunkowania techniczne i technologiczne

Można wskazać następujące uwarunkowania:

- Uwarunkowania wynikające z przepisów (rozporządzeń, wytycznych, instrukcji i norm) dotyczących planowania, projektowania, wykonawstwa i eksploatacji infrastruktury tramwajowej są wielorakie. Tu odniesiemy się tylko do jednego zapisu dotyczącego normatywnego pochylenia podłużnego trasy tramwajowej. Przykładem jest linia tramwajowa do Górki Narodowej w Krakowie, gdzie na odcinku przekraczania wzniesienia zaprojektowano 5% pochylenie, czyli maksymalnie dopuszczalne według rozporządzenia [18]. Konsekwencją tego jest kilkusetmetrowej długości wykop o głębokości dochodzącej do około 10 m [fot. 2]. Rozporządzenie powyższe w kwestiach ustaleń dotyczących torowiska tramwajowego (rozdz. 10) oparto na „Zasadach technicznych projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych” z 1979 roku. Przepis w ww. rozporządzeniu uzależniał w domyśle owe 5% od właściwości trakcyjnych funkcjonującego wówczas taboru. Od tego czasu bardzo dużo zmieniło się w konstrukcji tramwajów. Obowiązujące do 20 września 2022 roku przepisy nie uwzględniały faktu, że współczesny tramwaj, dzięki lepszym parametrom dynamicznym, jest przystosowany do pokonywania pochyłości co najmniej 6%. Jest także wyposażony w efektywny system hamowania. Skoro płaci się producentom tramwajów za oferowanie takich parametrów, to niegospodarnością jest niewykorzystanie ich wskutek konieczności dostosowywania się do dawno niezwyfikowanych przepisów [3].

Nawet w warunkach obowiązujących przepisów pochylenie podłużne można było zwiększyć powyżej normatywnego 5%, występując o zgodę na odstępstwo od tego wymogu, ale z takiej możliwości nie skorzystano. W Europie współcześnie budowane trasy tramwajowe mają przykładowo maksymalne pochylenia podłużne: w Sheffield – 10%, w Kolonii – 6%, w Gemunden (Austria) – 10%. Gdyby, dla

rozważanego przykładu budowy zastosować pochylenie 7%, wówczas maksymalna głębokość wykopu zmniejszyłaby o około 5 m, co znacznie obniżyłoby koszty robót ziemnych, a także oszczędziłoby zajęcie terenu. Natomiast, gdyby dla planowanej trasy tramwajowej na morenę w Gdańsku zwiększyć pochylenie podłużne ponad dopuszczalne 5%, to można byłoby uniknąć konieczności budowy tam tunelu dla tramwaju.

Nowe obowiązujące od 21 września 2022 roku przepisy techniczno-budowlane [17] nie określają maksymalnego dopuszczalnego pochylenia torowiska tramwajowego. Natomiast będące w opracowaniu „Wytyczne do projektowania infrastruktury tramwajowej WRD-43-3” podchodzą elastycznie do maksymalnego pochylenia, uzależniając go od pochylenia, jaki może pokonywać – według uzyskiwanej homologacji – tabor, który będzie obsługiwał określoną trasę.

- Pojazdy szynowe kursujące w formule tramwaju szybkiego stanowią znacznie ulepszony technologicznie produkt w stosunku do pojazdów użytkowanych w klasycznej komunikacji tramwajowej. Realizacja hasła „innovacyjny tramwaj” oznacza zastosowanie nowych technologii taborowych i sieciowych, takich jak między innymi tramwaje autonomiczne, tramwaje dwusystemowe, tramwaje na pneumatykach, energooszczędne bezprzewodowe napędy oraz zintegrowane formy obsługi. Postęp w budowie pojazdów uwzględnia lepszą aranżację wnętrza wagonu pozwalającą na dogodniejsze warunki przebywania w nim oraz wymiany pasażerów. Wprowadzanie tramwajów wyposażonych w akumulatory umożliwia jazdę na krótkich odcinkach tras bez sieci trakcyjnej. Takie możliwości mają tramwaje sprowadzane w ostatnich latach do Krakowa. Innym rozwiązaniem, który eliminuje intruzje wizualne pochodzące od obecności napowietrznej sieci trakcyjnej, są tramwaje z napędem indukcyjnym. Po raz pierwszy na świecie zastosowane zostały w Bordeaux [43], gdzie sieć zasilana jest z trzeciej szyny w poziomie nawierzchni ulicy. Systemy pętli indukcyjnych są kompatybilne z każdą nawierzchnią i prawie z każdą topologią sieci; ponadto charakteryzują się wysoką niezawodnością i mają krótki czas przestoju w ekstremalnych warunkach pogodowych.

Współczesne technologie budowy tramwaju dają szerokie możliwości różnicowania trasy – jako klasyczny tramwaj wpisany w przestrzeń publiczną w centrum oraz jako tramwaj szybki na wydzielonych trasach, w tym w tunelach i na estakadach.

- Bezpośrednie powiązania sieci tramwajowej z siecią kolejową, czyli tramwaj dwusystemowy, który łączy zalety pociągu i tramwaju, co skutkuje znacznie większym zasięgiem obsługi, większą prędkością komunikacyjną, wyższym stopniem bezkolizyjności (separacji) niż tramwaj klasyczny oraz większą gęstością

i częstotliwością obsługi, lepszą bezpośrednią dostępnością śródmieścia niż kolej (dotyczy to szczególnie przypadków, gdy dworzec kolejowy znajduje się w oddaleniu od centrum). Tramwaj dwusystemowy może korzystać nie tylko z torów kolejowych, ale także z zasilania dla pociągów. Eksploatacja lekkich pojazdów szynowych w konwencjonalnej infrastrukturze kolejowej wymaga [14] rozwiązania wielu problemów technicznych, takich jak system zasilania trakcji, konstrukcja taboru, zgodność skrajni, profil kół i szyn, wytrzymałość konstrukcji, dostęp pasażerów, sygnalizacja.

Cztery potencjalne możliwości powiązań (miejsca styku obu sieci) dla Krakowa pokazano na rysunku 2. Warto, by w Krakowie ponownie rozważyć koncepcję tramwaju dwusystemowego, która przepadła około 20 lat temu w skutek nierealistycznej obietnicy szybkiego tempa jej realizacji. Natomiast uwarunkowaniem reaktywującym obecnie zawieszono kursowanie tramwajów do końcówki Walcownia [44] w Nowej Hucie byłoby jej przedłużenie, z powiązaniem z torową linią kolejową jako tramwaju dwusystemowego.

Zarząd województwa kujawsko-pomorskiego opracował koncepcję metropolitalnego tramwaju dwusystemowego, który połączyć miałby Toruń z Bydgoszczą. Obecnie, w ramach programu poprawy dostępności komunikacji kolejowej, rozważana jest koncepcja tramwaju dwusystemowego w Gorzowie Wielkopolskim.

- Innowacyjność to także między innymi umiejętność efektywnego dostarczania pasażerów do tramwaju z obszaru poza strefą dogodnego dojścia do przystanku lub z zabudowy generującej niewielkie potoki pasażerskie. Przykładem takiej formy obsługi komunikacyjnej jest powiązanie funkcjonowania tramwaju szybkiego – z innowacyjną usługą TELE BUS w Krakowie. Na rysunku 2 zaznaczono tym symbolem środek rozległego obszaru o niskiej intensywności zabudowy, rozciągającego się w kierunkach wchód–zachód, obsługiwanego w ten sposób przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne. Usługa funkcjonuje w oparciu o zamówienia telefoniczne na przejazdy według elastycznych – tj. dostosowanych do potrzeb podróżnych – rozkładów jazdy. Midibusy penetrują obszar pasma zabudowy, w tym zapewniają dowóz pasażerów do przystanków tramwaju szybkiego, położonych wzdłuż linii biegnącej środkiem pasma. Jest to wynik wdrożenia unijnego ramowego programu CIVITAS. Obszar funkcjonowania usługi TELE-BUS w Krakowie dostępny jest pod adresem [45].
- Uprawnianie organizacji i sterowania ruchem, które realizuje bezwarunkowy priorytet bądź optymalizuje warunkowo dla tramwajów w ruchu.
- Ulepszanie systemów sterowania dyspozytorskiego (z automatyzacją procedur), które przeciwdziałają za-

klóceniom w ruchu tramwajów, zapewniając utrzymanie bądź przywracanie punktualności i regularności kursowania.

- Coraz bardziej rozbudowane planery podróży oraz poszerzana bieżąca informacja dla pasażerów o czasie przyjazdu tramwaju, w tym poprzez nowinki technologiczne w przekazie informacji i komunikowaniu się z użytkownikami systemu, na przykład MaaS – mobilność jako usługa (*Mobility as a Service*). MaaS, za pośrednictwem wspólnego kanału cyfrowego i z wykorzystaniem urządzeń mobilnych będących w posiadaniu osób podróżujących (na przykład telefony komórkowe), umożliwia planowanie, rezerwowanie i opłacanie wielu rodzajów usług transportowych, w tym pojazdów współdzielonych.
- Samochody autonomiczne (na razie jako nowinka technologiczna) będą mogły w przeszłości wspomagać transport publiczny, poprawiając dostęp do przystanków tramwajowych oraz stacji kolejowych na przykład poprzez wahadłowe kursy – tzw. transport ostatniej mili dla relacji: przystanek wysiadania – dom. Będzie to szczególnie atrakcyjne dla osób nie będących kierowcami oraz dla osób niepełnosprawnych. Prognozy dotyczące funkcjonowania transportu w sytuacji masowego upowszechnienia się pojazdów autonomicznych opisane między innymi w [20] nie są jednoznaczne. Niektórzy zwolennicy pojazdów autonomicznych twierdzą, że będą one eliminować potrzebę korzystania z konwencjonalnych usług transportu publicznego. Pojazdy współdzielone na żądanie (jako tanie taksówki) mogą konkurować z mniej efektywnymi segmentami transportu publicznego. Jednakże te, które charakteryzują się dużą zdolnością przewozową o dobrej dostępności i prędkości komunikacyjnej, będą niezbędne dla obsługi głównych korytarzy transportowych i dla zapewnienia zrównoważonej pracy transportowej w sieci drogowej [4].



Fot. 2. Głęboki wykop pod torowisko tramwajowe na budowanej linii do Górki Narodowej w Krakowie

Źródło: fotografia ze zbiorów własnych

Uwarunkowania urbanistyczne

Komunikacja tramwajowa zapewnia lepszą dostępność centrum ogólnomiejskiego oraz chroni żywotność Starego Miasta; pobudza powstawanie centrów lokalnych. Stymuluje poprawę ładu przestrzennego i standardu architektonicznego, sprzyja tworzeniu dominant przestrzennych i funkcjonalnych.

Aspekty urbanistyczne wprowadzania komunikacji tramwajowej najpełniej uwzględniane są we Francji, której przypadek jest szczególnie pouczający. Po okresie prawie całkowitego wycofywania z miast tej komunikacji (lata 50. i 60. XX wieku), począwszy od lat 80. XX wieku, nastąpiło odrodzenie i rozkwit komunikacji tramwajowej w miastach francuskich. Początkowo tramwaj traktowany był jedynie jako środek komunikacji miejskiej, stopniowo jednak stał się ważnym narzędziem urbanistycznym oraz katalizatorem powodującym gruntowną restrukturyzację przestrzeni publicznych. Obecnie linie tramwajowe we Francji są symbolem nowoczesności oraz wyrazem proekologicznych dążeń miast francuskich [7]. Spośród obszernie przedstawionych w [22] kwestii urbanistycznych warto tu przytoczyć następujące:

- we Francji za największą korzyść z wprowadzenia tramwaju uważa się właśnie odnowę urbanistyczną, a nie techniczne usprawnienie transportu;
- postrzeganie trasy tramwajowej jako ważnej części przestrzeni publicznej, traktowanej jako ruchomy salon miejski – poruszanie się nowoczesnego tramwaju można porównać do ruchomego tarasu widokowego; wsiadając do tramwaju w przestrzeni publicznej nie opuszczamy jej – płynność ruchu i przeszklone ściany dają wrażenie kontynuacji pobytu na ulicy, na placu czy w parku; tramwaj, poprzez indywidualizację formy, może być postrzegany jako dzieło sztuki;
- indywidualnie projektowane poszczególne przystanki tramwajowe są nośnikiem tożsamości miejsca – tworzą zwornik i dominantę w przestrzeni, stanowiąc wizytówkę sieci tramwajowej;
- tramwaj jest skutecznym narzędziem rewitalizacji zaniedbanych dzielnic także poza śródmiejskich – priorytetem staje się włączenie w ten proces dzielnic z problemami społecznymi;
- ruch samochodowy rozcina przestrzeń publiczną, a tramwaj ją spaja;
- wielowymiarowe podejście do planowania urbanistycznego, uwzględniające specyfikę miejsca i opinie lokalnej społeczności, zmierza do odkrywania i tworzenia genius loci, stawia nacisk na „doświadczanie miasta” w skali człowieka jako pieszego uczestnika życia miejskiego;
- tramwaje stały się również symbolem przemiany kulturowej w planowaniu rozwoju miast we Francji.

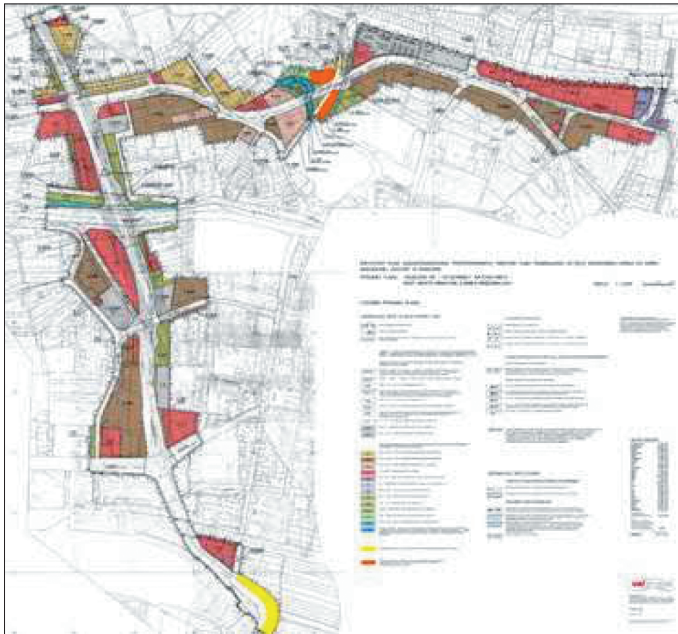
Skoro jazda tramwajem ma zapewnić wgląd w przestrzeń publiczną, to należałoby minimalizować długość tuneli tramwajowych. Dwa tunele projektowane w Krakowie dla tramwaju mają mieć w sumie 6,6 km długości. Sztuczny

charakter ma wybudowany w zewnętrznej dzielnicy Krakowa tunel tramwajowy z przystankiem pozbawiającym pasażerów wglądu w krajobraz doliny Wilgi oraz w architekturę kompleksu pobliskich obiektów sakralnych.

W wielu miastach Europy Zachodniej trasy tramwajowe są wprowadzane w głąb obszarów zabytkowych, przechodząc przez rynki i inne place reprezentacyjne oraz nawet przez wąskie ulice. Zabieg ten jest to równocześnie narzędziem usunięcia ruchu samochodowego, który przeszkadza w tworzeniu dobrej jakości przestrzeni publicznej. Sytuacja umieszczania nowoczesnej infrastruktury transportowej w miejscu dziedzictwa kulturowego wymaga osiągnięcia trudnego konsensusu. Uzyskuje się to poprzez zrównoważenie wymagań technicznych i ograniczeń geometrycznych z wymogami tworzenia miejsca oraz skupienie się na estetyce, ochronie krajobrazu kulturowego i na potrzebach projektowania urbanistycznego.

Wpisywanie tras tramwajowych w struktury zabytkowe wymaga uwzględnienia uwarunkowań konserwatorskich, które są wyrażane w opiniach i uzgodnieniach do planów miejscowych oraz do projektów nowych inwestycji w strefach ochrony konserwatorskiej. Odnoszą się one do ochrony substancji zabytkowej przed unicestwieniem, uszkodzeniem lub niepożądanym przekształceniem oraz do ochrony krajobrazu kulturowego (np. przed oszpeceniem przez napowietrzną sieć trakcyjną). Ochrona konserwatorska obejmuje w szczególności relikty dawnych obiektów komunikacyjnych. Budowa trasy tramwajowej może mieć – z punktu widzenia konserwatorskiego – pozytywny wydźwięk, na przykład w zakresie odtwarzania dawnych struktur. Przykładem może być propozycja wprowadzenia tramwaju w Aleje Trzech Wieszców w przestrzeń, w której w latach 1887–1911 funkcjonowała kolej obwodowa Krakowa. Torowisko tramwajowe w Alejach byłoby formą rekonstrukcji zlikwidowanego toru kolejowego. Budowa linii tramwajowej może stymulować działania rewaloryzacyjne w przestrzeni otaczającej linię. Kolejnym aspektem pozytywnym jest to, że na przykład dzięki remontowi kapitalnemu torowiska na ulicy Krakowskiej w Krakowie odkryty i zinventaryzowany został zasób archeologiczny znajdujący się pod torowiskiem. Przejazd tramwajem ulicami zespołu zabytkowego zapewnia wgląd w obiekty architektoniczne Starego Miasta. Szerzej powyższe kwestie zostały przedstawione w [19] jako wynik prac badawczych grupy tematycznej „Problemy komunikacji w układach przestrzennych miast o charakterze zabytkowym” w ramach Międzyresortowego Programu Badań Podstawowych MR I.6 „Rewaloryzacja zespołów zabytkowych na tle rozwoju miast”.

Inwestycja tramwajowa skłania do opracowania i uchwalania planów korytarzowych, których celem jest rezerwowanie terenu na trasę tramwajową i infrastrukturę integrującą system transportowy, a także skoordynowanie zadania inwestycyjnego z otaczającym zagospodarowaniem terenu. Taki rodzaj miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego, który został uchwalony na potrzeby budowanej obecnie linii tramwajowej do Górki Narodowej, przedstawiono na rysunku 6. Zadaniem takiego planu jest także



Rys. 6. Miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego obszaru „Linia tramwajowa od pętli Krowdrza Górka do Górki Narodowej Zachód”

Źródło: https://www.bip.krakow.pl/?dok_id=29378&lid=900338285&vReg=2

stymulowanie rozwoju terenów wzdłuż trasy tramwajowej, poprzez poprawę ich dostępności oraz wpływanie na formowanie się właściwych funkcji, a także większej intensywności zabudowy.

Dwa przykłady zagospodarowania otoczenia przystanków odnoszące się do właściwej oraz niewłaściwej korelacji wysoko wydajnej komunikacji zbiorowej z funkcją i intensywnością otaczającej zabudowy odnoszą się do linii tramwaju szybkiego w Krakowie.

Przystanek Bratysławska (rys. 7) – jest to przystanek, którego zagospodarowanie sprzyja dostarczeniu pokaźnej liczby pasażerów do linii tramwaju szybkiego. Po trzech stronach skrzyżowania stoją kilkunastopiętrowe budynki mieszkaniowe. Ponadto, w odległości 200 m od przystanku, znajduje się hipermarket. Dysonans funkcjonalny w rodzaju aktywności stwarza położona w pobliżu stacja paliwowa, gdyż nie generuje podróży, które mogłyby być obsługane komunikacją zbiorową.

Przystanek Szpital Narutowicza (rys. 8) – jest to przykład przystanku, którego zagospodarowanie otoczenia jest niedostosowane do przejścia znacznych potoków pasażerskich. Wprawdzie około 200 m od przystanku znajduje się Szpital im. G. Narutowicza, ale może on przyciągnąć głównie osoby odwiedzające chorych. Personel lekarski korzysta w dojazdach do pracy prawie wyłącznie z samochodów osobowych, do czego zachęcają liczne parkingi położone przy szpitalu. Nieliczna ekstensywna zabudowa mieszkaniowa i usługowa dla motoryzacji nie zapewni wielu klientów komunikacji zbiorowej. W otoczeniu przystanku dominują tereny kolejowe, ze składem węgla do zakupów detalicznych oraz nieużytki. Na terenach obecnych nieużytków (nieurządzonej zieleni) ma zgodnie z planem miejscowym powstać osiedle mieszkaniowe, ale bez zapisów wymuszających bardzo wysoką intensywność zabudowy wskazanej z racji bezpośredniej bliskości przystanku.



Rys. 7. Zagospodarowanie otoczenia przystanku tramwaju szybkiego Bratysławska w Krakowie

Źródło: opracowanie własne sporządzone na bazie Google.maps

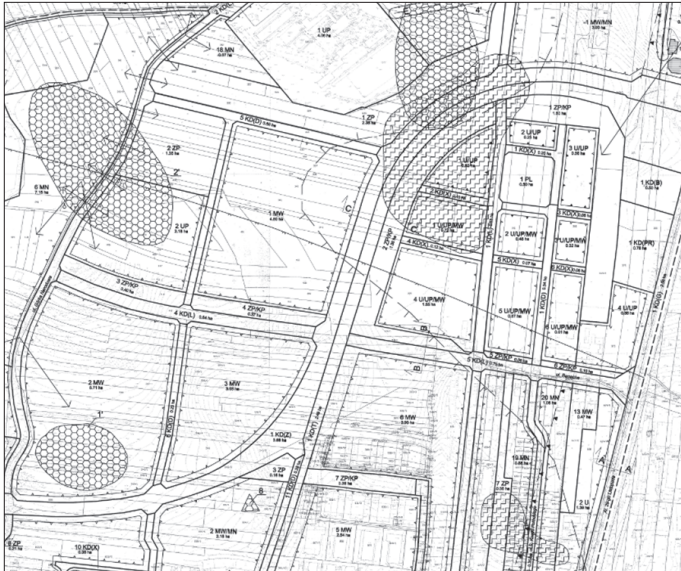


Rys. 8. Zagospodarowanie otoczenia przystanku tramwaju szybkiego Szpital Narutowicza w Krakowie

Źródło: opracowanie własne sporządzone na bazie Google.maps

W Australii obowiązują ustalenia co do gęstości zabudowy zarówno mieszkaniowej, jak i komercyjnej w odległości do 200 m od tras tramwajowych, szczególnie w otoczeniu jej przystanków. Określają one gęstość minimalną i pożądaną. W Melbourne przepisy, które na przedmieściach utrzymują istniejącą niską zabudowę, zezwalają na wyższe budynki (do 6 pięter) na ulicach wzdłuż tras tramwajowych.

Przedstawiony na rysunku 9 fragment planu miejscowego „Górka Narodowa-Zachód” w Krakowie przewiduje – wokół budowanego odcinka trasy tramwajowej (o esowatym przebiegu) – zagospodarowanie w postaci terenów zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej (MW) o wysokiej intensywności.



Rys. 9. Fragment planu miejscowego „Górka Narodowa-Zachód” w Krakowie
Źródło: https://www.bip.krakow.pl/?dok_id=15920

Należy jednak zaznaczyć, że zalecenie intensyfikowania zabudowy nie może prowadzić do degradacji niektórych funkcji oraz przestrzeni osiedla. Realizowana w inwestycjach deweloperskich nadmierna intensywność zabudowy mieszkaniowej w nowo wznoszonych lub zagęszczanych osiedlach powoduje niedostatek miejsca na komplementarne funkcje, w tym na rekreację i transport. Prowadzi to do substandardowych rozwiązań komunikacyjnych, takich jak zbyt wąskie ulice dojazdowe, brak możliwości zatrzymania i zawrócenia pojazdu, karkołomne wjazdy do garaży podziemnych, zmarginalizowana przestrzeń dla pieszych. Stanowi to uciążliwość dla mieszkańców i odwiedzających, sprawia wrażenie chaosu przestrzennego, skutkując spadkiem jakości życia oraz rynkowej wartości mieszkań.

Stworzenie elastycznych zapisów w planach zagospodarowania przestrzennego dających możliwość wykorzystywania części rezerw terenowych pod drogi. Zapisy takie dopuszczałyby wybudowanie, na przykład zamiast czterech pasów jezdni dla samochodów, tylko jezdni dwupasowej, a nadto – torowiska tramwajowego; czyli zamiast przekroju 2x2 można by zrealizować przekrój 1x2 + T {5}.

Budowa linii tramwajowej przyczynia się rewaloryzacji zdegradowanych obszarów, w tym do likwidacji slumsów i tymczasowego zagospodarowania na przykład pseudoogródków działkowych. Ponadto wymusza przebudowę infrastruktury nadziemnej i podziemnej w korytarzu projektowanej linii trasy tramwajowej. Przykładowo skablowanie linii wysokiego napięcia na odcinku przebiegu trasy tramwajowej umożliwia likwidację stref ochronnych linii energetycznych, skutkującą odzyskiwaniem terenów dla zabudowy.

Uwarunkowania ekonomiczne

Można wskazać następujące uwarunkowania:

- Nowa trasa tramwajowa powoduje wzrost aktywności gospodarczej w korytarzu jej przebiegu, szczególnie w otoczeniu przystanków. Przekrojowe badania prowadzone we Francji, Niemczech, Wielkiej Brytanii oraz

w Stanach Zjednoczonych w 15 miastach różniących się wielkością i sytuacją społeczno-gospodarczą wykazały [5], że w ww. lokalizacjach miało miejsce podniesienie wartości nieruchomości (gruntów, mieszkań) i cen wynajmu. Takiego efektu nie odnotowano w korytarzach z wprowadzoną obsługą szybkimi autobusami (*Bus Rapid Transit*). Wzrost liczby pasażerów przekłada się na zwiększenie dochodów ze sprzedaży biletów. Uwzględnienie powyższych profitów w rachunku efektywności ekonomicznej budowy linii tramwajowej poprawi wskaźniki relacji korzyści do kosztów tej inwestycji.

- Trasa tramwajowa poprzez fakt jej utrwalenia w postaci torowiska daje deweloperom pewność inwestowania w przeciwieństwie do nieutrwalonych, bo podlegających zmianom, trasom autobusowych. Dlatego w otoczeniu realizowanych przedłużeń linii tramwajowych obserwuje się wzmożony boom inwestycyjny. Odnosi się to na przykład do pokazanych na rysunku 9 obszarów przeznaczonych do zabudowy mieszkaniowej, gdzie w ostatnich latach obserwuje się wzmożoną działalność deweloperską. Duże zainteresowanie deweloperów daje się zauważyć w dzielnicy Fordon w Bydgoszczy po wybudowaniu tam linii tramwajowej.
- Inwestycje tramwajowe (infrastruktura torowa i tabor) są preferowane we wnioskach o wsparcie finansowe Unii Europejskiej.
- Szybka komunikacja tramwajowa może być – jako wielokrotnie tańsza – alternatywą dla metra. Dotyczy to przede wszystkim kosztów budowy, lecz także całkowitych kosztów eksploatacji. Przejęcie przez szybki tramwaj części podróży mieszkańców, którzy wcześniej korzystali z samochodów, zmniejszy nacisk na rozbudowę sieci ulic, w tym bardzo kosztownych wielopoziomowych węzłów drogowych.
- Większa prędkość komunikacyjna szybkiego tramwaju oraz zmniejszenie czasu postoju na końcówkach linii, osiągnięte dzięki zmniejszeniu dyspersji czasu przejazdu półkursu, skutkuje większą prędkością eksploatacyjną, co pozwala na zmniejszenie liczby taboru potrzebnego do obsługi, tym samym generuje oszczędności w kosztach zakupu taboru i jego eksploatacji.
- W sytuacji zaistniałego światowego kryzysu energetycznego rośnie rola przesłanek energetycznych w kształtowaniu rozwoju transportu zbiorowego. Uwydatnia to przewagę komunikacji tramwajowej nad autobusową (spalinową), którą cechuje [9] dwa razy większe zużycie energii przypadające na jeden pasażerokm. Warunkiem efektywności komunikacji tramwajowej jest, aby napętnienie pojazdów było wysokie, co ma miejsce, gdy podaż jest trafnie dostosowana do popytu.

Uwarunkowania społeczne i środowiskowe

Można wskazać następujące uwarunkowania:

- Poprzez poprawę dostępności transportowej eliminowane jest – a przynajmniej łagodzone – zagrożenie wykluczeniem społecznym. Sieć tramwajowa współtworzy miasto integracyjne społecznie.

- Budowa trasy tramwajowej:
 - dowartościowuje mieszkańców, zwłaszcza obszarów, na których są realizowane nowe inwestycje tramwajowe;
 - uniezależnia od korzystania z samochodu osobowego oraz autobusu na zatłoczonych ruchem ulicach (daje dogodniejszą, czyli szybszą i niezawodną alternatywę podróży);
 - zmniejsza społeczną presję na rozbudowę sieci ulic i na zwiększanie przepustowości istniejących ciągów;
 - umożliwia uspokojenie ruchu, w tym wzdłuż trasy tramwajowej, a przede wszystkim na obszarze śródmieścia;
 - wpływa na obniżenie natężeń ruchu samochodowego, zmniejsza poziom stężeń spalin oraz emisji hałasu;
 - wpływa na kształtowanie proekologicznych wzorców zachowań komunikacyjnych mieszkańców i przyjezdnych;
 - postrzegana jako działanie proekologiczne, ale jako inwestycja oddziałuje na środowisko.
- W procedurze uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach z reguły pojawia się wymóg sporządzenia pełnego raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko. Raport obejmuje w szczególności analizę oddziaływań inwestycji na poszczególne zinventaryzowane zasoby środowiska oraz opis działań przewidywanych do podjęcia w celu zapobiegania, zmniejszania i skompensowania znaczącego, szkodliwego oddziaływania na środowisko. Na podstawie przeprowadzonych konsultacji społecznych analizowane są możliwe konflikty społeczne związane z planowanym przedsięwzięciem.
- Poprzez trwałość przekładającą się na bardzo długi okres eksploatacji tramwaju (cykl życia), zmniejsza intensywność strumienia odpadów w procesie utylizacji. Nowoczesne tramwaje zawierają duży udział komponentów podlegających recyklingowi.

Uwarunkowania polityczne

Choć zostały wymienione na końcu, to one w istocie decydują o kierunkach rozwoju oraz o poszczególnych inwestycjach w komunikacji tramwajowej. Także rzutują na inne z ww. uwarunkowań.

- Przygotowywanie i uchwalanie polityk transportowych w duchu zrównoważonego rozwoju na poziomach Unii Europejskiej, Polski oraz miast wraz z gotowością i konsekwencją władz państwowych i samorządowych do stabilnej realizacji tych polityk. Sytuacja powyższa sprzyja rozwojowi komunikacji tramwajowej, gdyż stanowi ona ważny instrument realizacji celów takiej polityki. We Francji tramwaje są kręgosłupem współczesnej polityki miejskiej, w tym rozwoju zorientowanego na transport publiczny [22].
- Nowe inwestycje tramwajowe budują prestiż miasta jako nowoczesnego, realizującego ideę zrównoważonego rozwoju transportu.
- Budowa tras tramwaju (szczególnie szybkiego) wpływa na zwiększenie udziału komunikacji zbiorowej w podróżach.
- Budowa trasy tramwajowej jest argumentem – jako element polityki sterowania dostępnością – za zaniechaniem budowy lub rozbudowy ulic na tym samym kierunku przebiegu.
- Sensowne planistycznie powiązanie projektowe inwestycji tramwajowych z inwestycjami drogowymi pozwala niekiedy pozyskać środki Unii Europejskiej, także na rozbudowę ulic.

Zagrożenia rozwoju i funkcjonowania komunikacji tramwajowej

Zagrożenia wynikają częściowo z niespełnienia uwarunkowań zarówno o charakterze wewnętrznym, jak i zewnętrznym. Niektóre wyspecyfikowane kwestie będące w istocie obawami, mankamentami bądź niekorzystnymi konsekwencjami, mają wpływ pośredni na zagrożenia, gdyż mogą wywoływać presję na decyzje stwarzające niebezpieczeństwo ograniczania funkcjonowania komunikacji tramwajowej, a nawet rezygnacji z jej rozwoju.

Zagrożenia polityczno-finansowe

Można wskazać następujące zagrożenia:

- Ryzyko zmiany polityki transportowej Unii Europejskiej oraz polskich miast, która wyrażałaby się brakiem zainteresowania w realizowaniu planów zrównoważonego rozwoju transportu. Skutkiem byłoby ograniczanie, a nawet zaniechanie inwestycji komunikacji zbiorowej.
- Z powodu osiągnięcia wysokiego PKB określonego regionu w Polsce może nastąpić wstrzymanie przez Unię Europejską dofinansowania tamże budowy tras tramwajowych, przy równoczesnym braku gotowości pokrycia całości kosztów budowy przez rząd i samorządy. Może to także zagrozić wstrzymaniem dotacji wspierających koszty jej funkcjonowania.
- Zmiana priorytetów inwestycyjnych przez władze samorządowe, na przykład nacisk na kosztowną budowę metra i/lub rozbudowę sieci ulic.
- Brak środków na budowę i remonty torowisk oraz na zakupy i remonty taboru wywołane sytuacją kryzysową lub przy potencjalnie dostępnych środkach – spowodowany decyzją polityczną.
- Relatywnie wysoki koszt zakupu taboru tramwajowego, zwłaszcza w porównaniu z autobusami, skłaniający do rezygnacji z rozwijania komunikacji tramwajowej, a nawet jej ograniczanie i zastępowanie komunikacją autobusową.
- Decyzje powodowane pandemią i w konsekwencji wymuszonym spadkiem (choćby tylko okresowym) przewozów w miejskiej komunikacji zbiorowej.
- Gdyby obecny (koniec 2022) bardzo wysoki wzrost ceny energii elektrycznej okazał się trwały, zakłócona zostałaby relacja tej ceny do ceny oleju napędowego, co pogorszyłoby znacznie (w zakresie kosztów eks-

plaatacyjnych) konkurencyjność ekonomiczną tramwaju względem autobusu spalinowego.

- Uwikłanie budowy linii tramwajowej z towarzyszącymi jej – często przeskalowanymi – kosztownymi inwestycjami drogowymi oraz z wymuszoną przebudową infrastruktury magistralnej (głównie energetycznej i kanalizacyjnej). W takich sytuacjach całkowity wysoki koszt przedsięwzięcia może spowodować rezygnację z jego realizacji, niezależnie od tego, czy skala koniecznych robót towarzyszących byłaby uzasadniona, czy nie.
- Źle przygotowane, niekompletne i nie w pełni przekonująco uzasadniane wnioski o wsparcie finansowe Unii Europejskiej dla inwestycji tramwajowych.

Zagrożenia w sprawnym i efektywnym funkcjonowaniu komunikacji tramwajowej

Można wskazać następujące zagrożenia:

- Dysfunkcyjność sieci tramwajowych ujawniona brakiem zrównoważenia podaży popytem. Powoduje to straty wynikające ze wzrostu kosztów eksploatacyjnych, będące następstwem zaniechania inwestycji, które mogłyby poprawić funkcjonalność sieci. Skala strat z tego tytułu w Poznaniu została oszacowana w [10].
- Przy wysokiej trwałości przestrzennej oraz bezwładności struktura sieci i układu linii tramwajowych może nie nadążać za dużymi zmianami postępującymi w strukturze funkcjonalno-przestrzennej miasta. Przykład Krakowa: intensywny rozwój sieci w latach 50. i 60. był ukierunkowany na powiązania transportowe osiedli mieszkaniowych, zwłaszcza dzielnicy Nowa Huta z kombinatem metalurgicznym. Obecnie te relacje popytowe straciły bardzo na znaczeniu, natomiast w strukturze obecnej sieci (rys. 2) nadal są silnie eksponowane.
- Dopuszczenie ruchu (zwłaszcza intensywnego) pojazdów po torowisku, które powoduje zakłócenia w przejeździe tramwajów. Nieprawidłowo parkujące samochody skutkują zablokowaniem przejazdu.
- Degradacja potencjalnej wydajności systemu tramwajowego powodowana czynnikami zarówno technicznymi, jak i ludzkimi.

Niewykorzystanie możliwości istniejącej infrastruktury przekreśla uzyskanie oczekiwanych satysfakcjonujących prędkości przejazdu, na przykład na torowiskach wydzielonych, w tunelu, na estakadzie, na skrzyżowaniach, na rozjazdach. Zwiększanie prędkości przejazdu na tych odcinkach i punktach trasy tramwajowej było bardzo silnie postulowane w wielu dyskusjach specjalistów – między innymi podsumowanymi w [8].

Wyniki symulacji komputerowych kilku scenariuszy usprawnień infrastruktury torowej oraz sterowania priorytetami przedstawione w [1] na przykładzie linii tramwaju szybkiego nr 50 w Krakowie wykazały, że usprawnienia te zapewniłyby zwiększenie prędkości komunikacyjnej o 5 km/h.

Badania przeprowadzone we Francji [12] wykazały, że rzeczywista prędkość na rozjazdach tramwajowych była wyraźnie mniejsza niż dopuszczalna bądź zalecana. Na torowiskach położonych tuż przy chodnikach bądź ścieżkach dla rowerów tramwaje poruszają się z prędkością około 10 km/h mniejszą niż w przypadkach, gdy torowisko znajduje się na pasie dzielącym jezdnie, pomimo że motorniczowie są informowani o takiej samej prędkości dopuszczalnej. W Lyonie nazywa się to „sztucznie generowanym spowolnieniem”, gdzie zły nawyk jazdy o 10 do 15 km/h poniżej dozwolonych prędkości został szybko przejęty przez motorniczych oraz nadzór ruchu i wciąż pozostaje nie do końca zapomniany. Przede wszystkim miejscem spowolnienia przejazdu są zwrotnice, gdzie ograniczono prędkość do 10 km, lecz asekuracyjna jazda motorniczych sprawia, że ta prędkość spada jeszcze bardziej – do 7 km/h. Krytykowane jest ograniczanie prędkości do 50 km/h, gdy rozwiązania geometryczne i stan torowiska pozwalają na osiągnięcie prędkości 70 km/h, przy zapewnieniu całkowitego bezpieczeństwa. Te narzekania na powolne francuskie tramwaje prawie pokrywają się z uwagami artykułowymi w Polsce.

- Niedostosowanie sygnalizacji świetlnej do potrzeb ruchu tramwajowego – przede wszystkim brak priorytetów w ruchu lub oferowanie tylko priorytetów warunkowych zamiast bezwarunkowych.
- Niedostatek w zakresie sterowania dyspozytorskiego z wykorzystaniem systemów łączności oraz zautomatyzowanych procedur; nieskoordynowanie działań dyspozytorskich z działaniami systemów zarządzania i sterowania ruchem ogółu pojazdów.
- Nieracjonalne przepisy projektowania mogą utrudnić, a nawet uniemożliwić wpisanie trasy tramwajowej w planowane korytarze. Jeśli ich stosowanie wpływa na bardzo znaczne zwiększenie kosztów jej budowy, może to skutkować nawet zaniechaniem takiej inwestycji. Opisany w akapicie {3} przykład skutków zastosowania nakazanego maksymalnego 5% pochylenia podłużnego torowiska tramwajowego, a nie większego – jakie wynika z możliwości trakcyjnych taboru – bardzo zwiększyło koszt robót ziemnych oraz zajęcia i wywłaszczeń gruntów.
- Zanik kongestii ruchu w miastach (gdyby tak sytuacja się wydarzyła) paradoksalnie (?) może prowadzić do utraty pasażerów komunikacji zbiorowej, gdyż istotna poprawa warunków ruchu dla samochodów osobowych skłoni tych, którzy wcześniej korzystali z tej komunikacji, do podróżowania ponownie swoim samochodem. Wprowadzanie powszechnej opłaty kongestyjnej (co jest kwestią czasu, choć nie wiadomo jak odległego) będzie zmniejszać opłacalność poruszania się samochodem, co będzie łagodzić stany zatłoczenia ruchem.
- Niezapewnienie wysokiej niezawodności sieci tramwajowej. Sytuacja taka ma miejsce, gdy: spójność sie-

ci z wieloma niepowiązаныmi końcówkami jest niska; brakuje alternatywnych bezpośrednich połączeń międzydzielnicowych z pominięciem centrum, a nawet obszaru śródmieścia; tunele są zbyt długie, a przy tym niepowiązane w kilku miejscach z siecią tramwajową; brakuje zapewnienia odporności na zakłócenia i awarie oraz dogodnych, zwłaszcza krótkich, objazdów na czas remontów.

- Niewystarczająca przepustowość przystanków tramwajowych – sposoby przewyciężenia podano dalej.

Kolejne zagrożenia wynikają z niedostatecznego zintegrowania tramwaju z innymi środkami lokomocji:

- Zła dostępność do tramwaju (dalekie i kolizyjne dojścia piesze, kolizyjne wsiadanie, niedostatek niskopodłogowych tramwajów), brak miejsca w pojeździe na wózki inwalidzkie i rowery.
- Brak powiązań przesiadkowych linii tramwajowych z koleją, z liniami autobusowymi, z parkingami przesiadkowymi „Park and Ride”, strefami ruchu pieszego bądź uspokojonego.
- Niefunkcjonalne węzły przesiadkowe (w tym uciążliwości przy przesiadkach związane z pokonywaniem wysokości bez udogodnień), pozbawione integracji przestrzenno-funkcjonalnej, taryfowej i informacyjnej albo z niedostatkiem w tym zakresie.

Zagrożenia ze strony konkurencji wewnętrzsektorowej (transport zbiorowy)

Można wskazać następujące zagrożenia:

- Autobusy elektryczne, jako bezemisyjne, cichsze, tańsze w zakupie, elastyczniejsze w eksploatacji.
- Autobusy kursujące na wydzielonych jezdniach (Bus Rapid Transit – BRT).
- Linie autobusowe prowadzone na dłuższych odcinkach wzdłuż linii tramwajowych, w tym po torowisku, mogą odbierać pasażerów tramwajom, a przy dużej częstotliwości kursowania – zakłócić płynność poruszania się tramwajów, zwłaszcza zwiększając straty czasu na wlotach skrzyżowań z sygnalizacją świetlną.
- Konkurencją dla tramwaju szynowego może być autobus autonomiczny, poruszający się w sposób zbliżony do tramwaju, gdyż kursuje po wirtualnych, niewidocznych, choć ściśle wyznaczonych torach.

Zagrożenia ze strony konkurencji zewnętrznej (samochód osobowy)

Można wskazać następujące zagrożenia:

- Polityka promująca używanie samochodów, a nawet tylko nie ograniczająca korzystania z komunikacji indywidualnej.
- Konkurencyjne inwestycje drogowe, w tym wysoko przepustowe jezdnie prowadzone wzdłuż linii tramwajowej (przykład: osiedle Ruczaj-Zaborze, Płaszów w Krakowie i inne), pokazane na rysunku 2 i wzmiankowane w akapicie {2}. Będą one nie tylko odbierać komuni-

kacji zbiorowej pasażerów, którzy przesiądą się do samochodów osobowych zachęcanych poprawą warunków ruchu pojazdów, ale ponadto pogorszą wskaźniki efektywności ekonomicznej budowy linii tramwajowej, co może podważyć a posteriori celowość tej inwestycji. W świetle tego rodzaju zagrożenia korzystna jest rezygnacja z budowy ulicy dwujezdniowej na odcinku (b) – rysunek 2, z dopuszczeniem ruchu autobusów po torowisku przebudowanej trasy tramwajowej.

- Samochody autonomiczne, szczególnie współdzielone, używane do wspólnych przejazdów mogą wpływać w stopniu bardzo istotnym na zmniejszenie zapotrzebowania na transport publiczny. Ze względu na oferowanie przez te samochody niewielkiej liczby miejsc nie będą one stanowić konkurencji klasycznej komunikacji w korytarzach z dużymi potokami pasażerskimi (por. akapit {4}).

Zagrożenia ze strony planowania przestrzennego

Można wskazać następujące zagrożenia:

- Rozpraszenie zabudowy i jej niska intensywność, szczególnie w korytarzach obsługiwanych tramwajem, przy wysokiej jego zdolności przewozowej.
- Rezygnacja ze sporządzania planów miejscowych, obejmujących korytarz terenu pod trasę tramwajową i infrastrukturę integrującą system transportowy, a także zagospodarowanie przestrzenne w jej bezpośrednim otoczeniu.
- Niewystarczająca skala rezerw terenowych w planach zagospodarowania przestrzennego na potrzeby rozwoju komunikacji tramwajowej; uwalnianie tych rezerw powodowane między innymi nieprzemyślanymi planami budowy metra.
- Lokalizowanie w planach zagospodarowania przestrzennego przebiegu tras tramwaju przez wysypiska odpadów, wymagające niekiedy kosztownych rekultywacji terenu. Dotyczy to także magistralnych ciągów infrastruktury energetycznej, wymagających kosztownego skablowania. Oba aspekty odnoszą się do budowy przedłużenia linii tramwajowej do Górki Narodowej w Krakowie.
- Brak elastyczności w zapisach planów zagospodarowania przestrzennego, dające możliwości wykorzystywania części rezerw terenowych pod drogi na potrzeby komunikacji tramwajowej, opisane w akapicie {5}.
- Brak miejsca na infrastrukturę integrującą system transportowy. Należy chronić teren przeznaczony na węzły przesiadkowe; unikać zbyt elastycznych zapisów dotyczących użytkowania terenu, dopuszczających przy pętach tramwajowych lokalizowanie stacji paliwowych, warsztatów naprawy samochodów lub salonów ich sprzedaży. Przykładem obnażającym błędy planistyczne zezwalające na lokalizację takich obiektów może być otoczenie pętli na osiedlu Krowodrza Górka w Krakowie. Ich wybudowanie utrudnia integrację węzła przesiadkowego oraz blokowało rozpoczęcie i postęp w budowie linii tramwajowej.

Zagrożenia płynące z otoczenia społecznego

Zagrożenia te mają charakter bardziej obaw lub wynikają z niezadowolenia mieszkańców, które jednak mogą wpływać na niekorzystne dla komunikacji tramwajowej decyzje polityczne i administracyjne. Można wskazać następujące zagrożenia:

- Nasilanie się nadmiernych (niemożliwych do spełnienia) oczekiwań społecznych ukierunkowanych na usprawnianie ruchu samochodowego. Niegodzenie się na zapewnianie priorytetów dla pojazdów transportu zbiorowego kosztem pogarszania warunków poruszania się samochodów osobowych.
- Utrata pasażerów komunikacji zbiorowej wywołana pandemią i ryzyko utrwalania się tych zachowań w okresie popandemicznym. Zbyt wolne odbudowanie się popytu na przewozy komunikacją zbiorową po ustaniu lub złagodzeniu pandemii.
- Narzekanie pasażerów wywołane przekonaniem, że opóźnienia, spowolnienie i przestoje (a także wynikające z nich zatłoczenie) są nieuchronnym atrybutem komunikacji tramwajowej.
- Niezadowolenie społeczne i konflikty wywołane: wywłaszczeniem terenów pod inwestycje tramwajowe, likwidacją z tego powodu parkingów osiedlowych i usuwaniem zieleni, obawą o przerwanie więzi sąsiedzkich oraz obawami przed zwiększeniem hałasu.
- Nietrafione w opinii mieszkańców inwestycje tramwajowe.
- Wycofanie poparcia społecznego dla inwestycji tramwajowych, spowodowane zbyt dotkliwymi zakłóceniami w okresie ich budowy zarówno w poruszaniu się samochodami osobowymi, jak w podróżowaniu komunikacją zbiorową. Na przykład takie nastroje ujawniają się obecnie wśród części mieszkańców północnych osiedli Krakowa, zmęczonych uciążliwościami przeciągającej się budowy linii tramwajowej do Górki Narodowej.

Zagrożenia wynikające z zastrzeżeń konserwatorskich

Można wskazać następujące zagrożenia:

- Decyzje niedopuszczające w strefach ochrony konserwatorskiej (szczególnie w rejonie Starego Miasta) nowych przebiegów tras tramwajowych w poziomie terenu, a zwłaszcza tuneli tramwajowych lub metra z przystankami/stacjami. Przykładem może być kategoryczny brak zgody ze strony służb konserwatorskich na budowę łącznika tramwajowego pod Wawelem (wspomnianego w akapicie {1}). Tramwaj na tym odcinku poruszałby się bez sieci trakcyjnej, więc nie zakłócałby krajobrazu kulturowego. Obawy, że drgania od ruchu tramwajowego mogłyby uszkodzić wzgórze wawelskie są nieuzasadnione w obliczu dostępnych zabezpieczeń technicznych, które mogą temu skutecznie zapobiec.
- Brak akceptacji konserwatora zabytków na lokalizację stacji metra oraz podziemnych przystanków tramwajowych w obrębie I obwodnicy Krakowa osłabia

sens prowadzenia odcinków tunelowych przez ten obszar. Po co zatem przebijać się głęboko tunelem pod Starym Miastem, skoro nie będzie możliwe dogodne jego obsłużenie szybką komunikacją zbiorową. W tych uwarunkowaniach utrwalona stanem obecnym dopuszczalność przebiegu istniejących tras w poziomie terenu, w tym przystanków naziemnych, a niedopuszczalność podziemnych, daje przewagę tramwajowi nad metrem w obsłudze transportowej w rejonie Starego Miasta w Krakowie.

Zagrożenia wynikające z niedostatków w jakości komunikacji tramwajowej

Można wskazać następujące zagrożenia:

- duża odległość dojścia-odejścia do/od przystanku w obrębie znaczących źródeł ruchu;
- nieprzyjazne otoczenie w korytarzu dojścia-odejścia do przystanku;
- niekorzystne okoliczności oczekiwania na tramwaj (brak ochrony przed deszczem, wiatrem i pędzącymi samochodami);
- brak punktualności i regularności kursowania; odczuwalna zawodność realizacji rozkładu jazdy;
- zatłoczenie pojazdu, szczególnie dotkliwe przy długim czasie podróży;
- nadmierna i niewygodna przesiadkowość w podróży;
- brak planerów podróży lub będących niezadowolającym wytworem, w tym nieprzyjaznych w użytkowaniu;
- brak lub niepełna informacja w czasie rzeczywistym o przyjazdach tramwaju, zakłóceniach w ruchu, opóźnieniach i o skomunikowaniu przesiadek;
- wysokie opłaty za przejazd, w tym nieatrakcyjne cenowo abonamenty.

Występowanie powyższych mankamentów powodować może spadek przewozów w komunikacji tramwajowej, a w szczególności jej niekonkurencyjność w stosunku do samochodu osobowego.

Inne zagrożenia

Zagrożenia mogą też wynikać z niedostępności nowoczesnych technologii i z braku postępu w innowacyjności rozwiązań. Oczywiście nie należy traktować w kategoriach zagrożenia i ratować za wszelką cenę przed wyłączeniem z obsługi pasażerów, a nawet przed fizyczną likwidacją, trwale dysfunkcyjnych odcinków sieci tramwajowej. Taka sytuacja może zaistnieć, na przykład gdy zmiany w zagospodarowaniu przestrzennym powodują drastyczne obniżenie popytu na przewozy bądź gdy obsługę komunikacyjną przejmuje kolej. Tramwaj musi się zmierzyć z konkurencją autobusu, przy czym trzeba się pogodzić z tym, że w formule Bus Rapid Transit może autobus w pewnych okolicznościach być efektywniejszy. W kategoriach zagrożenia nie należy traktować zmniejszenia się potrzeby podróżowania w związku z upowszechnianiem się teleaktywności (zdalna praca, nauka, zakupy, rozrywka).

Działania na rzecz poprawy wydolności sieci tramwajowej

Problemem wielu funkcjonujących sieci tramwajowych jest wyczerpywanie się przepustowości przystanków – szczególnie położonych w śródmieściu. Mankament ten można usunąć przez działania inwestycyjne oraz w zakresie organizacji ruchu i przewozów, a także poprzez rozbudowę sieci tramwajowej, budowę odcinków tunelowych w rejonie śródmieścia, szczególnie budowę nowych połączeń omijających śródmieście, w tym krótkich odcinków obejść stref z przeciążonymi przystankami, co zapewnia następujące korzyści:

- odciąża przeciążone linie, które obsługują centrum;
- nowe odcinki dają możliwość specjalizowania się połączeń tramwajowych, tj. na linie z dominacją podróży do centrum oraz na linie z dominacją podróży poza centrum;
- zwiększa niezawodność sieci zarówno w przypadkach poważnych zakłóceń eksploatacyjnych, jak i w przypadku remontu torowisk;
- odpowiada na dokonujące się zmiany w strukturze przestrzennej miasta, polegające na tendencji do dekoncentracji generatorów ruchu, w tym na zmniejszaniu udziału podróży prowadzących do centrum.

Natomiast działania w zakresie organizacji ruchu i przewozów komunikacji tramwajowej to:

- zwiększanie do dwóch liczby stanowisk dla wymiany pasażerów na przystankach;
- zwiększanie pojemności taboru (pojazdy przegubowe wielocłonowe);
- zastępowanie pojazdów wysokopodłogowych pojazdami niskopodłogowymi z wieloma szerokimi drzwiami usprawniającymi wymianę pasażerów;
- wprowadzanie priorytetów, zwłaszcza bezwarunkowych dla tramwajów na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną; wzbudzana sygnalizacja świetlna na przejściach;
- skracanie czasu trwania zbyt długich cykli (zwiększa to liczbę tramwajów odprawianych z wlotów skrzyżowań w godzinie);
- wyłączanie działania sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniach niezbyt obciążonych ruchem;
- działania dyspozytorskie zachowujące regularność kursowania oraz niedopuszczające do gromadzenia się w obrębie przystanków grup tramwajów;
- konstruowanie dodatkowych kierunkowych torów przystankowych na skrzyżowaniach;
- lokalizowanie przystanków za wlotem skrzyżowania z sygnalizacją świetlną; poprawia to dokładność predykcji czasu przejazdu tramwaju przez skrzyżowanie;
- remarszrutyzacja i stosowna synchronizacja kursów linii tramwajowych pod kątem równomierności obciążenia krytycznych skrzyżowań i przystanków.

Należy z dużą ostrożnością dopuszczać autobusy do korzystania z przystanków tramwajowych, w przypadkach gdy ich przepustowość jest bliska wyczerpania.

Podsumowanie

1. Doświadczenia światowe potwierdzają, że komunikacja tramwajowa jest i będzie (pomimo zawirowań i zagrożeń) stabilną opcją rozwojową transportu zbiorowego. Preferowaną formą jej rozwoju jest szybki tramwaj, który kumuluje w sobie efekt wydzielonych bezkolizyjnych torowisk z priorytetami na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Uważa się, że fragmenty takich rozwiązań zostały w Polsce zrealizowane w Poznaniu, Krakowie, Szczecinie, Bydgoszczy i w Warszawie, w nieco różniącej się formule. Realizowanie według tych zasad kolejnych tras tramwajowych z elementami tuneli i estakad, z równoczesnym zapewnieniem priorytetu w ruchu na modernizowanych istniejących fragmentach sieci tramwajowych, należy uznać za racjonalny kierunek działań. Formuła szybkiego tramwaju kształtowała się i ewoluowała długo. Pierwotnie odnosiło się to do systemu całkowicie wydzielonego, przestrzennie bezkolizyjnego. Rozwój systemów sterowania ruchem umożliwił rozciągnięcie tego pojęcia na trasy z torowiskami niekoniecznie całkowicie wydzielonymi. Charakterystyki sytuują szybki tramwaj jako system pomiędzy tramwajem klasycznym a metrem lub szybką koleją miejską.
2. Liczne uwarunkowania wpływają korzystnie na rozwój i sprawne funkcjonowanie komunikacji tramwajowej. Spośród najbardziej charakterystycznych i istotnych uwarunkowań należy wymienić przede wszystkim realizowanie polityki zrównoważonego rozwoju transportu miejskiego. Zapewnianie priorytetów w ruchu tramwajów, budowa nowych połączeń w sieci, szczególnie w formule tramwaju szybkiego, w tym uaktywnienie krótkich końcówek linii poprawia niezawodność działania, zmniejsza konieczność przesiadania się, skraca czas podróży i zwiększa popyt na przewozy komunikacją zbiorową. Powiązania tras tramwajowych z dworcami i przystankami kolejowymi oraz autobusowymi, jak również z parkingami typu „Park and Ride” zwiększa efektywność systemu transportu miejskiego. Budowa linii tramwajowych stymuluje rozbudowę lub modernizację ulic pozostających we wspólnym korytarzu z tramwajem, a powodując rozcięcie istniejącej sieci ulic, wymaga działań przywracających jej spójność. Urbanistyczną rolą komunikacji tramwajowej jest współtworzenie struktury miasta, aktywizowanie jego rozwoju oraz kształtowanie dobrej jakości przestrzeni publicznej i wizerunku miasta. Właściwa funkcja i intensywność zabudowy w otoczeniu trasy tramwaju szybkiego będzie generować popyt na podróże, adekwatny do potencjalnych możliwości jego obsługi. Wprowadzanie nowych torowisk tramwajowych w zespoły zabytkowe wymaga uwzględnienia uwarunkowań konserwatorskich, co jest trudne, a czasami niemożliwe do spełnienia. Nowa trasa tramwajowa powoduje wzrost aktywności gospodarczej w korytarzu jej przebiegu, w tym wzmożoną działalność deweloperską oraz wpływa na kształtowanie proekologicznych wzorców zachowań komunikacyjnych. Szybka komunikacja tramwajowa może być – jako wielokrotnie tańsza – alternatywą do metra.

3. Zagrożenia dla efektywnego i jakościowo satysfakcjonującego funkcjonowania komunikacji tramwajowej oraz dla realizacji planów jej dalszego rozwoju mają różnorodny charakter. Byłoby to przede wszystkim odstąpienie od zasad polityki zrównoważonego rozwoju transportu miejskiego, skutkujące rezygnacją z zapewnienia priorytetów w ruchu oraz w inwestycjach dla komunikacji zbiorowej, w tym prawdopodobieństwa braku wsparcia finansowego Unii Europejskiej. Ponadto zagrożeniem może być między innymi: kryzys energetyczny i pandemiczny, funkcja i intensywność zabudowy nie generująca w korytarzach tramwajowych dostatecznego popytu na przewozy, brak rezerw terenowych na rozbudowę infrastruktury tramwajowej, niewykorzystane potencjalne możliwości zapewnienia wyższej prędkości komunikacyjnej, niski poziom niezawodności sieci tramwajowej, niewystarczająca przepustowość przystanków tramwajowych, realizowanie inwestycji drogowej w sposób wpływający na przejmowanie przez samochody pasażerów komunikacji zbiorowej, presja społeczna na intensywną rozbudowę sieci ulic i wycofanie poparcia dla inwestycji tramwajowych, zastrzeżenia konserwatorskie uniemożliwiające racjonalne rozwiązania transportowe, niedostatki w jakości komunikacji tramwajowej. Wszystkimi tymi i innym zagrożeniami trzeba i można przeciwdziałać.

Literatura

- Bauer M., Klimontowska N., *Możliwości przyspieszenia linii nr 50 Krakowskiego Szybkiego Tramwaju*, Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego, X Poznańska Konferencja Naukowo-Techniczna. Poznań–Rosnówko, 17–19.06.2015.
- Biedermann E., *Schnellstrassenbahnen. Ein neues Verkehrsmittel zur Erschließung großstädtischer Vorortsbesiedlung*, Technik und Wirtschaft, Nr 9, 1917.
- Ефремов И.С., Кобозев В.М., Юдин В.А., Теория городских пассажирских перевозок. 4.1. Обычные и новые виды городского пассажирского транспорта. Москва „Высшая Школа“, 1980.
- Fact Book Glossary – Mode of Service Definitions”, American Public Transportation Association, 2015, Archived from the original on 25 February 2018, Retrieved 6 January 2015.
- Hass-Klau C., Crampton G., Benjari R., *Economic impact of light rail – the results of 15 urban areas in France, Germany, UK and North America*, Environmental – Transport Planning, London 2004.
- Knowles R.D., Ferbrache F., *Evaluation of wider economic impacts of light rail investment on cities*, „Journal of Transport Geography”, 2016, no 54.
- Konopacki-Maciuk Z., *Trams as tools of urban transformation in French cities*, Technical Transactions, Architecture 10-a/2014, Kraków.
- Kopta T., *Polski Klub Ekologiczny a transport ekorozwoju*, Wydawnictwo „Ekologiczne Raporty”, Kraków 2022.
- Krych A., *Energochłonność jako kryterium optymalizacji miejskiego transportu publicznego*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2019, nr 6.
- Krych A., *Tramwaj jako podmiot strategii i logiki interwencji*, Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego, X Poznańska Konferencja Naukowo-Techniczna. Poznań–Rosnówko, 17–19.06.2015.
- Krych A. z zespołem, *Systemy priorytetu dla tramwajów w sygnalizacji świetlnej w zastosowaniach krajowych*, Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego, Nowoczesny transport publiczny w obszarach zurbanizowanych, X Poznańska Konferencja Naukowo-Techniczna. Poznań–Rosnówko, 15–17.06.2011.
- Lents, les tramways français ?* Le webmagazine des transports urbains. <http://transporturbain.canalblog.com/pages/lents--les-tramways-francais--/30779749.html>
- Light Rail Transit. Service Guidelines. VTA Transit Sustainability Policy, 2007. https://nacto.org/docs/usdglrtse-rviceguidelines_vta.pdf
- Novales M., Orro A., Bugarin M.R., *Tram-Train: New Public Transport System*. View SAGE Journals. Volume 1793, Issue 1. <https://doi.org/10.3141/1793-11>, 2002.
- Ostaszewicz J., Rataj M., *Szybka komunikacja miejska. Inżynieria Komunikacyjna*, Wyd. Komunikacji Łączności, Warszawa 1979.
- Podoski J., *Tramwaj szybki – projektowanie i eksploatacja*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1983.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz.U. z 2022 r. poz. 1518).
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. z 2016 r. poz. 124 oraz z 2019 r. poz. 1643).
- Rudnicki A., *Problemy komunikacji w miastach zażytkowych*, Zbiór referatów z konferencji naukowo-technicznych SITK „Problemy komunikacyjne Krakowa”, Kraków 1985.
- Rudnicki A., *Przegląd badań prognozujących wpływ pojazdów autonomicznych na funkcjonowanie systemu transportu oraz na strukturę przestrzenną miast. Horyzont 2050 – lepszy transport & lepsze miasto*, „Annały Inżynierii Ruchu i Badań Transportowych”, Poznań 2021, t.4 (XIII).
- Vuchic V. R., *Urban Transit. Systems and Technology*, John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 2007.
- Zaborowski Ł., *Tramwaj dla polskich miast. Raport Instytutu Sobieskiego*, Warszawa 2018, <https://sobieski.org.pl/tramwaj-dla-polskich-miast/>

Zasoby internetowe

- https://pl.wikipedia.org/wiki/Analiza_SWOT, dostęp 23.07.2022
- https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_tram_and_light_rail_transit_systems
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Tramwaje_w_Polsce
- <https://pl.wikipedia.org/wiki/Tramwaj>
- <https://www.britannica.com/technology/light-rail-transit>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Glossary_of_rail_transport_terms
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Schnellstra%C3%9Fenbahn>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Stadtbahn>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Light_rail
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Pozna%C5%84ski_Szybki_Tramwaj#/media/Plik:Sie%C4%87_tramwajowa_w_Poznaniu.svg
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Krakowski_Szybki_Tramwaj
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Tramwaje_w_Krakowie
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Szczeci%C5%84ski_Szybki_Tramwaj
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Tramwaje_w_Szczecinie
- <https://inzynerbudownictwa.pl/linia-tramwajowa-do-dzielnicy-fordon-w-bydgoszczy/>
- <https://www.zdmikp.bydgoszcz.pl/pl/transport/schematy-sieci-komunikacji-miejskiej>
- https://moovitapp.com/index/pl/transport_publiczny-line-2-Warsaw-1062-850589-638859-0
- http://siskom.waw.pl/kp-tramwaj_wilanow.htm
- https://cdn.galleries.smcloud.net/t/photos/gf-Qgtz-dcha-JoGt_tramwaj-do-wilanowa.jpg
- https://www.krakow.pl/aktualnosci/232328,1912,komunikacja-jakie-szanse-na-tramwaj-pod-wawelem_.html
- https://en.wikipedia.org/wiki/Bordeaux_tramway
- <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/krakow-zawiesza-trase-tramwajowa-do-walcowni-kiedy-wroci--nie-wiado-60078.html>
- http://mpk.krakow.pl/Data/Files/_public/mpk/telebus/mapka-telebus.png