

Mateusz Ilba

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Wydział Gospodarki i Administracji
Publicznej, Katedra Gospodarki Regionalnej, ul. Rakowicka 27, 31-510 Kraków,
ilbam@uek.krakow.pl

KOMUNIKACJA ZBIOROWA – DROGA DO WYSOKIEJ JAKOŚCI ROZWIĄZAŃ TRANSPORTOWYCH

Abstract: Public transport – way to high quality urban transport solutions. Transport is one of the factors influencing the development of metropolitan areas. However, for its efficient work, numerous optimizations are required. Main tasks are shortening travel time, improving service quality and increasing the number of passengers served. The author has presented current studies on the field in optimization of public transport, mainly ways to optimize the transport network construction, based on large data sets about the population and their communication behaviour. Methods of combining various types of public transport with each other are presented. In the paper also are presents authors studies on the communication accessibility within the city of Cracow. Estimated distances from buildings to various types of public transport stops. The results were presented in aggregated form. Calculated communication speed of three types of public transport functioning in Cracow has also been discussed.

Keywords: optimization of public transport, analysis of the availability of public transport, transport in Cracow

JEL codes: R41, R42

Wprowadzenie

Komunikacja jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na optymalny rozwój miasta. Zagęszczanie ludności w obrębie miasta powoduje jednak znaczne problemy komunikacyjne. Wysoce nieefektywne staje się podróżowanie prywatnymi środkami transportu, które zajmują znaczną

przestrzeń. Samochody, które powodują zatłoczenie miasta, mają też negatywny wpływ nie tylko na efektywność transportu publicznego (blokowanie dróg), lecz również na przemieszczanie się ludzi. Często bowiem blokują one chodniki, pogarszając komfort poruszania się pieszo – jednego z najwydajniejszych sposobów przemieszczania się ludzi w mieście na krótkie dystanse.

Komunikacja zbiorowa jest jedynym środkiem zwiększenia efektywności transportowej miasta. Dzięki niej oszczędzana jest cenna przestrzeń, która może być zagospodarowana w inny sposób niż na dodatkowe pasy ruchu lub parkingi. Skalę tego problemu ilustruje eksperyment przeprowadzony w Krakowie, gdzie obok autobusu ustawiono ciąg samochodów osób, które mieszczą się w autobusie. Autobus ten zajął 18 m jednego pasa, natomiast samochody 150 m na pięciu pasach [Łepecki 2013].

Aby zachęcić mieszkańców do korzystania z komunikacji miejskiej, wymagane jest dobre jej zaplanowanie oraz zoptymalizowanie. Komunikację należy tworzyć dla ludzi, czyli na podstawie obserwacji ich zachowań i zwyczajów podróżowania. Dzięki niej osoby odpowiedzialne za planowanie będą dokładnie wiedziały, jak powinny przebiegać linie komunikacyjne, aby odpowiadały w sposób optymalny obecnym i potencjalnym pasażerom. Z kolei optymalizacje (np. rozkładów jazdy) powinny być poprzedzone licznymi analizami ruchu ulicznego, a także obciążenia komunikacyjnego o danej porze dnia.

Celem niniejszej pracy jest zaprezentowanie aktualnych badań nad sposobami optymalizacji komunikacji miejskiej oraz wyników badań dostępności komunikacji miejskiej na obszarze miasta Krakowa wraz z jej krótką charakterystyką.

1. Rodzaje komunikacji zbiorowej i ich wydajność przewozowa

Komunikacja zbiorowa ma różne formy. Do najpopularniejszych rozwiązań zaliczamy:

- komunikację szynową (metro, kolej, tramwaj),
- komunikację kołową (trolejbusy i autobusy).

Zastosowanie danego rozwiązania zależy od uwarunkowań przestrzennych miasta. Największą wydajnością przewozową cechuje się transport szynowy, gdyż ma wydzielony własny szlak komunikacyjny (torowisko), przeważnie nieblokowane innymi rodzajami transportu, w szczególności indywidualnego (torowiska tramwajowe mogą być tożsame z drogą kołową).

Zbiorowa komunikacja kołowa często konkuruje o przestrzeń (na drodze, ulicy) z innymi środkami transportu (samochodami, prywatnymi firmami przewozowymi), co spowalnia przewozy w czasie szczytu komunikacyjnego.

Ostatnio coraz najpopularniejszą formą podróżowania w obrębie miasta staje się również miejska komunikacja rowerowa (np. systemy Veturilo w Warszawie i Wavelo w Krakowie). Pozwala ona bowiem nierzadko zwiększyć szybkość przemieszczania się ludzi, jednak na nieduże odległości. Ma też znaczne ograniczenia w postaci liczby środków transportu.

Wydajność przewozowa pojazdami transportu publicznego zależy od wielu czynników [Piątkowski i in. 2016: 669–674]. Są nimi głównie:

- model i stan pojazdu przewozowego,
- stan infrastruktury (nawierzchni, torowiska),
- uwarunkowania przestrzenne (np. ograniczenia dopuszczalnej prędkości ze względu na ruch pieszych).

W komunikacji zazwyczaj pojawia się zagadnienie kilku prędkości, które należy różnie interpretować. Prędkość techniczna (V_t) jest podstawową, jaką możemy zdefiniować w systemie komunikacji. Jest to iloraz przebytego dystansu (L) do sumy przejazdu (T_r) i czasu postojów technicznych (T_{pt}):

$$V_t = L / (T_r + T_{pt})$$

Bardziej rozbudowana jest prędkość komunikacyjna (V_k), którą wyliczamy poprzez podzielenie długości trasy przejazdu danego pojazdu przez sumę czasu trwania ruchu, postoju technicznego oraz czasu wymaganego na odprawę podróżnych (T_{pp}). Prędkość ta ma znaczenie dla podróżnych, gdyż wyznacza ich szybkość przemieszczania się. Wzór ten możemy zapisać w postaci:

$$V_k = L / (T_r + T_{pt} + T_{pp})$$

Najistotniejsza dla osób zajmujących się planowaniem i optymalizacją komunikacji jest wartość prędkości eksploatacyjnej (V_e). Powiększa ona mianownik wcześniejszych dwóch wzorów o trzecią zmienną – czas postoju na przystanku końcowym łącznie z czasem na przerwę międzykursową (T_{pk}):

$$V_e = L / (T_r + T_{pt} + T_{pp} + T_{pk})$$

2. Etapy planowania i optymalizowania komunikacji miejskiej – studia literatury

Zanim rozpoczniemy optymalizację połączeń komunikacji miejskiej, musimy przystąpić do zaplanowania lokalizacji przystanków. Ich położenie powinno odzwierciedlać potrzeby komunikacyjne ludności przebywającej na danym obszarze. Przesłanki za umiejscowieniem przystanku komunikacji miejskiej [Gadziński 2012: 69–90] są następujące:

- duża spodziewana liczba osób korzystających z przystanku (uzyskiwana na podstawie zabudowań i ich sposobu użytkowania oraz danych demograficznych),
- znaczna odległość do istniejących przystanków (dla sieci komunikacji szynowej od 300 m do 1000 m, dla autobusowej bez określania minimalnej odległości),
- powstanie dużego zakładu usługowo-przemysłowego.

Mając wyznaczone położenie przystanków, można przystąpić do planowania linii komunikacyjnych, które będą je obsługiwać, a następnie do planowania częstości kursowania danych linii, co wiąże się również z opracowaniem rozkładu jazdy. W obu etapach wymagane są analizy bazujące na badaniach zachowań podróżnych celem zaplanowania optymalnych rozwiązań. Już tylko z danych demograficznych można przewidzieć obciążenie przystanku, ale nie będziemy mogli przewidzieć, dokąd ci użytkownicy komunikacji będą podróżować.

2.1. Dostęp do komunikacji miejskiej – planowanie przystanków

Dostępność komunikacyjną można opisać jako łatwość osiągnięcia celu podróży z aktualnie rozpatrywanego miejsca [Guzik 2013], jednak sama dostępność może być rozpatrywana pod różnym kątem. Może to być odległość do danego miejsca, czas, jaki jest zużywany na przebycie drogi, lub też wartość pieniężna (koszt) pokonania danej trasy [Cichociński, Dębińska 2012: 41–48].

Dostępność do komunikacji miejskiej określa, jak wygląda dostęp do najbliższego przystanku komunikacji, z którego podróż może być kontynuowana za pomocą danego pojazdu. W tym wypadku możemy rozpatrywać ocenę dostępności przez pryzmat czasu dojścia do przystanku oraz długości drogi.

W literaturze można spotkać liczne sposoby obliczania dostępności do komunikacji za pomocą:

- analiz sieciowych [Cichociński, Dębińska 2012: 41–48],
- tworzenia buforów wokół przystanków [Gadziński, Beim 2009: 10–16],
- analiz rastrowych [Brzuchowska 2010: 125–138].

2.2. Intermodalność w komunikacji miejskiej

Optymalizacja sieci transportowej miasta może przebiegać w różny sposób. Niestety, nigdy nie uda się stworzyć systemu komunikacji miejskiej który będzie odpowiadał każdej jednostce zeń korzystającej. Jest to związane z tym, że każdy rozpoczyna podróż w innej lokalizacji i podróżuje do różnych miejsc. Dlatego musimy przykładać tak dużą wagę do badań intermodalności

połączeń komunikacyjnych miasta. Badając zachowania ludzi, możemy opracować najlepsze sposoby wykorzystania różnych środków transportu (lub linii komunikacyjnych).

Na przykład Oostendorp i Gebhardt [2018: 72–83] wykorzystali dostępne dane przestrzenne do przestudiowania sieci powiązań komunikacyjnych Berlina. Sprecyzowali trzy możliwe połączenia komunikacji, sprzyjające zwiększeniu dostępności komunikacyjnej, tj. połączenie komunikacji zbiorowej kołowej z szynową, komunikacji zbiorowej z rowerową oraz podróży prywatnymi samochodami z komunikacją zbiorową. Wnioski wynikające z cytowanej pracy przemawiają za planowaniem komunikacji zbiorowej w taki sposób, aby umożliwić w jak największym stopniu wykorzystanie różnych środków transportu w czasie podróży. Głównymi elementami pozwalającymi to osiągnąć są odpowiednio zlokalizowane parkingi „Park & Ride”, przystanki oraz stacje wypożyczania rowerów. Komunikacja miejska powinna być bowiem trzonem podróży, natomiast rowerowa oraz prywatne samochody jedynie umożliwiać dotarcie do przystanków lub kontynuowanie podróży tam, gdzie nie jest to już możliwe za pomocą komunikacji zbiorowej.

2.3. Użytkownicy w planowaniu komunikacji miejskiej

Podróżni korzystający z komunikacji miejskiej powinni być głównym czynnikiem kształtującym sieć połączeń na obszarze miasta. Jednak podczas badań nad efektywnością i optymalizacją sieci transportowych natrafiamy na problem zdobycia danych dotyczących zachowań i zwyczajów komunikacyjnych podróżnych. Dane te można pozyskać w zależności od stopnia informatyzacji komunikacji miejskiej.

Najprostszym, ale stosunkowo kosztownym sposobem są ankiety przeprowadzane w środkach komunikacji publicznej [Nguyen-Phuoc i in. 2018: 1–14]. Pozwalają one uzyskać informacje, skąd i dokąd najczęściej podróżny przemierza się, dlaczego wybiera daną linię i co według niego podniosłoby komfort podróżowania. Odpowiedzi na ankiety mogą wskazać, co należy zmienić w aktualnym układzie linii komunikacyjnych. Główną wadą tego rozwiązania są wysokie koszty ankietowania i aktualność danych z ankiety. Zmieniające się miasto ciągle generuje nowe potrzeby transportowe. Dlatego ankiety muszą być przeprowadzane co pewien czas (np. raz na kilka lat). Z kolei zbyt częste ankiety wywołują niechęć podróżnych do takiego badania.

Innym sposobem zebrania informacji jest bazowanie na dużych zbiorach danych (big data) pozyskanych przez różnego rodzaju systemy informatyczne. Agard i in. [2006: 399–404] zaprezentowali sposób wykorzystania transakcji z użyciem *smart card* (kart kredytowych, kart miejskich) do zebrania i analizowania danych o odbytych podróżach. Dzięki szerokiemu zakresowi

czasowemu można przewidzieć, które linie komunikacyjne (również łączone) są obciążone, w jakim stopniu i o jakiej porze dnia.

Wyjątkowym sposobem na zebranie danych dotyczących zachowań komunikacyjnych podróżnych jest uczenie maszynowe. Sztuczne sieci neuronowe pozwalają lepiej przewidzieć obciążenie sieci, gdyż do analizy można wprowadzić wiele zmiennych (nie tylko dane z jednego systemu). Przykłady użycia takich algorytmów można znaleźć w pracach Wei i Chen [2012: 148–162], Ding i in. [2016] oraz Li i in. [2017: 306–328], których autorzy zaprezentowali sposób na uzyskanie informacji odnoszących się do transportu podziemnego, czyli metra.

Ważnym zagadnieniem jest również badanie ruchu pieszego odbywającego się między przystankami [Lantseva, Ivanov 2018: 463–471]. Jeśli ruch ten jest utrudniony, przystanek traci popularność i jest przez podróżnych pomijany w czasie planowania podróży. Ważna jest też odległość do innych przystanków umożliwiających przesiadkę na inną linię komunikacyjną.

Na podstawie zebranych danych (z różnych źródeł) możliwe jest dostosowanie linii komunikacyjnych do aktualnie panujących zwyczajów mieszkańców miasta. Należy zaznaczyć, że takie zaplanowanie przebiegu linii komunikacyjnych jest trudne z uwagi na duże rozbieżności początku i celu podróży wśród badanych. Dlatego ustalone linie są odpowiedzią na połączenia najczęściej wybierane. Nigdy nie da się dostosować sieci linii do wszystkich preferencji podróżnych.

2.4. Optymalizacja rozkładu jazdy

Innym aspektem optymalizacji publicznej sieci transportowej jest dostosowanie rozkładu jazdy do zaplanowanej siatki połączeń. Za pomocą danych o obciążeniu sieci można zdecydować, jak często dane linie będą kursować. Bardzo ważne, w zrównoważonym transporcie miejskim jest takie zaplanowanie czasu odjazdów, aby istniały optymalne możliwości kontynuowania podróży innym środkiem transportu lub inną linią.

W konstruowaniu rozkładu jazdy dla komunikacji szynowej (kolej, metro, tramwaj) sposób rozłożenia optymalnego czasu kursowania ma duże znaczenie ze względu na rozjazdy oraz bezpieczny odstęp pomiędzy kursującymi jednostkami. W celu utworzenia rozkładu jazdy można użyć specjalistycznego oprogramowania lub zastosować różne metody obliczeniowe implementowane w algorytmach komputerowych, które wyraźnie przyspieszają stworzenie optymalnego rozkładu jazdy. Można tu wymienić wiele modeli, np. matematyczny [Serafini, Ukovich 1989: 550–581], linearny [Vansteenwegen, van Oudheusden 2006: 337–350] lub model oparty na grafach [Caprara i in. 2002: 851–861].

Ogólnych refleksji na temat planowania rozkładu jazdy pod kątem osiągniętych wyników możemy doszukać się w pracy Kisielewskiego i Ulmana [2016: 648–653], którzy przebadali wpływ planowania na generowane opóźnienia komunikacji miejskiej.

Dogłębna analiza opracowanych rozkładów jazdy może być wykorzystana do ich ulepszenia i poszukiwania sposobów na ich optymalizację. Zagadnienie znalezienia idealnej konfiguracji czasu odjazdów jest bardzo skomplikowane, dlatego w tym celu coraz częściej używane są metody komputerowe bazujące na sztucznej inteligencji i uczeniu maszynowym. Mendes-Moreira i in. [2015: 299–313] przedstawili przykład zastosowania sztucznych sieci neuronowych w celu optymalizacji sieci komunikacyjnej miasta Porto w Portugalii. Z kolei Świdorski [2011: 962–969] poruszył problem oceny jakości różnych usług transportowych i stwierdził, że prawidłowe zbudowanie modelu neuronowego wymaga znacznej ilości danych wyjściowych, co niestety utrudnia analizy i wprowadza wymóg operowania dużymi zbiorami danych.

3. Charakterystyka komunikacji zbiorowej Krakowa – studia dostępności komunikacyjnej

W ramach wstępnych badań nad możliwą optymalizacją sieci transportowej Krakowa przeanalizowano dostępność do przystanków komunikacji miejskiej w odniesieniu do aktualnej zabudowy miasta.

3.1. Dane wyjściowe

Danymi wyjściowymi dla tej analizy były informacje pozyskane z różnych źródeł. Strukturę zabudowań pozyskano z Urzędu Miasta (dane za 2017 r.), przebieg sieci komunikacyjnych z OpenStreetMap [Allan 2018], natomiast szczegółowe dane dotyczące przystanków, czasów przejazdu i linii komunikacyjnych pozyskano ze stron MPK Kraków S.A. [2018] oraz PKP S.A. [2018].

Zebrane dane opracowano w otwartym oprogramowaniu QGIS, zaś analizy statystyczne wykonano za pomocą oprogramowania Spatialite oraz Excel.

3.2. Sposób analizy oraz wyniki i dyskusja

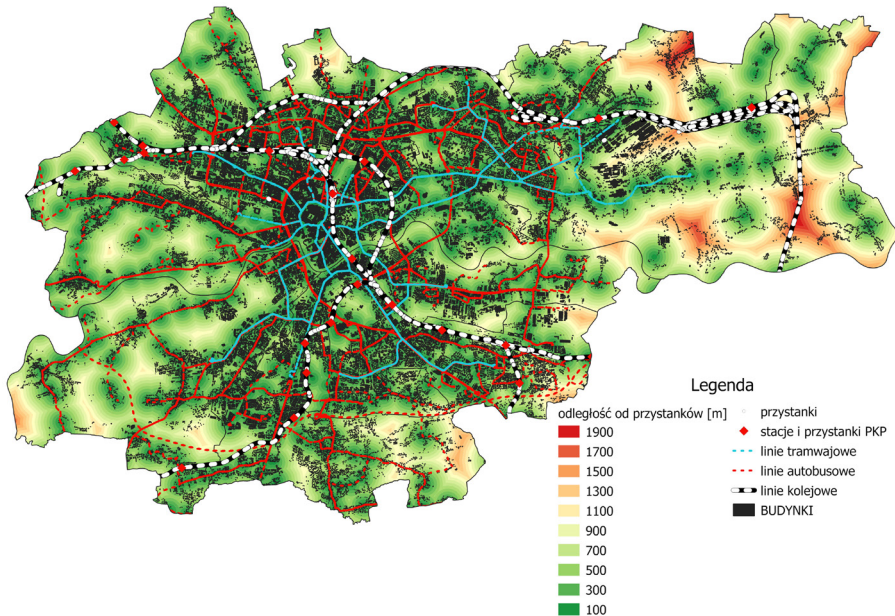
Badanie dostępu do komunikacji miejskiej przeprowadzono stosunkowo prostą metodą tworzenia buforów wokół lokalizacji przystanków komunikacji miejskiej. Bufory te tworzone w odstępach co 100 m aż do wypełnienia nimi całego obszaru Krakowa. W wyniku tej analizy (ryc. 1) uzyskano tereny,

które mają różną wartość odległości do przystanków komunikacji miejskiej, w przedziałach od 100 do 1900 m.

Przeanalizowano również dostęp do komunikacji z istniejących zabudowań Krakowa. W tym celu przecięto przestrzennie warstwę budynków z wartościami odległości od przystanków. Ponieważ budynki nie są sobie równe (budynek jednorodzinny zamieszkiwać może kilka osób, apartamentowiec nawet kilkadziesiąt), do analiz statystycznych dodano wagę bazującą na powierzchni użytkowej budynku. Wynik analizy przedstawiono w tabeli 1 oraz na rycinie 2.

Analizą objęto również aktualną sieć transportu komunikacji zbiorowej. Przy użyciu danych o długościach linii tramwajowych, autobusowych i kolejowych oraz średniego czasu ich przejazdu przez dany pojazd komunikacji miejskiej opracowano średnią prędkość komunikacyjną (tab. 2).

Na podstawie mapy (ryc. 1) i wykresu (ryc. 2) oraz tabeli 1 można stwierdzić, że dostępność komunikacyjna zabudowy Krakowa jest na dobrym poziomie. Prawie 100% wszystkich budynków, a więc i miejsc przebywania ludności, leży w odległości do 1000 m od przystanków. Dla zabudowy mieszkalnej odległość ta wynosi około 700 m. Natomiast budynki usługowe, handlowe, biurowe, oświaty i ochrony zdrowia (czyli ważne cele podróży) są oddalone maksymalnie o 700 m.

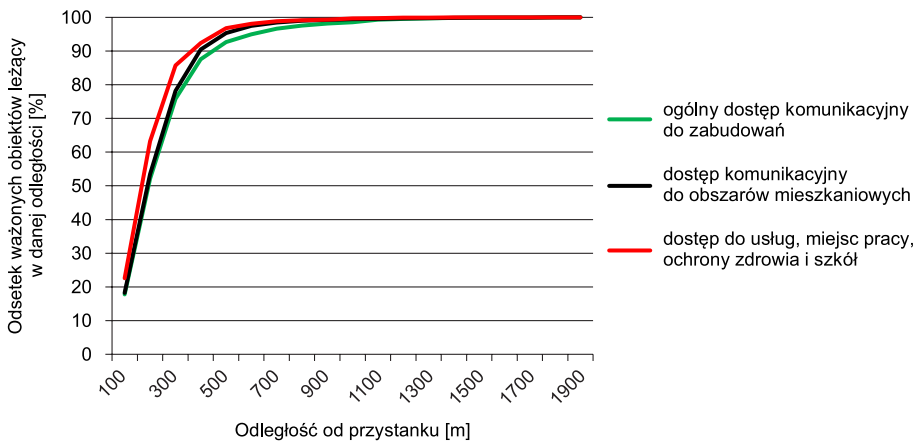


Ryc. 1. Dostępność do przystanków komunikacji miejskiej Krakowa w roku 2018

Źródło: Opracowanie własne.

Wynik analizy na rycinie 1 obrazuje zmniejszoną dostępność dla obszarów Nowej Huty, które w obecnym momencie nie są mocno zagospodarowane (głównie pojedyncze domy jednorodzinne). Mniejsze fragmenty z osłabioną dostępnością do przystanków są obserwowane na obrzeżach południowej części Krakowa, ale są to również tereny z bardzo małą gęstością zabudowy.

Maksymalny wygodny dystans, jaki podróżny jest w stanie pokonać, wynosi średnio 400 m w niesprzyjających warunkach poruszania się pieszego (wąski chodnik wzdłuż ruchliwej ulicy), lecz może dojść do 1000 m w bardzo dobrych warunkach, np. ścieżka spacerowa wśród zieleni [Daniels, Mulley 2013: 5–20; Dybalski 2014]. Przyjmując pierwsze kryterium, dostępność w promieniu 400 m od przystanków komunikacji miejskiej Krakowa cechuje (po uwzględnieniu wag w postaci powierzchni) średnio 88% wszystkich budynków, 90% budynków mieszkalnych oraz 92% obiektów usługowych itp., a w drugim kryterium mieszczą się prawie wszystkie (ryc. 1, tab. 1, 2). Pojawia się tutaj nowe pytanie badawcze: czy z budynków położonych dalej niż 400 m dojście do nich z przystanku ma formę wygodnej ścieżki lub chodnika, czy prowadzi przez mało wygodny wąski chodnik wzdłuż ruchliwej ulicy. Odpowiedź na to pytanie pozwoli stwierdzić, czy aktualne usytuowanie przystanków krakowskiej komunikacji miejskiej (głównie na obszarach peryferyjnych miasta) może pozostać (odległość dotarcia do przystanku ze względu na uwarunkowania spaceru są dobre), czy też należałoby przeprojektować ich lokalizację (zagęścić przystanki) na tych obszarach, aby zachęcić



Ryc. 2. Sumaryczny procentowy dostęp z określonego rodzaju budynków (po ważeniu powierzchnią użytkową) do przystanków komunikacji miejskiej Krakowa w roku 2018

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 1

Dostęp z zabudowań Krakowa do przystanków komunikacji miejskiej

Odległość do przystanku	Budynki		Budynki ważne powierzchnią		Budynki mieszkalne		Budynki mieszkalne ważne powierzchnią		Budynki usługowe, biurowe, oświaty i zdrowia		Budynki usługowe, biurowe, oświaty i zdrowia ważne powierzchnią	
	liczba	%	m ²	%	liczba	%	m ²	%	liczba	%	m ²	%
0–100	18082	15	9485514	18	7281	14	6361192	18	1687	33	1724070	23
101–200	32851	27	18344960	34	14390	27	12277375	35	1724	33	3109975	41
201–300	26943	22	12691415	24	12080	23	8609720	25	980	19	1717427	22
301–400	17018	14	6275005	12	7830	15	4281077	12	379	7	511803	7
401–500	9065	7	2724728	5	3961	7	1707732	5	170	3	337825	4
501–600	5720	5	1244006	2	2476	5	718543	2	81	2	94710	1
601–700	4277	3	879041	2	1720	3	367948	1	50	1	58110	1
701–800	2428	2	483857	1	944	2	164244	0	32	1	23351	0
801–900	1505	1	322807	1	647	1	103999	0	23	0	15025	0
901–1000	1094	1	224103	0	413	1	66109	0	16	0	25662	0
1001–1100	850	1	390851	1	243	0	38317	0	13	0	9911	0
1101–1200	721	1	135113	0	233	0	34668	0	8	0	9200	0
1201–1300	665	1	80453	0	222	0	30307	0	4	0	3854	0
1301–1400	464	0	70082	0	177	0	27247	0	4	0	2491	0
1401–1500	307	0	31286	0	119	0	17644	0	2	0	58	0
1501–1600	247	0	24023	0	103	0	15441	0	0	0	0	0
1601–1700	168	0	15083	0	66	0	9437	0	0	0	0	0
1701–1800	166	0	16222	0	72	0	10380	0	0	0	0	0
1801–1900	26	0	4484	0	12	0	1523	0	0	0	0	0
Suma	122597	100	53443033	100	52989	100	34842903	100	5173	100	7643472	100

Źródło: Opracowanie własne.

więcej mieszkańców do pozostawiania samochodów w garażu i korzystania z komunikacji zbiorowej.

Analizę średniej prędkości komunikacyjnej wybranych środków w Krakowie przedstawiono w tabeli 2. W porównaniu z innymi miastami prędkość tramwajów wynosząca w Krakowie 19 km/h (tab. 2) była większa niż w Warszawie (14 km/h), Poznaniu (17 km/h), Wrocławiu (13 km/h) czy Łodzi

Tabela 2

Liczba przystanków i średnia prędkość komunikacyjna publicznych środków transportu w Krakowie w roku 2018

Rodzaj komunikacji	Liczba przystanków	Średnia prędkość komunikacyjna [km/h]
Kolejowa	21	42,2
Tramwajowa	370	19,0
Autobusowa	1403	22,7

Źródło: Opracowanie własne.

(13 km/h), ale znacznie mniejsza niż w Gdańsku (27 km/h), przy czym dane dla tych miejscowości pochodzą z 2013 i 2014 r. [Urząd Miasta Poznania 2014]. Prędkość komunikacji autobusowej jest w Krakowie większa niż w pozostałych miastach w latach 2013–2014, nie przekraczała średnio 16 km/h.

Obecnie trwają prace nad stworzeniem szybkiej kolei aglomeracyjnej, która już częściowo działa, a daje nadzieję na szybki transport w Krakowie. Szybkość podróżowania nią jest dwukrotnie większa od innych środków transportu zbiorowego, jednak ma ona za mało przystanków – zaledwie 21. W aktualnym stanie częstotliwość kursowania tych pociągów jest też zbyt mała, aby podróżni wybierali je jako środek codziennej komunikacji.

Podsumowanie

Artykuł prezentuje wstępne wyniki badań sieci komunikacyjnej Krakowa. Współczesne badania działania sieci komunikacji miejskiej w dużej mierze koncentrują się na wykorzystaniu nowoczesnych technik komputerowych (sztucznych sieci neuronowych, uczenia maszynowego oraz analiz dużych zbiorów danych). Rosnąca złożoność sieci transportowych powoduje, że tradycyjne podejście do optymalizacji transportu miejskiego staje się trudne, a wręcz prawie niemożliwe.

W artykule przedstawiono wynik wstępnego badania dostępności komunikacyjnej miasta Krakowa wraz ze wstępną analizą sieci komunikacyjnej, składającej się tu z komunikacji kolejowej, tramwajowej i autobusowej. Wyniki te mogą sugerować, że prędkości komunikacyjne są na niskim poziomie i mogą zostać powiększone poprzez bardziej zaawansowane podejście do sieci komunikacyjnej.

Dostępność do przystanków tramwajowych i autobusowych jest dobra, jeśli weźmiemy pod uwagę tereny zabudowane. Dostrzec można jednak miejsca, które w przyszłości (w miarę sukcesywnej zabudowy) będą musiały

zostać uzupełnione o przystanki komunikacji miejskiej. Takimi miejscami są znaczne tereny Nowej Huty oraz południowe obrzeża miasta.

Opracowanie samouczącego się modelu matematyczno-informatycznego bazującego na danych zbieranych z monitoringu sieci (systemu TTSS, jak również testowanego systemu monitoringu komunikacji autobusowej) powinno przyczynić się do zwiększenia prędkości komunikacyjnej i tym samym lepszego wykorzystania komunikacji zbiorowej w Krakowie.

Literatura

- Agard B., Morency C., Trépanier M., 2006, *Mining public transport user behaviour from smart card data*. IFAC Proceedings Volumes, 39(3): 399–404.
- Allan, A., 2018, *Transport Map* [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Transport_Map].
- Brzuchowska J., 2010, *Propozycje analiz zjawisk transportowych oparte na mapach rastrowych i narzędziach GIS*. Czasopismo Techniczne. Architektura, 107(1-A): 125–138.
- Caprara A., Fischetti M., Toth P., 2002, *Modeling and solving the train timetabling problem*. Operations Research, 50(5): 125–138.
- Cichociński P., Dębińska E., 2012, *Badanie dostępności komunikacyjnej wybranej lokalizacji z wykorzystaniem funkcji analiz sieciowych*. Roczniki Geomatyki–Annals of Geomatics, 10(4 (54)): 41–48.
- Daniels R., Mulley C., 2013, *Explaining walking distance to public transport: The dominance of public transport supply*. Journal of Transport and Land Use, 6(2): 5–20.
- Ding C., Wang D., Ma X., Li H., 2016, *Predicting short-term subway ridership and prioritizing its influential factors using gradient boosting decision trees*. Sustainability, 8(11).
- Dybalski J., 2014, *Jak daleko do przystanku to za daleko?* [<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/jak-daleko-do-przystanku-to-za-daleko-2440.html>].
- Gadziński J., 2012, *Lokalizacja przystanków a konkurencyjność transportu publicznego w aglomeracji poznańskiej*, [w:] *Transport publiczny w aglomeracji poznańskiej – propozycje usprawnień*, M. Szymczak (red.). Biblioteka Aglomeracyjna, 9: 69–90.
- Gadziński J., Beim M., 2009, *Dostępność przestrzenna lokalnego transportu publicznego w Poznaniu*. Transport Miejski i Regionalny, 5: 10–16.
- Guzik R., 2003, *Przestrzenna dostępność szkolnictwa ponadpodstawowego w województwie małopolskim*. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Kisielewski P., Ulman B., 2016, *Planowanie rozkładów jazdy komunikacji miejskiej w aspekcie punktualności i synchronizacji kursów*. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 17: 648–653.
- Lantseva A.A., Ivanov S.V., 2018, *Assessment of pedestrian flow volumes through public transport modelling*. Procedia Computer Science, 136: 463–471.
- Li Y., Wang X., Sun S., Ma X., Lu G., 2017, *Forecasting short-term subway passenger flow under special events scenarios using multiscale radial basis function networks*. Transportation Research Pt C: Emerging Technologies, 77: 306–328.

- Łepecki M., 2013, *Autobus kontra samochody: zaskakujący wynik eksperymentu* [<https://krakow.onet.pl/autobus-kontra-samochody-zaskakujacy-wynik-eksperymentu/qzzj4>].
- Mendes-Moreira J., Moreira-Matias L., Gama J., de Sousa J.F., 2015, *Validating the coverage of bus schedules: A machine learning approach*. Information Sciences, 293: 299–313.
- MPK Kraków S.A., 2018, *Mapki komunikacyjne* [<http://www.mpk.krakow.pl/pl/mapki-komunikacyjne>].
- Nguyen-Phuoc D.Q., Currie G., De Gruyter C., Young W., 2018, *How do public transport users adjust their travel behaviour if public transport ceases? A qualitative study*. Transportation Research Pt F: Traffic Psychology and Behaviour, 54: 1–14.
- Oostendorp R., Gebhardt L., 2018, *Combining means of transport as a users' strategy to optimize traveling in an urban context: empirical results on intermodal travel behavior from a survey in Berlin*. Journal of Transport Geography, 71: 72–83.
- Piątkowski P., Kraczkowski A., Surówka L., 2016, *Analiza efektywności transportu zbiorowego w mieście*. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 17: 669–674.
- PKP S.A., 2018, *Wyszukiwarka połączeń kolejowych* [<https://rozklad-pkp.pl/>].
- Serafini P., Ukovich W., 1989, *A mathematical model for periodic scheduling problems*. SIAM Journal on Discrete Mathematics, 2(4): 550–581.
- Świdorski A., 2011, *Neuronowe modelowanie oceny jakości usług transportowych*. Logistyka, (4): 962–969.
- Urząd Miasta Poznania, 2014, *Plan transportowy aglomeracji poznańskiej* [<http://www.plantap.pl/wskazniki/zbiorowy/dane-techniczne/>].
- Vansteenwegen P., van Oudheusden D., 2006, *Developing railway timetables which guarantee a better service*. European Journal of Operational Research, 173(1): 337–350.
- Wei Y., Chen M.C., 2012, *Forecasting the short-term metro passenger flow with empirical mode decomposition and neural networks*. Transportation Research Pt C: Emerging Technologies, 21(1): 148–162.