

Czas przejazdu tramwajów w zależności od ich separacji od ruchu ogólnego na przykładzie ulicy Grzegórzeckiej w Krakowie¹

MACIEJ MIKULSKI

mgr inż., Zarząd Transportu Publicznego w Krakowie, ul. Wielopole 1, 31-072 Kraków, tel. 793-582-070, mmikulski@ztp.krakow.pl, kontakt@maciejmikulski.pl, www.maciejmikulski.pl

Streszczenie: W artykule omówiono wpływ zmian w organizacji ruchu na czas przejazdu tramwajów. Za studium przypadku posłużyła ulica Grzegórzecka w Krakowie, na której w pierwszej połowie czerwca 2020 roku wprowadzono nową organizację ruchu, polegającą na likwidacji jednego pasa ruchu ogólnego i dopuszczenie na nim wyłącznie rowerów. Ruch ogólny wprowadzono w zamian na torowisko tramwajowe, dotychczas fizycznie odseparowane. W artykule przedstawiono komputerowe pomiary czasów przejazdu tego odcinka przez tramwaje linii 1, 19 i 22, przed i po reorganizacji. Dla każdej z linii wykonano test istotności, stawiając hipotezę zerową, że średnie czasy przejazdu tramwajów przed i po zmianach są sobie równe. Na poziomie istotności 0,05 w dwóch przypadkach stwierdzono, że czasy przejazdu po zmianach w organizacji ruchu na ulicy Grzegórzeckiej są niższe, a w jednym brak podstaw do odrzucenia hipotezy o równości czasów przejazdu w obu okresach. Przedstawiono podstawowy wniosek, że czas przejazdu tramwajów po dopuszczeniu ruchu ogólnego na torowisko tramwajowe nie zwiększył się.

Słowa kluczowe: komunikacja tramwajowa, tramwaje, organizacja ruchu drogowego.

Wprowadzenie

Pandemia koronawirusa i związane z nią ograniczenia mocno wpłynęły na niemal wszystkie dziedziny gospodarowania. W przypadku transportu miejskiego, w kształtowaniu oferty przewozowej podstawowymi uwarunkowaniami są: rynkowe, organizacyjno-zarządcze, prawne, społeczno-ekonomiczne, personalno-kulturowe, marketingowe [1]. Sytuacja epidemiologiczna znacząco wpłynęła w praktyce na każde z nich, a organizatorzy transportu oraz przewoźnicy niemal z dnia na dzień musieli odnaleźć się w zupełnie nowych realiach codziennego funkcjonowania.

Na mocy specustawy pracodawcy otrzymali możliwość zlecenia pracownikom pracy zdalnej w ramach przeciwdziałania COVID-19 [2]. Wiele firm oraz instytucji państwowych i samorządowych skorzystało z tej możliwości. Sektor turystyczny oraz rozrywkowy na przeszło dwa miesiące został zamrożony. Jednym z efektów był spadek mobilności społeczeństwa, szczególnie zauważalny wśród mieszkańców większych miast. Oszacowano, że w Krakowie ruch drogowy zmalał o 30% do 70%, w zależności od ulicy [3], [4].

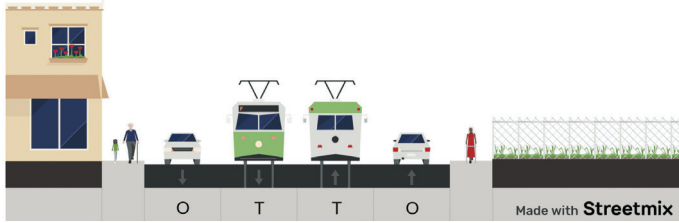
W maju 2020 roku kolejne rządowe ograniczenia były stopniowo znoszone w następujących po sobie etapach. Rosła liczba pasażerów komunikacji miejskiej, wzrastał ruch drogowy [4]. Zarząd Transportu Publicznego w Krakowie i Wydział Miejskiego Inżyniera Ruchu Urzędu Miasta zdecydowały się na wprowadzenie działań nazwanych Krakowską Tarczą dla Mobilności [3]. Ich ideą była promocja ruchu rowerowego i pieszego jako relatywnie bezpiecznych epidemiologicznie form przemieszczania się, czemu dodatkowo sprzyjała pora roku [3]. W wybranych miejscach w Krakowie wdrożono sektorową organizację ruchu czy tymczasowe drogi dla rowerów na pasach drogowych, które uznano za niepotrzebne w związku z mniejszym natężeniem ruchu [3], [4]. Zmiany wprowadzono m.in. na ulicy Grzegórzeckiej, która posłużyła za studium przypadku w niniejszym artykule.

Zmiany w organizacji ruchu

Odcinek ulicy Grzegórzeckiej, na którym wprowadzono zmiany w organizacji ruchu, rozciąga się od skrzyżowania z ulicą św. Łazarza do ulicy Rzeźniczej. Przed zmianami ulica Grzegórzecka posiadała na tym odcinku w przekroju poprzecznym po jednym pasie ruchu ogólnego w każdym kierunku, a na środku fizycznie wydzielone (za pomocą separatorów) po jednym pasie tramwajowo-autobusowym w obu kierunkach, co przedstawiono na rysunku 1. W trakcie zmian, przeprowadzonych w pierwszej połowie czerwca 2020 roku, w kierunku ronda Grzegórzeckiego pas ruchu ogólnego zmieniono na dwukierunkowy pas rowerowy, natomiast wydzielone torowisko tramwajowe stało się pasem o wspólnym ruchu ogólnym i tramwajowym. W relacji przeciwnej organizacja ruchu pozostała bez zmian. Przekrój poprzeczny ulicy Grzegórzeckiej w nowej organizacji ruchu przedstawiono na rysunku 2, gdzie kolorem czerwonym zaznaczono obszar objęty modyfikacjami. Przyjęto następujące oznaczenia: „O” – pas ruchu ogólnego, „R” – pas rowerowy, „T” – pas autobusowo-tramwajowy, „O+T” – wspólny pas ruchu ogólnego i tramwajowego.

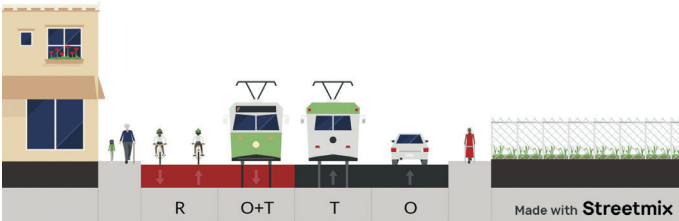
Na fotografii 1 przedstawiono widok na ulicę Grzegórzecką (w kierunku Hali Targowej) po zmianach w organizacji ruchu. Na pierwszym planie nowy, dwukierunkowy pas ruchu dla rowerów, natomiast po prawej stronie od niego wydzielone separatorami torowisko tramwajowe z dopuszczonym ruchem ogólnym w stronę ronda Grzegórzeckiego.

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2020.



Rys. 1. Ulica Grzegórzecka w Krakowie przed zmianami w organizacji ruchu

Źródło: www.streetmix.net



Rys. 2. Ulica Grzegórzecka w Krakowie po zmianach w organizacji ruchu

Źródło: www.streetmix.net



Fot. 1. Ulica Grzegórzecka w Krakowie po zmianach w organizacji ruchu

Źródło: materiały Sebastiana Kowala, Zarząd Transportu Publicznego w Krakowie

Dane z systemu TTSS

Za nadzór nad komunikacją tramwajową w Krakowie odpowiada System Nadzoru Ruchu Tramwajowego – TTSS (Tram Traffic Supervision System) firmy Trapeze. Pojazdy wyposażone są w komputery pokładowe, rejestrujące określone parametry ruchu. Dane te dostępne są dyspozytorom na bieżąco oraz zapisywane w archiwum.

Do celów porównania zmian w czasie przejazdu tramwajów ulicą Grzegórzecką na odcinku i w relacji od przystanku „Hala Targowa” do przystanku „Rondo Grzegórzeckie”, wybrano okres 12 dni przed zmianami w organizacji ruchu (od 18 do 29 maja 2020 roku) oraz 12 dni po zmianach (od 15 do 26 czerwca 2020), odrzucając okres przejściowy oraz czas długiego weekendu (Boże Ciało). Należy zaznaczyć, że w maju występowały większe ograniczenia w kursowaniu linii tramwajowych związane z pandemią COVID-19, w efekcie czego mniejsza jest liczba zebranych danych.

W omawianych okresach ulicą Grzegórzecką, między przystankami „Hala Targowa” i „Rondo Grzegórzeckie”, kursowały linie tramwajowe numer 1, 19 i 22. Linie numer 1 oraz 22 zatrzymywały się na tym samym peronie zespołu przystanków „Rondo Grzegórzeckie” (na alei Pokoju), natomiast linia 19 skręcała w lewo na rondzie i zatrzymywała się na peronie zlokalizowanym na alei Powstania Warszawskiego.

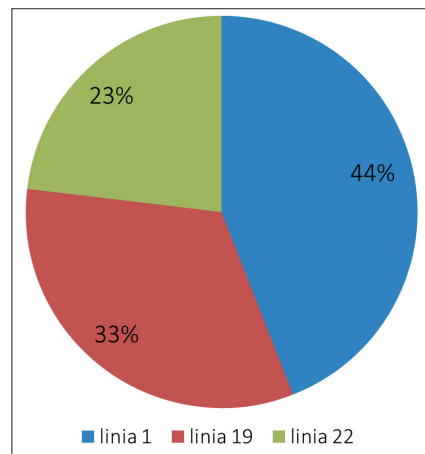
Peron przystanku „Hala Targowa” był wspólny dla wszystkich linii.

Dla obu okresów (przed i po zmianach) pod uwagę wzięto wszystkie kursy zarejestrowane w tym czasie przez system TTSS. Wielkość uzyskanej próby statystycznej, z podziałem na okresy porównawcze oraz poszczególne linie, przedstawiono w tabeli 1, natomiast na rysunku 3 pokazano udział każdej linii w całkowitej liczbie zarejestrowanych kursów.

Tabela 1

Linia	Liczba zarejestrowanych kursów tramwajowych		
	liczebność próby [szt.]		
	przed zmianami	po zmianach	suma
1	705	966	1671
19	411	832	1243
22	423	454	877
suma	1539	2252	3791

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]



Rys. 3. Udział poszczególnych linii w całkowitej liczbie zarejestrowanych kursów tramwajowych
Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

Z prób statystycznych każdej linii dla obu okresów porównawczych odrzucono pomiary skrajne, stanowiące poniżej 1% zebranych danych. Następnie dla każdej linii ułożono szereg rozdzielczy i podzielono na 14 przedziałów klasowych o szerokości 15 sekund, rozpoczynając od przedziału o rozpiętości od 1 min 15 s do 1 min 30 s, a kończąc na przedziale o rozpiętości od 4 min 45 s do 5 min. W celu umożliwienia porównania zmian w czasach przejazdu, w każdej klasie zmieniono wartości liczbowe na odsetki, jakie te wartości stanowiły względem liczebności próby.

Linia 1

Linia tramwajowa numer 1 kursowała na trasie Salwator–Wzgórza Krzesławickie [6]. Na rysunku 4 przedstawiono histogram udziału poszczególnych klas czasów przejazdu tramwajów w próbach przed i po zmianach w organizacji ruchu na ulicy Grzegórzeckiej. Średni czas przejazdu przed zmianami wyniósł 3 min 05 s, po zmianach 2 min 49 s. Odchylenie standardowe wyniosło odpowiednio 29 s i 39 s.

Dla zebranych prób wykonano test istotności, stawiając hipotezę zerową (H_0), że średnie czasy przejazdu tramwajów przed i po zmianach w organizacji ruchu są sobie równe ($m_1 = m_2$). Za hipotezę alternatywną (H_1) postawiono nie-

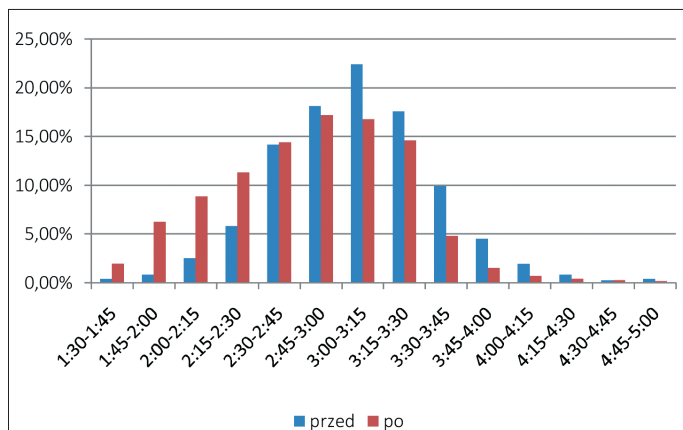
równość $m_1 > m_2$, oznaczającą, że średni czas przejazdu tramwajów po wprowadzeniu na torowisko tramwajowe ruchu ogólnego jest mniejszy niż przed tymi zmianami. Przyjęto poziom istotności 0,05. Wyznaczono obszar krytyczny $< z_\alpha; +\infty$, gdzie $z_\alpha = 1,64$. Obliczono statystykę

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} = 9,64,$$

gdzie:

\bar{X}_n – średnia arytmetyczna w próbie,
 S_n – odchylenie standardowe w próbie,
 n – liczebność próby.

Wobec faktu, że wartości Z znalazły się w obszarze krytycznym, stwierdzono, że na poziomie istotności 0,05 można odrzucić hipotezę zerową na rzecz hipotezy alternatywnej, że średni czas przejazdu na linii 1 po zmianach w organizacji ruchu jest mniejszy.



Rys. 4. Czasy przejazdu tramwajów linii 1 przed i po zmianach w organizacji ruchu na ulicy Grzegorzeckiej

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

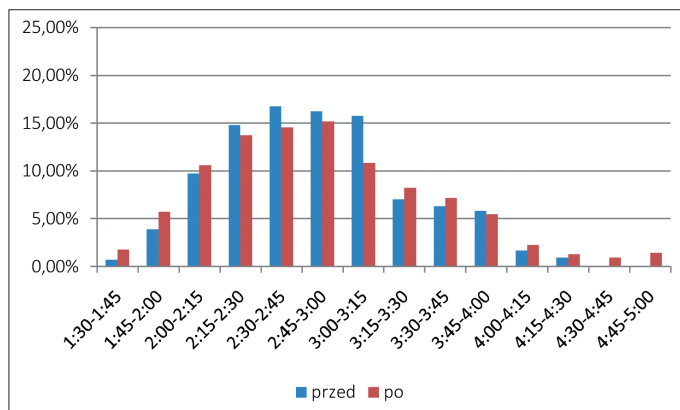
Linia 19

Linia tramwajowa numer 19 kursowała na trasie tymczasowej Borek Fałęcki–TAURON Arena Kraków Wiczysta w czasie pierwszego okresu pomiarowego (z powodu zamkniętego tunelu tramwajowego), natomiast od 13 czerwca 2020 linia została przywrócona na stałą trasę, tj. Borek Fałęcki–Dworzec Towarowy [6]. Na omawianym odcinku ulicy Grzegorzeckiej trasa linii 19 w maju i czerwcu 2020 roku nie była zmieniana.

Na rysunku 5 przedstawiono histogram udziału poszczególnych klas czasów przejazdu tramwajów w próbach przed i po zmianach w organizacji ruchu na ulicy Grzegorzeckiej. Średni czas przejazdu przed zmianami wyniósł 2 min 51 s, po zmianach 2 min 53 s. Odchylenie standardowe wyniosło odpowiednio 35 s i 42 s.

Dla linii 19 przeprowadzono analogiczne operacje i obliczenia, jak w omówionym wcześniej szczegółowo przypadku linii numer 1, z tą różnicą, że za hipotezę alternatywną (H_1) postawiono odwrotną nierówność ($m_1 < m_2$), oznaczającą, że średni czas przejazdu tramwajów po zmianach w organizacji ruchu jest większy niż przed tymi zmianami.

Obszar krytyczny był lewostronny ($-\infty; -z_\alpha$), gdzie $-z_\alpha = -1,64$. Statystyka Z dla linii 19 wyniosła $Z = 0,89$ i wobec jej znalezienia się w obszarze akceptacji hipotezy zerowej, na poziomie istotności 0,05 stwierdzono brak podstaw do odrzucenia hipotezy, że średnie czasy przejazdu tramwajów linii 19 przed i po zmianach w organizacji ruchu na ulicy Grzegorzeckiej są równe.



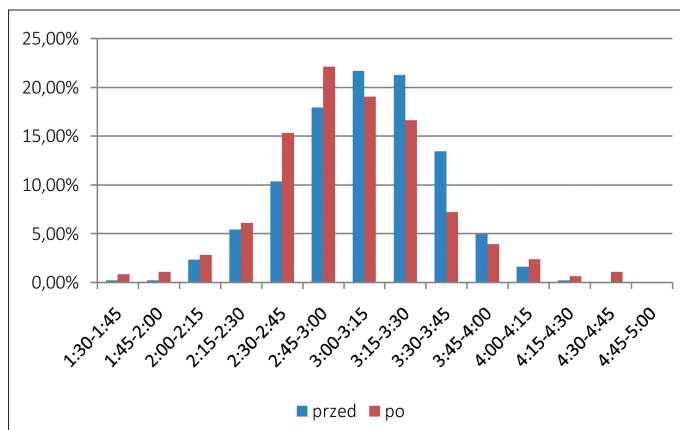
Rys. 5. Czasy przejazdu tramwajów linii 19 przed i po zmianach w organizacji ruchu na ulicy Grzegorzeckiej

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

Linia 22

Linia tramwajowa numer 22 kursowała na trasie Borek Fałęcki–Kopiec Wandy [6]. Na rysunku 6 przedstawiono histogram udziału poszczególnych klas czasów przejazdu tramwajów w próbach – przed i po zmianach w organizacji ruchu na ulicy Grzegorzeckiej. Średni czas przejazdu przed zmianami wyniósł 3 min 08 s, po zmianach 3 min 04 s. Odchylenie standardowe wyniosło odpowiednio 27 s i 33 s.

Wzorem linii 1 i 19 przeanalizowano średnie czasy przejazdu tramwajów na odcinku Hała Targowa–rondo Grzegorzeckie dla linii numer 22, stawiając hipotezę alternatywną (H_1), taką samą jak dla linii 1 (czas przejazdu tramwajów ulicą Grzegorzecką po dopuszczeniu na torowisko tramwajowe ruchu ogólnego jest mniejszy niż przed: $m_1 > m_2$). Przyjęto prawostronny obszar krytyczny, dla którego $z_\alpha = 1,64$. W tym przypadku statystyka Z wynio-



Rys. 6. Czasy przejazdu tramwajów linii 22 przed i po zmianach w organizacji ruchu na ulicy Grzegorzeckiej

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

sła $Z = 1,97$ i znalazła się w obszarze krytycznym, wobec czego stwierdzono, że na poziomie istotności 0,05 można odrzucić hipotezę zerową na rzecz hipotezy alternatywnej, że średni czas przejazdu tramwajów linii 22 po zmianach w organizacji ruchu na omawianym odcinku jest mniejszy.

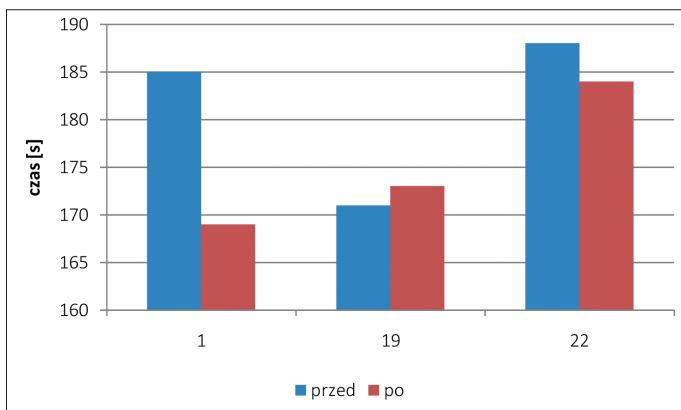
Zestawienie wyników

Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na wyjątkowo wysoką wartość statystyki Z dla linii numer 1 ($Z = 9,64$), która wynika z dużej różnicy średnich, tj. $\bar{X}_1 = 3 \text{ min } 05 \text{ s}$, $\bar{X}_2 = 2 \text{ min } 49 \text{ s}$. Pokreślić ponadto trzeba, że kontrolowane jest jedynie ryzyko popełnienia błędu I rodzaju (prawdopodobieństwo odrzucenia prawdziwej hipotezy zerowej) [7] i wynosi 5%. Wobec głównego założenia badania sprawdzenia, czy średnie czasy przejazdów tramwajów się nie zwiększyły, taką kolej rzeczy uznano za akceptowalną. Hipoteza alternatywna H_1 została dobrana dla każdej linii osobno, w zależności od spodziewanych wartości Z . Na rysunku 7 przedstawiono porównanie średnich czasów przejazdu tramwajów omawianych linii przed i po zmianach w organizacji ruchu, natomiast w tabeli 2 podsumowano wyniki testów istotności i na ich podstawie przedstawiono podstawowy wniosek.

Tabela 2

Zestawienie wyników testów istotności				
nr linii	przyjęta hipoteza	wynik testów istotności – średnie czasy przejazdu tramwajów		wniosek
		przed zmianami	po zmianach	
1	H_1	większe	mniejsze	czas przejazdu tramwajów po dopuszczeniu ruchu ogólnego na torowisko tramwajowe nie zwiększył się
19	H_0	równe		
22	H_1	większe	mniejsze	

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7. Porównanie średnich czasów przejazdu tramwajów linii 1, 19 oraz 22 przed i po zmianach w organizacji ruchu na ulicy Grzegorzeckiej.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5].

Podsumowanie

Czas przejazdu tramwajów na ulicy Grzegorzeckiej w Krakowie od przystanku „Hala Targowa” do przystanku „Rondo Grzegorzeckie” nie zwiększył się po zmianach w organizacji ruchu. Przy 5% ryzyku popełnienia błędu I rodzaju, w dwóch przypadkach stwierdzono natomiast, że średnie czasy przejazdu zmniejszyły się, a w jednym czas

pozostał na tym samym poziomie. Interesujące są także różnice czasów przejazdu omawianego odcinka pomiędzy poszczególnymi liniami w tym samym okresie. Można z nich wnioskować, że jest to efektem obsługi każdej z tych linii – co do zasady – innymi wagonami oraz notowania przez te linie na swoich trasach (całościowo) odmiennych odchyień od rozkładu jazdy, wobec czego motorniczowie mogą mieć różne motywacje do szybszej bądź wolniejszej jazdy. Podstawowym wnioskiem jest jednak brak negatywnego wpływu dopuszczenia ruchu ogólnego na torowisko tramwajowe na czas przejazdu kursujących po tym odcinku tramwajów. Większe odchylenia standardowe, stwierdzone w przypadku każdej linii po zmianach w organizacji ruchu, wynikają z większej liczby kursów (a więc i zebranych danych w próbach), co z kolei oznacza większe prawdopodobieństwo zanotowania sytuacji nieplanowych (awarie, zatrzymania w ruchu itp.).

Należy podkreślić zasadność prowadzenia dalszych obserwacji zmian w czasie przejazdu tramwajów, zarówno konkretnie na ulicy Grzegorzeckiej w Krakowie, jak i w miejscach przeprowadzanych i planowanych zmian w organizacji ruchu. Szczególnie pożądanym kierunkiem badań są ponadto zmiany w natężeniu ruchu drogowego oraz – w dalszej perspektywie – ich wpływ na punktualność linii tramwajowych. Bez względu na podjęte przez władze miasta decyzje teraz i w przyszłości studium ulicy Grzegorzeckiej w Krakowie może stać się cennym doświadczeniem dla inżynierii ruchu oraz pragmatycznym przykładem dla praktyków. Przede wszystkim jednak trzeba mieć na uwadze, że każdy przypadek reorganizacji ruchu drogowego jest indywidualny oraz podatny na szereg lokalnych czynników i nie można odnosić omówionego w niniejszym opracowaniu przypadku do każdego innego miejsca. Nie ma jednak wątpliwości, że wszystkie działania w zakresie organizacji ruchu transportu miejskiego, podjęte przez miasta z uwagi na wyjątkową i trudną do przewidzenia sytuację związaną z pandemią COVID-19, powinny być ze szczególną uwagą potraktowane w dysertacjach naukowych jako bezcenna baza wiedzy.

Literatura

1. *Transport Miejski. Ekonomika i organizacja*, red. Wyszomirski O., Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2008.
2. Ustawa z dnia 2 marca 2020 r. o szczególnych rozwiązaniach związanych z zapobieganiem, przeciwdziałaniem i zwalczaniem COVID-19, innych chorób zakaźnych oraz wywołanych nimi sytuacji kryzysowych, Dz. U. 2020 poz. 374.
3. *Mobilność w Krakowie 2020, Krakowska Tarcza dla Mobilności*, <http://mobilnykrakow.pl/krakowska-tarcza-dla-mobilnosci/> (dostęp 23.10.2020).
4. Urbanowicz W., *Revolucja w Krakowie. Będą tymczasowe pasy w jezdni*, portal „Transport Publiczny”, 23.04.2020, <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/revolucja-w-krakowie-beda-tymczasowe-pasy-rowerowe-w-jezdni-64463.html> (dostęp 23.10.2020).
5. Dane z systemu TTSS (Tram Traffic Supervision System) w Krakowie.
6. Portal Zarządu Transportu Publicznego – Komunikacja Miejska w Krakowie, <http://krmkrakow.pl/> (dostęp 23.10.2020).
7. Wasilewska E., *Statystyka matematyczna w praktyce*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2015.