

**ZOFIA BRYNIARSKA**

dr inż. Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Zarządzania w Budownictwie i Transporcie, Zakład Transportu, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: z\_bryni@pk.edu.pl

**WOJCIECH JASTRZĄB**

mgr inż., absolwent studiów II stopnia kierunku: Systemy transportowe i logistyczne, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: wojciech.jastrzab@gmail.com

# Analiza wpływu nieplanowanych zatrzymań pojazdów komunikacji tramwajowej na płynność ruchu na przykładzie Krakowa<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Dynamiczny rozwój miast, ich atrakcyjność i warunki życia mieszkańców są silnie związane ze sprawnym funkcjonowaniem transportu, przede wszystkim publicznego transportu miejskiego. W Krakowie podstawową rolę w obsłudze komunikacyjnej mieszkańców pełni komunikacja tramwajowa. Sieć jest stale rozbudowywana i modernizowana, na podstawowych ciągach komunikacyjnych częstotliwość kursowania pojazdów jest wysoka, ale prędkość komunikacyjna, zwłaszcza w centrum miasta, jest niższa od komunikacji autobusowej. Ponadto każdego dnia występują zdarzenia powodujące zatrzymanie ruchu tramwajów: jeden pojazd blokuje kolejne, które nie mogą ominąć miejsca zatrzymania pierwszego. Przyczynami zatrzymań są często zjawiska losowe jak wypadki, kolizje, zasłabnięcia pasażerów lub zerwanie sieci trakcyjnej przez silny wiatr, ale również zdarzenia wynikające z awarii tramwaju, infrastruktury tramwajowej lub braku napięcia w sieci trakcyjnej, którym w wielu przypadkach można było zapobiec, należycie dbając o stan techniczny tych elementów. W artykule przedstawiono wyniki analizy płynności ruchu pojazdów komunikacji tramwajowej na podstawie analizy liczby nieplanowanych zatrzymań tramwajów i czasu ich trwania w zależności od przyczyny zatrzymań, lokalizacji, podmiotów odpowiedzialnych za spowodowanie zatrzymania i liczby dodatkowych tramwajów uczestniczących w zatrzymaniu.

**Słowa kluczowe:** komunikacja tramwajowa, płynność ruchu tramwajów, publiczny transport zbiorowy

## Wprowadzenie

W miastach i obszarach zurbanizowanych mieszka coraz więcej ludzi i ocenia się, że do 2050 roku ich udział zwiększy się do 75%. Zjawisko takie jest również obserwowane w Polsce. I choć ten proces nie przebiega tu tak dynamicznie, obecnie ponad 60% ludności stanowią mieszkańcy miast, a na terenach podlegających urbanizacji, położonych w ich bliskim sąsiedztwie, jak wskazuje KPM [1], nawet  $\frac{3}{4}$  ludności kraju. Podstawę systemu transportowego dużych miast stanowi najczęściej komunikacja szynowa: metro lub tramwaj. W Krakowie sieć komunikacji tramwajowej ma układ promienisty, zbiegający się w centrum wokół pierwszej obwodnicy (wokół Plant). Sieć komunikacji tramwajowej obecnie składa się między innymi z: 189,7 kilometrów pojedynczego torowiska tramwajowego, 23 linii tramwajowych o łącznej długości tras 342,64 km [2]. Jest stale wydłużana o nowe fragmenty prowadzące do osiedli mieszkaniowych lub ośrodków gospodarczych (Czerwone Maki i Mały Płaszów) i rozbudowywana o nowe połączenia między poszczególnymi trasami (łącznica między ulicą Lipską i Wielicką).

Poziom jakości obsługi komunikacyjnej mieszkańców zależy nie tylko od dostępności (przestrzennej, czasowej, funkcjonalnej, taryfowo-biletowej czy ekonomicznej) czy oferty przewozowej, ale i jakości realizacji oferty (punktualności, niezawodności, komfortu przejazdu). Niezawodność kursowania pojazdów jest silnie związana z płynnością ruchu.

Podstawy teoretyczne analizy

## Podstawy teoretyczne analizy

### Pojęcie płynności ruchu

Płynność ruchu jest pojęciem obszernym zależącym od wielu czynników, jednak zdefiniować najprościej ją można jako przejazd pojazdu przez dany odcinek trasy bez zbędnych zatrzymań, zmian prędkości oraz bez strat czasu wynikających z innych przyczyn. Płynność wpływa także na odczucia samych prowadzących pojazdy, gdy ruch jest płynny kierujący i pasażerowie odczuwają mniejsze zmęczenie po odbytej podróży. Pojęcie to powiązane jest ściśle z natężeniem ruchu oraz przepustowością odcinków lokalnych, jak i globalnych, także z wahaniami wielkości potoku ruchu w różnych porach dnia. Można powiedzieć, że zależy ona od: strat czasu na poszczególnych skrzyżowaniach, liczby zatrzymań pojazdów, długości kolejek na pasach dojazdowych do skrzyżowań, rozkładu długości kolejek, prędkości komunikacyjnej, poziomu swobody ruchu, przepustowości odcinków, natężenia ruchu, pory dnia, strumienia ruchu, strat czasu spowodowanych sygnalizacją świetlną.

Czynników wpływających bezpośrednio lub pośrednio na płynność ruchu jest wiele. Ponadto w przypadku transportu zbiorowego występują także czynniki związane z ułatwianiem przejazdu pojazdom komunikacji publicznej przez zatłoczone ulice lub omijanie ich wyznaczonymi pasami. Wpływ mają systemy sterowania, jak i priorytety nadawane pojazdom publicznego transportu zbiorowego oraz zintegrowane systemy zarządzania ruchem.

Żeby w pełni wyjaśnić pojęcie płynności, trzeba zwrócić uwagę na następujące definicje, w których wyjaśniono, czym są jej poszczególne składowe [2]: przepustowość, natężenie ruchu, strumień ruchu, poziom swobody ruchu, prędkość komunikacyjna, rozkład długości kolejek, liczba zatrzymań pojazdu, priorytet dla komunikacji zbiorowej.

<sup>1</sup> ©Transport Miejski i Regionalny, 2016. Wkład autorów w publikację: Z. Bryniarska 50%, W. Jastrząb 50%

Płynność ruchu, jako miara jakościowa, wykorzystywana jest również w ruchu kolejowym oraz w ruchu lotniczym. Nie jest to bezpośrednia miara postrzegania warunków ruchu, z punktu widzenia pasażera jako komfortu podróży, punktualności i tym podobnych. Niemniej zakłócenia wtórne, powstające w ruchu rzeczywistym: opóźnienia i ich skutki, odczuwane przez podróżnych, a wynikające ze zbyt małej płynności ruchu, wpływają na postrzeganie transportu publicznego i kształtują preferencje komunikacyjne mieszkańców [4].

Wraz z rozwojem miast i pojawieniem się masowej motoryzacji określenie płynności ruchu przyjęło inną formę. Pojęcie miasta płynnego ruchu zaczęto utożsamiać z miastem wolnym od transportowej kongestii. Wpłynęło to na zainicjowanie szeregu działań obejmujących politykę zintegrowaną, innowacje techniczne oraz nacisk na bezpieczne, czyste oraz inteligentne środki transportu w miastach. Ma także na celu lepsze wykorzystanie istniejących ulic oraz uzupełnienie niezbędnej infrastruktury drogowej. W tym pojęciu płynny ruch nie oznacza swobodnego i szybkiego poruszania się samochodem osobowym, niezależnie od kierunku i celu podróży. Szybkość nie oznacza wysokiej prędkości, lecz wyraża ona możliwie najkrótszy do osiągnięcia czas podróży pomiędzy punktami podróży [5].

## Metodologia badań i analiz

Podstawowym materiałem, na podstawie którego prowadzona jest analiza, są dane udostępnione przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne SA w Krakowie o nieplanowanych zatrzymaniach w ruchu tramwajów w roku 2014. Dane obejmują 1196 rekordów dotyczących zatrzymań w ruchu. Były zbierane w sposób ciągły od 1 stycznia do 31 grudnia 2014 roku. Zawierają one informacje opisujące zatrzymanie tramwajów takie jak: data zatrzymania, godzina zatrzymania, czas trwania zatrzymania, miejsce zatrzymania – ulica lub skrzyżowanie ulic, kierunek, w jakim poruszał się tramwaj, opis przyczyny zatrzymania, numer pojazdu, sprawcę zatrzymania, jeśli taki wystąpił, liczbę tramwajów, które także zostały unieruchomione w wyniku tego zatrzymania.

W opracowaniu przedstawiono analizę statystyczną liczby zatrzymań i czasu ich trwania w zależności od przyczyny zatrzymań, lokalizacji zdarzenia, podmiotów odpowiedzialnych oraz oddziaływania na inne poruszające się po sieci tramwaje. Wykorzystano miary klasyczne do analizy liczby i struktury zatrzymań i miary pozycyjne do opisu czasu trwania zatrzymań.

## Zatrzymanie w ruchu drogowym i przyczyny zatrzymań

Tramwaj jest pojazdem pasażerskim łączącym cechy pojazdu drogowego z pojazdem szynowym ze względu na fakt poruszania się w ruchu mieszanym, częściowo po wydzielonych torowiskach, czasami bezkolizyjnymi tunelami, jak i w przekroju jezdni z innymi użytkownikami dróg, takimi jak samochody, motory, rowery oraz piesi. Fakt ten sprawia, że zatrzymania tramwajów w ruchu występują z przy-

czyn związanych z uczestnictwem w ruchu drogowym, jak i prowadzeniem elektrycznych pojazdów szynowych. W obydwu przypadkach zatrzymania wiążą się z obowiązującymi przepisami o ruchu drogowym, jak i ze zdarzeniami trudnymi do przewidzenia.

Zatrzymaniem w ruchu drogowym według ustawy Prawo o ruchu drogowym [6] jest unieruchomienie pojazdu nie wynikające z warunków czy też przepisów ruchu drogowego, trwające dłużej niż minutę, jak i każde unieruchomienie pojazdu wynikające z tych warunków lub przepisów. W niniejszym artykule przez zatrzymanie tramwaju w ruchu rozumie się jedynie jego unieruchomienie, nie wynikające z warunków czy też przepisów, między przystankami lub na przystankach, które trwało dłużej niż czas potrzebny na wymianę pasażerów i zostało zgłoszone do dyżurnego ruchu Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Krakowie.

Pojazdem zatrzymanym jest zatem tramwaj, który został unieruchomiony z przyczyn losowych w miejscu nieprzewidzianym, a czas jego unieruchomienia jest dłuższy niż 1 minuta. Kontynuacja jazdy często wiąże się z koniecznością podjęcia przez motorniczego lub inne służby konkretnych działań mających na celu przywrócenie ruchu na szlaku.

Na potrzeby analizy wyodrębniono 9 przyczyn zatrzymań w ujęciu ogólnym [7]. Nieplanowane zatrzymania pojazdów szynowych były spowodowane następującymi przyczynami przerwania ruchu:

- awaria środka transportu (tramwaju): awaria, która nie została opisana szczegółowo przez dyżurnego ruchu, defekt elementów ruchowych pojazdu;
- brak napięcia: brak napięcia w sieci trakcyjnej;
- tory i infrastruktura torowa: uszkodzenie, zablokowanie zwrotnicy, uszkodzenie torowiska, rozjechanie na zwrotnicy, problemy z sygnalizacją świetlną na szlaku;
- zatrzymania przez pasażerów: zasłabnięcie pasażera, agresywne zachowanie pasażerów, akt kradzieży, wypadnięcie z pojazdu, interwencja służb;
- zatrzymanie w związku z potrąceniem pieszego;
- wypadek: zatrzymanie spowodowane obcym wypadkiem, wypadek śmiertelny, zderzenie z samochodem;
- kolizja: kolizja z samochodem lub z innym tramwajem, rowerzystą, zatrzymanie spowodowane obcą kolizją;
- zablokowanie torowiska: przez źle zaparkowany samochód, awaria samochodu na torowisku, zablokowanie przez inny tramwaj;
- inne, które nie zostały zaklasyfikowane do żadnej grupy z powyższych.

## Wyniki przeprowadzonej analizy

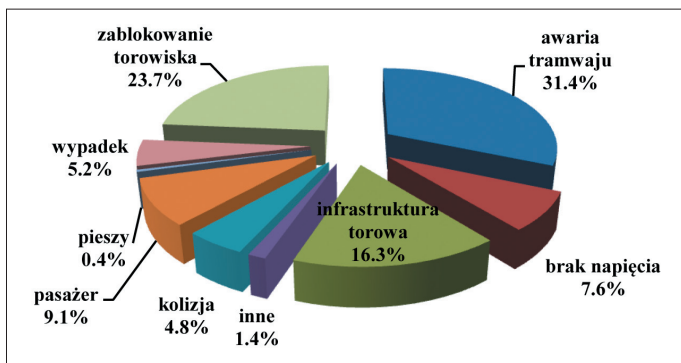
### Struktura i przyczyny zatrzymań tramwajów

W 2014 roku odnotowano 1196 zatrzymań tramwajów. Strukturę i przyczyny zatrzymań tramwajów w kolejnych miesiącach roku przedstawiono w tabeli 1 i na rysunku 1.

Tabela 1

Struktura i przyczyny zatrzymań tramwajów w kolejnych miesiącach 2014 roku													
Przyczyna zatrzymania	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień	Suma w roku
awaria tramwaju	51	31	33	25	27	25	45	26	19	28	34	32	376
brak napięcia	15	0	3	4	11	3	9	14	7	11	4	10	91
inne	1	1	4	1	1	0	4	1	2	0	1	1	17
kolizja	2	4	3	3	8	8	5	5	4	6	6	4	58
pasażer	4	7	12	11	7	8	19	11	9	3	9	9	109
pieszy	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	5
infrastruktura torowa	19	6	15	15	30	17	22	9	12	21	18	11	195
wypadek	6	1	6	7	10	6	5	3	2	6	1	9	62
zablokowanie torowiska	36	19	17	21	20	17	15	29	31	21	27	30	283
<b>Suma w miesiącu</b>	<b>135</b>	<b>69</b>	<b>94</b>	<b>87</b>	<b>114</b>	<b>85</b>	<b>124</b>	<b>98</b>	<b>86</b>	<b>97</b>	<b>101</b>	<b>106</b>	<b>1196</b>

Źródło: opracowanie na podstawie [7]

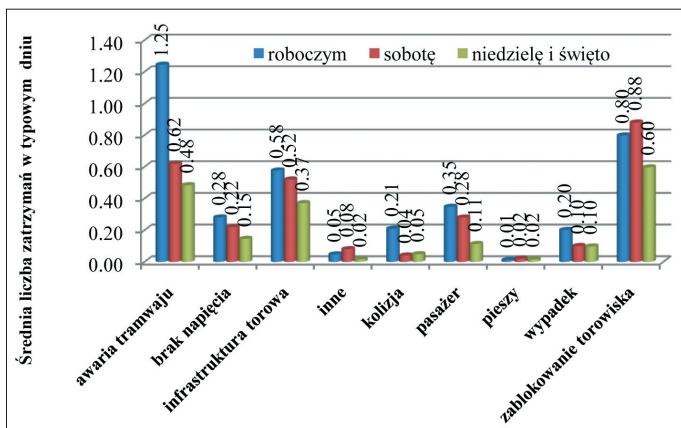


Rys. 1. Struktura procentowa zatrzymań ruchu tramwajów w 2014 roku

Źródło: opracowanie na podstawie [7]

Liczba zatrzymań w miesiącu waha się od 69 w lutym do 135 w styczniu. Na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, że liczba zatrzymań w kolejnych miesiącach 2014 roku jest losowa.

Największą liczbę zatrzymań powodowały awarie taboru, który obsługuje linie komunikacji tramwajowej miasta Krakowa, aż 377 (31,4%) zatrzymań. Inną często występującą przyczyną były zablokowane torowiska – 283 (23,7%) zatrzymań oraz zły stan infrastruktury torowej, jak i samych torów powodujące 195 (16,3%) nieoczekiwanych postojów.



Rys. 2. Porównanie średniej liczby zatrzymań w typowym dniu: roboczym, sobotę i niedzielę

Źródło: opracowanie własne

Najmniejszy wpływ na nieplanowane zatrzymania w ruchu mieli piesi, którzy spowodowali w 2014 roku tylko 5 (0,4%) takich sytuacji. Poszczególne przyczyny zatrzymań występują z różną intensywnością w poszczególnych dniach tygodnia (w dniu roboczym, w sobotę oraz w niedzielę i święto). Po uwzględnieniu liczby typowych dni w roku 2014 (dni robocze – 253, soboty – 50, niedziele i święta – 62) średnią liczbę zatrzymań w typowych dniach tygodnia w 2014 roku przedstawiono na rysunku 2. Średnia liczba zatrzymań z powodu awarii tramwaju w typowym dniu roboczym była dwukrotnie większa niż w sobotę lub niedzielę i święto. Podobna sytuacja występowała również w przypadku średniej liczby zatrzymań z powodu wypadków lub kolizji. Średnia liczba zatrzymań z powodu wypadków w typowym dniu roboczym była dwukrotnie większa, natomiast średnia liczba zatrzymań z powodu kolizji nawet czterokrotnie większa niż w sobotę lub niedzielę. Tylko średnia liczba zatrzymań w wyniku zablokowania torowiska w sobotę była wyższa niż w dniu roboczym.

### Czas trwania zatrzymania

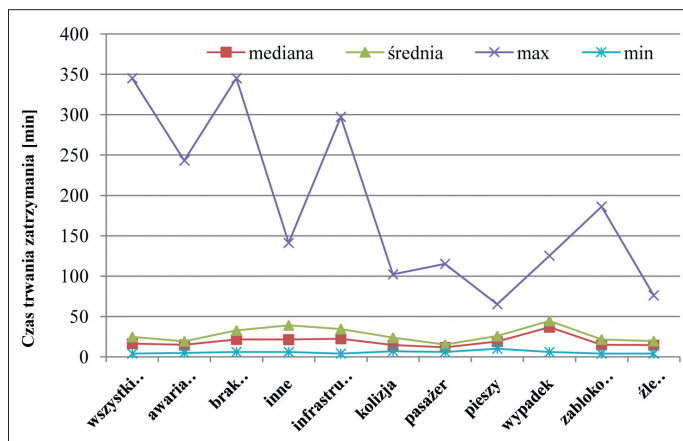
Czas nieplanowanego zatrzymania podczas podróży znacząco wpływa na ocenę jakości świadczonych usług, niezawodność, jak i zadowolenie pasażera. Niektóre zatrzymania trwają dłużej, a inne krócej, lecz w każdym przypadku podróżujący może nie zdążyć dotrzeć do miejsca docelowego swej podróży w założonym czasie. Dlatego najważniejszym, w przypadku nieplanowanego postoj, awarii i innych problemów na trasie, jest niezwłoczne przywrócenie płynności ruchu na szlaku.

Czas stracony w wyniku nieplanowanych zatrzymań na sieci tramwajowej, które zostały odnotowane przez dyżurnego ruchu w roku 2014, wyniósł łącznie ponad 493 godzin. Wielkość pojedynczych strat czasu z tytułu zatrzymań wahała się od 4 minut do nawet około 6 godzin (tabela 2).

Tabela 2

Zakres czasu trwania zatrzymania [min]	Przyczyna zatrzymania										
	wszystkie zatrzymania	awaria tramwaju	brak napięcia	inne	infrastruktura torowa	kolizja	pasażer	pieszy	wypadek	zablokowane torowisko	
										razem	parkowanie
(300-360]	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(240-300]	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
(180-240]	3	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0
(120-180]	10	0	1	2	4	0	0	0	2	1	0
(90-120]	25	2	4	1	5	4	1	0	5	3	0
(60-90]	42	5	4	1	16	0	1	1	8	6	3
(45-60]	46	8	6	0	15	3	0	0	7	7	4
(30-45]	131	26	11	1	29	2	3	0	16	43	38
(15-30]	366	140	32	6	50	19	27	2	13	77	53
(10-15]	227	77	15	2	26	12	33	0	7	55	42
(5-10]	309	111	17	4	37	18	44	2	4	72	51
(0-5]	34	6	0	0	10	0	0	0	0	18	14
<b>licznosc</b>	<b>1196</b>	<b>376</b>	<b>91</b>	<b>17</b>	<b>195</b>	<b>58</b>	<b>109</b>	<b>5</b>	<b>62</b>	<b>283</b>	<b>205</b>

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Porównanie parametrów rozkładu czasu trwania zatrzymań tramwajów w zależności od przyczyny zatrzymania

Źródło: opracowanie własne

Najczęściej, niezależnie od przyczyny zatrzymania, czas jego trwania był krótki i wynosił od 0 do 15 minut. Tylko czas trwania zatrzymań z powodu wypadku był dłuższy i wynosił od 30 do 45 minut. Udział zatrzymań o czasie trwania powyżej godziny wynosił około 7%, a zatrzymań o czasie trwania powyżej 90 minut około 3,4%. Stosunkowo dużo zatrzymań o czasie trwania dłuższym od jednej godziny występowało w przypadku wypadków (wypadek śmiertelny, potrącenie) i tzw. innych przyczyn.

Rozkład czasu trwania zatrzymań jest skrajnie niesymetryczny, przeważały zatrzymania stosunkowo krótkie (rys. 3). Dlatego, zamiast średnim czasem trwania zatrzymania, należy posługiwać się medianą. Mediana czasu trwania zatrzymania ogółem oraz z powodu awarii pojazdu, kolizji lub zablokowania torowiska wynosi 14,6–16,1 minuty, natomiast z powodu braku napięcia, złego stanu infrastruktury torowej lub tzw. innych przyczyn 21,3–22,4 minuty. Mediana czasu trwania zatrzymania spowodowanego przez pasażera jest najkrótsza i wynosi 11,3 minuty. Zablokowanie torowiska jest przerwaniem ruchu spowodowanym przeważnie przez innych uczestników ruchu nie potrafiących przewidzieć wpływu swoich działań na inne pojazdy. W Krakowie w 2014 roku wystąpiły 283 takie zdarzenia. Wśród tych zdarzeń 205 spowodowali kierowcy, którzy zaparkowali samochód, blokując torowisko. Średni czas usunięcia źle zaparkowanego pojazdu przez lawetę lub samego prowadzącego wynosił niemal 14,5 minut. Maksymalny odnotowany czas wyniósł aż 1 godzinę 16 minut i miał miejsce na ulicy Długiej.

### Miejsce wystąpienia zatrzymania

Przeprowadzenie analizy dotyczącej miejsca zatrzymania tramwaju ma na celu wskazanie odcinków bądź ulic, na których często występują zatrzymania, ich przyczyn i czasu trwania. W ten sposób można otrzymać informacje dotyczące złego stanu infrastruktury torowej, źle parkujących pojazdów i innych zdarzeń występujących w konkretnych miejscach Krakowa. W tabeli 3 przedstawiono 12 ulic, na których w badanym roku doszło do więcej niż 20 zatrzymań. Na pozostałych 145 odcinkach sieci tramwajowej skala zatrzymań była mniejsza (w tym na 50 odcinkach wystąpiło po 1 zatrzymaniu w roku). Ponadto w tabeli znajdują się in-

Tabela 3

Miejsce zatrzymania	Przyczyna zatrzymania									
	awaria tramwaju	brak napięcia	infrastruktura torowa	inne	kolizja	pasażer	pieszy	wypadek	zablokowanie torowiska	Razem
Długa	1	2	3		2	1		1	134	144
Aleja Pokoju	33	6	11	1	4	8		2	4	69
Rakowicka	14	3				1		2	46	66
Wielicka	10		10	1	5	5		2	2	35
Lubicz	22	3	2		1	3		2	1	34
Dietla	8	4	11			6	1	1		31
Zwierzyniecka	7	1	2		1		1	1	13	26
Aleja Solidarności	14		1	1	3			2	1	22
Dajwór									22	22
Basztowa	4	2	3		1	3		4	4	21
Starowiślna	8	2	2		2	3		3	1	21
Ujastek	3		17							20

Źródło: opracowanie własne

formacje o przyczynach przerwania ruchu i nieplanowanych zatrzymań. W analizie ograniczono się do ulicy, a położenie geograficzne zdarzenia zostało określone z dokładnością do punktu znajdującego się w połowie jej długości.

Ulicą, na której zaobserwowano największą liczbę zatrzymań tramwajów w 2014 roku, jest ulica Długa. Wśród 144 zatrzymań 118 miało miejsce w dniach roboczych i po 13 w soboty oraz w niedziele i święta. Większość tych zatrzymań była wynikiem zablokowania torowiska przez źle parkujące pojazdy: 108 w dni robocze i wszystkie w soboty i niedziele. Taka sytuacja trwa od lat, mimo generalnego remontu w 2010 roku, kiedy nastąpiła całkowita przebudowa ulicy. Zmiany wprowadzone podczas remontu tylko nasiliły to zjawisko. Podczas przebudowy połączono torowisko z jezdnią, czyniąc go torowiskiem niewydzielonym, znaczne zwężono jezdnię w celu poszerzenia chodnika i stworzenia miejsc parkingowych wzdłuż wąskiej ulicy. Fotografia 1 ilustruje, jak niewiele miejsca projektant przewidział pomiędzy miejscami postojowymi a torowiskiem w jezdni, po którym porusza się tramwaj. Widać, że niedoinformowanie bądź nieuwaga kierowcy parkującego na Długiej, jak i na pozostałych w wąskich uliczkach w centrum miasta, po których poruszają się tramwaje, może spowodować zatrzymanie komunikacji tramwajowej. Natomiast dla kierowcy pojazdu skutkuje to odholowaniem na parking policyjny oraz mandatem karnym. Na zmniejszenie liczby źle parkujących pojazdów z pewnością wpłynęłyby znaki ostrzegające na jezdni i przy wjazdach do stref, po których poruszają się tramwaje.



Fot. 1. Parkowanie na ulicy Długiej w Krakowie  
Źródło: Paweł Krawczyk/  
krakow.pl

Drugim miejscem w Krakowie, gdzie komunikacja tramwajowa jest często nieplanowo zatrzymywana, jest Aleja Pokoju. Ulica ma długość 4,5 kilometra, co sprawia, że trudno było ustalić dokładne miejsce zdarzenia. W roku 2014 miało tutaj miejsce 69 przerwania ruchu spowodowanych w 47,8% przez awarie taboru, a w 15,9% przez infrastrukturę torową.

Trzecim odcinkiem w sieci, na którym tramwaje najczęściej traciły w 2014 roku płynność ruchu, była ulica Rakowicka. Podobnie jak na ulicy Długiej, większość zatrzymań w ruchu spowodowana była zablokowaniem torowiska przez inne pojazdy, co stanowiło 70,0% wszystkich zatrzymań na ulicy Rakowickiej. Często występowały również przerwy w ruchu związane z awariami taboru (20,3% zdarzeń).

Odcinkiem, na którym występuje najwięcej zatrzymań spowodowanych przez infrastrukturę torową (85,0%), była ulica Ujastek. Tramwaje poruszają się tam po starym, zużyтым i wymagającym modernizacji torowisku.

Mediana czasu trwania zatrzymań na 12 omawianych ulicach wynosi od 12 do 18,5 minut (rys. 4), za wyjątkiem dwóch lokalizacji: ulicy Dajwór (26,5 minuty) i ulicy Ujastek (23,5 minuty). Również przedział czasu trwania 50% zatrzymań na tych ulicach (różnica między kwartylami  $Q_1$  i  $Q_3$ ) jest niewielki i wynosi od 8 do 28,8 minut.

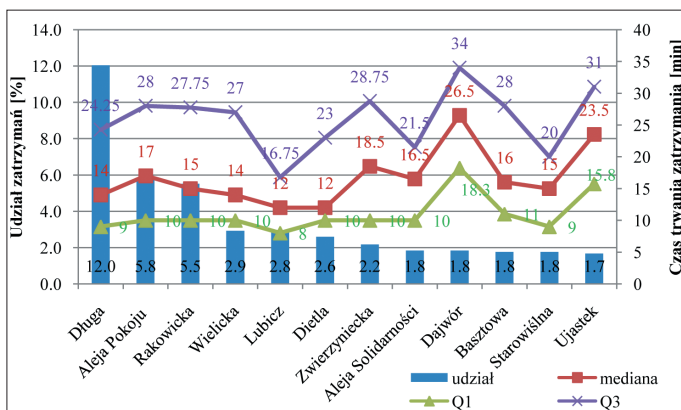
W danych tabelarycznych czy wykresów często nie jest możliwe dostrzeżenie pewnych zależności, zwłaszcza przestrzennych, jakie mogą występować w odniesieniu do lokalizacji lub wartości. Aby lepiej zaprezentować informacje dotyczące miejsc zatrzymań tramwajów w dni robocze w 2014 roku, za pomocą oprogramowania Esri Maps for Office stworzono mapę obrazującą zagęszczenie zatrzymań na poszczególnych ulicach Krakowa (rys. 5). Wykorzystano do tego położenie geograficzne ulicy, a dokładnie jej środek oraz liczbę odnotowanych zatrzymań w ruchu w ciągu całego roku.

Mapa zagęszczenia zdarzeń, jakie miały miejsce w sieci tramwajowej w 2014 roku, pokazuje, że najwięcej zatrzymań było w rejonie Starego Miasta.

## Odpowiedzialni za zatrzymanie

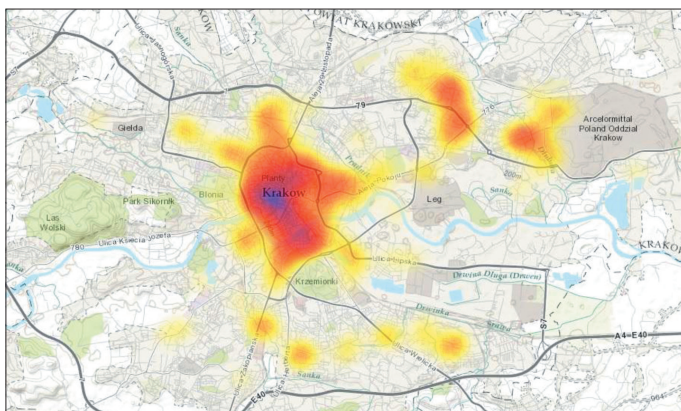
Zatrzymania tramwajów są powodowane przez różne przyczyny, za które ponoszą odpowiedzialność: przewoźnik, organizator transportu, inni uczestnicy ruchu, pasażerowie tramwajów, służby lub inne czy nieokreślone podmioty. Strukturę procentową odpowiedzialnych za zatrzymania oraz podstawowe miary statystyczne czasu trwania tych zatrzymań (mediana i kwartyle  $Q_1$  i  $Q_3$ ) przedstawiono na rysunku 6.

Największy udział w zatrzymaniach miał przewoźnik (38,9%), który jest odpowiedzialny przede wszystkim za przygotowanie pojazdów do ruchu oraz za prowadzenie pociągów tramwajowych. Część zatrzymań na pewno była zdarzeniami losowymi, lecz wielu przerwania ruchu i ich skutków można było uniknąć. Przykładem mogą być awarie taboru. Innym podmiotem powodującym częste zatrzymania tramwajów w ruchu miejskim byli inni uczestnicy ruchu drogowego (kierowcy, piesi, rowerzyści). Spowodowali oni 29,5% zatrzymań. Około 17% było spowodowane



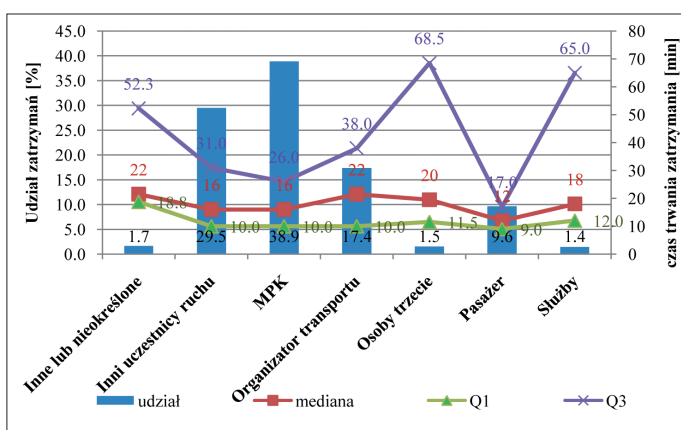
Rys. 4. Porównanie parametrów rozkładu czasu trwania zatrzymań tramwajów w miejscach najczęstszych zatrzymań w 2014 roku

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Mapa zagęszczenia wszystkich zdarzeń zatrzymania ruchu tramwajów w 2014 roku

Źródło: opracowanie [7]



Rys. 6. Porównanie parametrów rozkładu czasu trwania zatrzymań tramwajów w zależności od przyczyny zatrzymania

Źródło: opracowanie własne

przez źle zaparkowane samochody blokujące torowisko, a pozostałe 12,4% stanowiły ich inne działania (wypadki, najścia pieszych). Zatrzymania związane z infrastrukturą torową, za które odpowiedzialność ponosił organizator transportu, stanowiły 17,4% zdarzeń. Dużą liczbę zatrzymań powodowali pasażerowie – 9,6% w skali roku. Do pozostałych odpowiedzialnych za zatrzymania należą także służby (np. policja, straż pożarna) likwidujące skutki zdarzeń drogowych i powodujące łącznie 1,7% zdarzeń w skali roku oraz zdarzenia losowe jak uszkodzenie sieci trakcyjnej przez drzewa lub inne.

## Wpływ zatrzymania tramwaju na płynność ruchu tramwajów w sieci

Nieplanowane przestoje, długie i krótkie, wpływają na inne pojazdy, lecz czas ich trwania nie determinuje wielkości oddziaływania. Oddziaływanie pojazdów, których ruch został zaburzony, zostało przedstawione w tabeli 4 jako liczba pojazdów, których postój został wymuszony w wyniku różnych zakłóceń (przyczyn zatrzymania) i które zgłosiły do dyspozytora ruchu fakt zatrzymania. Liczba zatrzymanych pojazdów, poza tramwajem zgłaszającym nieplanowany postój, mieści się w przedziale od 0 do 31. Największy wpływ na blokowanie wielu pojazdów miały awarie tramwajów oraz przyczyny związane z infrastrukturą torową lub energetyczną. Powodują utratę płynności ruchu nie tylko na jednym kierunku, a często na całym węźle lub sekcji w przypadku utraty napięcia. W tabeli 4, „bd” oznacza brak danych, czyli zatrzymanie, dla którego liczba pojazdów zatrzymanych nie została podana.

Analiza średniej liczby dodatkowo zatrzymywanych tramwajów oraz czasu traconego przez te tramwaje w zależności od różnych przyczyn zatrzymań przedstawiono na rysunku 7. Zdarzenia związane z brakiem zasilania przeciętnie oddziaływały na największą liczbę innych tramwajów (6,4) i powodowały również największą łączną stratę czasu tych pojazdów (98,1 min). Najmniej dodatkowych pojazdów uczestniczy w zatrzymaniach spowodowanych przez pieszych (2,5) i zablokowanie torowiska (1,8), a średni łączny czas tracony przez te pojazdy jest również najkrótszy – około 17,8 minuty. Największe straty czasu dla innych pojazdów były powodowane przez zły stan infrastruktury torowej (89,1 min) i wypadki (88,2 min).

## Podsumowanie

Kraków jest jednym z miast, które nieustannie podejmują działania administracyjne, organizacyjne i inwestycyjne w zakresie transportu publicznego. Mają tu miejsce kolejne inwestycje zmierzające do usprawnienia i optymalizacji sieci tramwajowej i autobusowej.

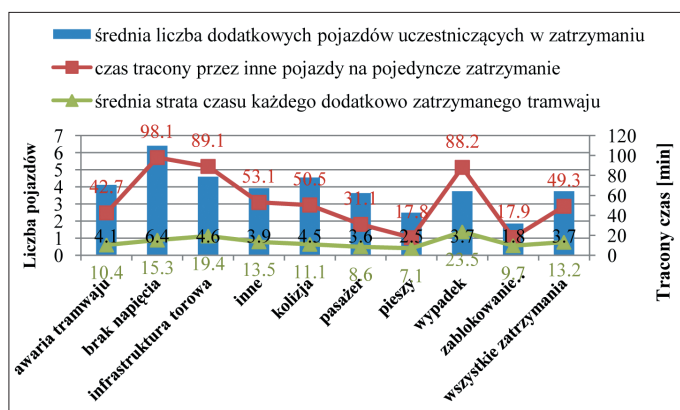
Przeprowadzona analiza pozwoliła na przedstawienie wielkości, miejsc oraz przyczyn zatrzymań w systemie tramwajowej komunikacji miejskiej w Krakowie w 2014 roku. Porównanie i przedstawione wskaźniki i statystyki pokazują najczęściej występujące przyczyny i miejsca zatrzymania, podmioty odpowiedzialne za zatrzymania, czas trwania zatrzymań oraz ich wpływ na liczbę i straty czasu innych tramwajów. Zatrzymania w sieci tramwajowej są odczuwalne dla podróżujących. Średnio 3,7 zatrzymań ma miejsce w typowym dniu roboczym oraz 2,8 w soboty i 1,9 w niedzielę. W większości zdarzeń zostały zatrzymane inne tramwaje. Średnio uczestniczy w zatrzymaniach 3,7 dodatkowych pociągów, a ich średnie straty czasu wynoszą ponad 13 minut.

Największa liczba zatrzymań była wywołana awariami technicznymi pojazdów – 376 zdarzeń i stanowiła 31,4% ogółu zatrzymań w sieci tramwajowej w 2014 roku. Drugą najliczniejszą grupą zdarzeń powodujących przerwanie w ruchu były przypadki wywołane parkowaniem na torowisku.

Tabela 4

Liczba pojazdów stojących	Przyczyny zatrzymania									Razem
	awaria tramwaju	brak napięcia	infrastruktura torowa	inne	kolizja	pasażer	pieszy	wypadek	zablokowanie torowiska	
0	46	4	36	4	3	7	1	7	11	119
1	54	13	39	2	8	13	2	9	145	285
2	57	10	24	2	9	13		13	75	203
3	53	7	13	1	14	26		9	17	140
4	41	11	14	2	7	20	2	6	4	107
5	33	9	12	3	3	10		3	3	76
6 - 24	73	33	41	3	12	11	0	11	12	196
31		1								1
bd	19	3	16		2	9		4	16	69
Łączna liczba pojazdów zatrzymanych dodatkowo	1278	537	656	51	241	337	10	191	472	3773

Źródło: opracowanie własne [7]



Rys. 7. Wpływ zatrzymania tramwaju na inne pojazdy w komunikacji tramwajowej w 2014 r. Źródło: opracowanie własne

W 2014 roku odnotowano 283 takie zatrzymania, co stanowiło 23,7% wszystkich zdarzeń. Miejsca, gdzie dozwolone jest parkowanie przy torowisku, powinny być przede wszystkim dobrze widoczne, wyposażone w tablice na słupach drogowych (lub przy każdym parkomacie) ostrzegające przed możliwością wystąpienia takiego incydentu.

## Literatura

1. Krajowa Polityka Miejska 2023, Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, Warszawa 2015.
2. Kraków w liczbach 2014, Wydział Rozwoju Miasta Urzędu Miasta Krakowa, Kraków 2015.
3. <http://priorityty.siskom.waw.pl>.
4. Sobota A., Karoń G., *Próba zdefiniowania pojazdu zakłóconego na wybranych odcinkach dróg wielopasmowych w aspekcie płynności ruchu*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Transport z. 66, Katowice 2010.
5. Wesołowski J., *Miasto w ruchu*, Instytut Spraw Obywatelskich, Łódź 2008.
6. Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym, Dz.U. 1997 nr 98 poz. 602.
7. Jastrząb W., *Analiza płynności ruchu komunikacji tramwajowej w Krakowie*, praca magisterska pod kierunkiem Z. Bryniarskiej, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Zarządzania w Budownictwie i Transporcie, Zakład Transportu, Kraków 2015.