

Jan Aleksandrowicz, Konrad Chwastek

Analiza funkcjonowania systemu sterowania ruchem na ciągu tramwajowym Lipińskiego – Czerwone Maki

Kraków – jako drugie co do wielkości miasto Polski oraz jeden z największych ośrodków akademickich, a także turystycznych – musi sprostać coraz większym wymaganiom dotyczącym obsługi komunikacyjnej. Z Kompleksowych Badań Ruchu (KBR) z roku 2013 wynika, że gród Kraka jest miastem o charakterze policentrycznym. Oznacza to, że śródmieście jest celem wielu podróży odbywających się w krakowskiej aglomeracji. W stosunku do KBR z 2003 roku można zauważyć wyraźny wzrost znaczenia transportu indywidualnego i jednocześnie spadek znaczenia komunikacji miejskiej (tab. 1).

Udział komunikacji zbiorowej w podziale zadań przewozowych zmniejszył się z 43% w roku 2003 do 36,3% w 2013 roku. Natomiast wzrosła liczba podróży samochodem osobowym z 27% w 2003 roku do niespełna 34% w roku 2013 [3, 4]. Do przyczyn zaistniałej sytuacji można zaliczyć rosnący stopień zmotoryzowania mieszkańców Krakowa, który – wg najnowszych Kompleksowych Badań Ruchu – wynosi 323 samochody na 1 000 mieszkańców. Remont i wzrost przepustowości wielu ulic na ciągach umożliwiających dojazd oraz poruszanie się w obrębie centrum miasta mogły mieć przełożenie na częstsze korzystanie z samochodów osobowych przez mieszkańców Krakowa. Z kolei wzrost liczby pojazdów indywidualnych w sieci drogowej prowadzi do tworzenia się kongestii, która oddziałuje na funkcjonowanie komunikacji zbiorowej poza wydzielonymi korytarzami ruchu, zmniejszając jej konkurencyjność względem samochodu osobowego.

Obecnie pasażerowie komunikacji zbiorowej oczekują na spełnienie określonych standardów w zakresie komfortu, dostępności usług, czasu oraz kosztów podróży. Koniecznością jest wdrażanie nowoczesnych rozwiązań odnoszących się do infrastruktury, sterowania ruchem, obsługi pasażerskiej oraz najwyższej klasy taboru, a także integracja wszystkich tych elementów na terenie całej aglomeracji. Rozwiązaniem umożliwiającym ich powiązanie są systemy sterowania ruchem, które pozwalają zoptymalizować wykorzystanie potencjału komunikacji zbiorowej i zwiększyć jej konkurencyjność w stosunku do samochodu osobowego.

Obszarowy system sterowania ruchem w Krakowie

W 2005 r. rozpoczęto w Krakowie budowę systemu sterowania ruchem, do zadań którego należy sterowanie sygnalizacjami świetlnymi i kontrola ich funkcjonowania, a także nadzór nad ruchem tramwajów. System Nadzoru Ruchu Tramwajowego (TTSS) odpowiada również za sterowanie tablicami informacji pasażerskiej, a jego wdrożenie wiąże się z budową pierwszej linii Krakowskiego Szybkiego Tramwaju.

Tab. 1
Podział zadań przewozowych w latach 2003 oraz 2013

Kompleksowe Badania Ruchu	Komunikacja zbiorowa [%]	Samochód osobowy [%]	Ruch pieszy [%]	Rower [%]	Pozostałe [%]
2003	43	27	29	1	-
2013	36,3	33,7	28,4	1,2	0,4

Źródło: oprac. własne.

W 2012 r. oddano do użytku trasę tramwajową łączącą ulicę Brożka z pętlą Czerwone Maki, która zapewnia obsługę komunikacyjną osiedla Ruczaj i osiedla Europejskiego oraz Kampusu Uniwersytetu Jagiellońskiego. W ramach inwestycji wprowadzono system sterowania, którego założeniem było uprzywilejowanie pojazdów komunikacji miejskiej poprzez nadawanie im priorytetu w ruchu. Rozwiązanie to pozwala skrócić czas przemieszczenia się pasażera w danej relacji, przez co usługa staje się bardziej konkurencyjna względem transportu indywidualnego.

Przyznanie priorytetu komunikacji zbiorowej wiąże się z koniecznością detekcji i załączenia na skrzyżowaniu odpowiedniej fazy. Uprzywilejowanie zbliżającego się pojazdu może nastąpić poprzez: wygenerowanie specjalnej dodatkowej fazy ruchu, wydłużenie sygnału zielonego, zmianę kolejności faz lub sterowanie dynamiczne w oparciu o minimalizację funkcji celu. Ponadto sterowniki lokalne muszą być ze sobą zintegrowane, umożliwiając w ten sposób sterowanie ruchem na danym obszarze [1].

Na ciągu tramwajowym od ulicy Brożka do pętli Czerwone Maki zastosowano podwójny system detekcji, oparty na meldunkach wysyłanych przez autokomputery znajdujące się w tramwajach oraz pętli indukcyjne zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie sygnalizatorów przed skrzyżowaniami [2].

Badania funkcjonowania obszarowego systemu sterowania ruchem na ciągu komunikacyjnym Brożka–Czerwone Maki

Na przełomie maja i czerwca 2014 r. studenci Politechniki Krakowskiej z kierunku transport przeprowadzili obserwacje, które miały na celu analizę funkcjonowania i wpływu Obszarowego Systemu Sterowania Ruchem na płynność przejazdu tramwajów przez skrzyżowania w ciągu drogowo-tramwajowym Lipińskiego–Czerwone Maki. Analizie poddano sześć skrzyżowań oraz trzy przejazdy tramwajowe, których lokalizację przedstawia rysunek 1.

Pomiary we wszystkich zaznaczonych powyżej punktach przeprowadzono we wtorek i w czwartek w godzinach porannych (6.30–9.00) oraz popołudniowych (14.30–17.00). Ponadto obserwacje były prowadzone w sobotę pomiędzy godziną 10.00 a 14.00. W okresach, w których odbyły się pomiary, po analizowanym ciągu komunikacyjnym poruszała się największa liczba tramwajów (w dniu roboczym były to 24 pojazdy na godzinę, a w sobotę – 18). Obserwatorzy odnotowywali zdarzenia związane

z ruchem tramwajów oraz sytuacją na skrzyżowaniach; pozwoliły one na przeanalizowanie funkcjonowania systemu. W czasie pomiarów rejestrowano takie informacje jak np. numery boczne pojazdów, godziny dojazdów i minięcia sygnalizatorów, zatrzymanie przy peronie przystanku, a także przyczyny zatrzymań tramwajów. Zatrzymanie było klasyfikowane jako całkowite zahamowanie pojazdu i nie obejmowało powolnego toczenia się pociągu. W arkuszach pomiarowych zostały wyszczególnione następujące przyczyny zatrzymania:

- ❑ ruch relacji kolizyjnej – zatrzymanie tramwaju przed sygnalizatorem spowodowane było brakiem szczeliny pionowej, wynikającym z ruchu relacji kolizyjnej;
- ❑ brak szczeliny pionowej – tramwaj mógł mieć przyznaną pionową szczelinę ze względu na ruch relacji niekolizyjnej, ale jej nie otrzymał;
- ❑ włączenie i wyłączenie szczeliny pionowej – tramwaj nie zdołał przejechać przez skrzyżowanie w przygotowanym oknie czasowym i odebranie szczeliny pionowej spowodowało gwałtowne hamowanie pojazdu;
- ❑ brak miejsca na przystanku – tramwaj zatrzymał się przed sygnalizatorem pomimo przyznannej szczeliny pionowej ze względu na brak miejsca przy skrajni peronu.

W przypadku, gdy nastąpiło zatrzymanie z przyczyn nieuwzględnionych w arkuszu, wnioski z obserwacji były zamieszczane w rubryce „uwagi”.

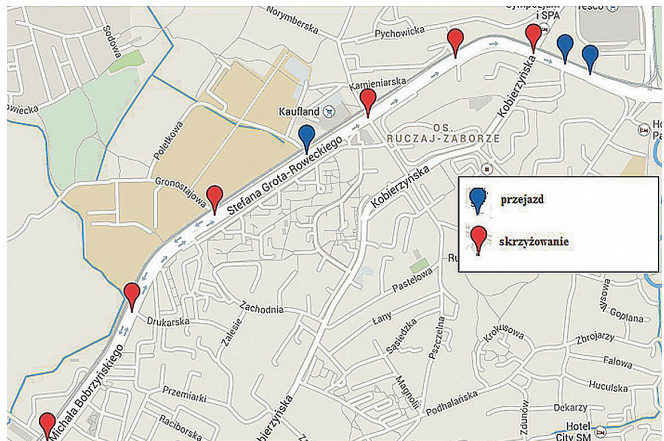
Na podstawie uzyskanych danych przeprowadzono analizy; obliczono liczbę zatrzymań spowodowanych przez brak nadania priorytetu nadjeżdżającemu pojazdowi, a na podstawie tych danych określono koszt zużycia energii i wydłużenie przejazdu na badanym odcinku.

Ogólna prezentacja wyników przeprowadzonych badań

W czasie badań na ciągu tramwajowym Lipińskiego–Czerwone Maki uzyskano 5 316 pomiarów na 15 punktach obserwacyjnych w obu kierunkach. Wyniki obserwacji zestawiono w tabeli 2.

W 968 przypadkach przejazd tramwaju był poprzedzony koniecznością zatrzymania przed sygnalizatorem, a w 654 przypadkach – zwolnieniem. Tylko 69% tramwajów na badanym ciągu przejechało płynnie. Wynik ten świadczy o nierealizowaniu przez system założonych standardów, według których 90% przejazdów powinno odbywać się w sposób płynny bez zatrzymania¹. System funkcjonował najbardziej efektywnie w sobotę, kiedy na analizowanym ciągu poruszała się mniejsza niż w dzień roboczy liczba pociągów tramwajowych. Największą liczbę zatrzymań odnotowano w czwartek pomiędzy godziną 6.30 a 9.00, gdzie stanowiły one niemal 22% wszystkich przejazdów w tym okresie pomiarowym. Również w tym okresie ruch tramwajów na badanym ciągu był najmniej płynny, ponieważ zaobserwowano 65,7% przejazdów bez żadnych utrudnień. Wyniki pomiarów uwzględniające przyczyny unieruchomienia tramwaju zostały przedstawione w tabeli 3.

W 46 przypadkach obserwatorom nie udało się określić przyczyn zatrzymania, natomiast w 101 wypadkach unieruchomienie było spowodowane brakiem miejsca na przystanku i koniecznością oczekiwania przed sygnalizatorem. W ponad 83% przypadków zatrzymanie tramwaju było spowodowane nieprzygotowaniem przez system priorytetu lub też błędną detekcją nadjeżdżającego pojazdu. W tabeli 3 nie uwzględniono zatrzymań zarejestrowanych na przejazdach



Rys. 1. Lokalizacja punktów objętych badaniami w ciągu tramwajowym Lipińskiego–Czerwone Maki

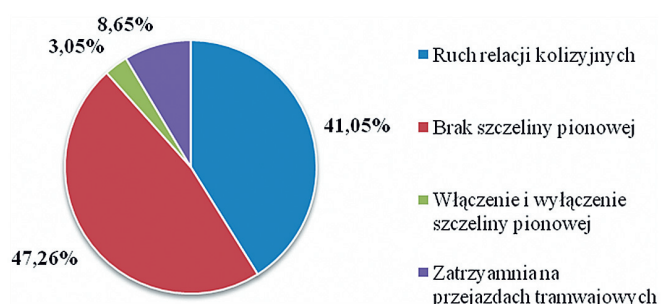
Tab. 2
Wyniki pomiarów ruchu tramwajów

Dzień	Okres pomiarowy	Płynny przejazd		Zwolnienie		Zatrzymanie	
		Liczba	Procent	Liczba	Procent	Liczba	Procent
Sobota	10,00–14,00	801	74,24%	134	12,42%	144	13,35%
Wtorek	6,30–9,00	767	71,68%	107	10,00%	196	18,32%
	14,30–17,00	736	69,57%	139	13,14%	183	17,30%
Czwartek	6,30–9,00	693	65,69%	131	12,42%	231	21,90%
	14,30–17,00	697	66,13%	143	13,57%	214	20,30%
Zbiórce wyniki dla przeprowadzonych pomiarów		3 694	69,49%	654	12,30%	968	18,21%

Tab. 3
Liczba i procentowy udział zatrzymań z podziałem na ich przyczyny

	Przyczyna zatrzymania				
	Ruch relacji kolizyjnej	Brak szczeliny pionowej	Włączenie i wyłączenie szczeliny pionowej	Brak miejsca na przystanku	Przyczyna nie została sklasyfikowana
Liczba zatrzymań	337	388	25	101	46
Udział procentowy	37,57%	43,26%	2,79%	11,26%	5,13%

tramwajowych, na których – zgodnie z przyjętą metodologią pomiarów – nie identyfikowano przyczyny zatrzymania. Dla trzech tego typu punktów pomiarowych odnotowano 71 zatrzymań. Odrzucając wyniki z nieokreśloną przyczyną oraz zatrzymania spowodowane brakiem miejsca na przystanku, wyznaczono liczbę zatrzymań deterninowanych przez funkcjonowanie systemu – 821² (rys. 2).



Rys. 2. Udział poszczególnych przyczyn zatrzymań systemowych

Największa liczba zatrzymań systemowych była spowodowana brakiem szczeliny pionowej dla nadjeżdżającego pojazdu. Również ruch relacji kolizyjnej był przyczyną ponad 41% zatrzymań. Powodem tych zatrzymań może być brak detekcji, spowodowany niedziałaniem jednego z elementów systemu. Ponadto częstotliwość kursowania tramwajów, która w dni robocze wyniosła 2,5 minuty dla jednego kierunku, mogła mieć przełożenie na odnotowany stan. Spowodowane zatrzymaniami na skrzyżowaniach zakłócenia w ruchu tramwajów powodują zmniejszanie odstępów czasu pomiędzy kolejnymi pociągami. Determinuje to sytuacje, w których pojazdy przekraczają poszczególne skrzyżowania w krótkich odstępach czasu. Wówczas system, uwzględniając nałożone ograniczenia, musi niejednokrotnie zatrzymać tramwaj, aby umożliwić ruch relacjom kolizyjnym.

Zatrzymania pociągów tramwajów na analizowanym ciągu

Otrzymane dzięki pomiarom wyniki zestawiono w odniesieniu do poszczególnych pociągów tramwajowych i przeanalizowano liczbę zatrzymań dla całego analizowanego ciągu w obu kierunkach (tab. 4 oraz rys. 3).

Tramwaje jadące w kierunku pętli najczęściej zatrzymywały się jednokrotnie lub dwukrotnie na całym ciągu. Na 228 zarejestrowanych pojazdów tylko 29, tj. niespełna 13% z nich, przejechało całą trasę bez żadnego zatrzymania. W przypadku pociągów poruszających się w kierunku centrum miasta na 231 zaobserwowanych tramwajów 48 przejechało bez zatrzymania, co stanowi ok. 21%. Zaobserwowano nieznacznie większą liczbę pojazdów zatrzymujących się jednokrotnie oraz znacząco niższą wartość dwu- i trzykrotnych zatrzymań.

Z przedstawionych danych wynika, że ruch tramwajów poruszających się z pętli do centrum miasta, w porównaniu do kierunku przeciwnego, jest bardziej płynny. Ponadto przy mniejszej liczbie pociągów na godzinę na analizowanym ciągu ruch jest bardziej płynny niż w dni robocze, w których częstotliwość kursowania jest wyższa.

Zauważono, że system efektywniej zarządza ruchem pojazdów opuszczających pętlę, ponieważ zachowane są odstępy pomiędzy kolejnymi tramwajami (wpływa na to rozkład jazdy). Natomiast w przypadku pociągów pojawiających się na ciągu z centrum miasta występują dużo większe fluktuacje i dyspersja odstępów pomiędzy kolejnymi tramwajami. Taka sytuacja powoduje wzrost skomplikowania sterowania ruchem, co znajduje odzwierciedlenie w większej niż w kierunku przeciwnym liczbie zatrzymań. Zależność ta występuje jednak tylko w dni robocze, gdzie częstotliwość kursowania wynosi 24 poj./h. W sobotę, gdy częstotliwość kursowania jest niższa, system działa efektywniej.

Tab. 4
Liczba zatrzymań pociągów tramwajowych przejeżdżających badanym ciągiem tramwajowym dla całego okresu pomiarowego

Liczba zatrzymań	Czerwone Maki		Centrum miasta	
	Liczba tramwajów		Liczba tramwajów	
0	29	12,7%	48	20,8%
1	74	32,5%	82	35,5%
2	71	31,1%	58	25,1%
3	42	18,4%	27	11,7%
4	9	3,9%	9	3,9%
5	3	1,3%	6	2,6%
6	0	0,0%	1	0,4%
Suma	228		231	

Wpływ zatrzymań na wydłużenie czasu podróży

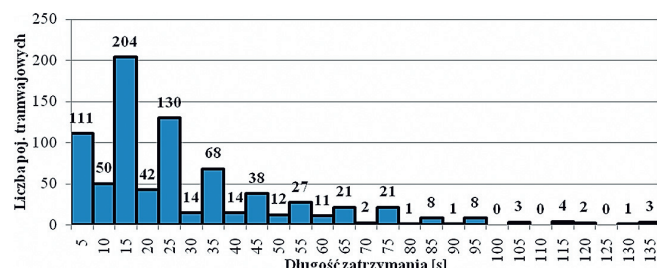
Dane dotyczące czasu trwania zatrzymań determinowanych niewłaściwym funkcjonowaniem systemu przedstawiono w postaci szeregu rozdzielczego przedziałowego o szerokości klas 5 sekund (rys. 3).

Zatrzymania trwające od 11 do 15 sekund występowały najczęściej – 204 razy. Zaledwie 14% zatrzymań trwało krócej niż 5 sekund, a zgodnie z założonymi standardami dłuższe postoje nie powinny mieć miejsca³. Zauważono zatrzymania trwające blisko lub ponad 2 minuty, co stanowi 30,5% średniego czasu przejazdu analizowanego ciągu, wynoszącego 6 min i 34 sek. Tak długie zatrzymania nie są incydentami, ponieważ przykładowo odnotowano cztery zatrzymania trwające od 111 do 115 sekund oraz trzy zatrzymania trwające od 131 do 135 sekund. Przyczyną bardzo długiego czasu oczekiwania tramwaju przed sygnalizatorem mogła być błędna detekcja lub jej brak. Również powodem długiego zatrzymania mogło być zmniejszanie się odstępów pomiędzy poszczególnymi tramwajami i przekraczanie skrzyżowań w krótkich odstępach czasu, przez co system, uwzględniając ograniczenia, nie mógł przygotować pionowej szczeliny dla każdego z nadjeżdżających pociągów.

Wykorzystując dane otrzymane z obserwacji, dotyczące średniego czasu trwania zatrzymania, średniej liczby zatrzymań, a także różnicy pomiędzy średnim czasem dojazdu do przystanku przy płynnym przejeździe oraz zatrzymaniu, dla każdego z kierunków określono średnią stratę czasu determinowaną przez funkcjonowanie systemu. W obliczeniach pominięto czasy zatrzymań spowodowanych przez brak miejsca na przystankach oraz bez określonej przyczyny. Dla obu kierunków średnia strata czasu wynosiła: 30,1 sekundy w kierunku pętli Czerwone Maki oraz 29,8 sekundy w kierunku centrum miasta. Otrzymany w ten sposób wynik stanowi niespełna 8% średniego czasu przejazdu analizowanego ciągu. Zatem można stwierdzić, że liczba i długość zatrzymań nie ma większego wpływu na punktualność tramwajów poruszających się badanym ciągiem.

Analiza kosztów zatrzymań

Na podstawie liczby zatrzymań na badanym ciągu tramwajowym oraz informacji dotyczących ilości zużywanej energii przez pociągi tramwajowe na wozokilometr (tab. 5) wyliczono koszty ponownego rozpędzenia wagonu po zatrzymaniu. Do analizy przyjęto liczbę zatrzymań, których przyczyną była zależna od funkcjonowania systemu. W obliczeniach nie uwzględniono liczby zwolnień, ponieważ część z tramwajów kursujących po badanym ciągu jest wyposażona w urządzenia umożliwiające proces rekuperacji energii. Wówczas pojazdy podczas hamowania magazynują energię i mogą ją



Rys. 3. Liczba zatrzymań pociągów tramwajowych w poszczególnych przedziałach czasowych
Źródło: oprac. własne.

wykorzystać ponownie do rozpędzenia się. W przypadku zatrzymania pociągu w specyficznych sytuacjach prąd jest przekazywany do znajdujących się w bliskim sąsiedztwie tramwajów, lecz najczęściej przekazywany jest on do oporników.

Przy obliczeniu kosztów wszystkich zatrzymań odnotowanych na badanym odcinku sieci tramwajowej przyjęto następujące założenia⁴:

- ❑ jako pojazd ekwiwalentny przyjęto wagon 105 Na, dla którego znany był sposób wyliczenia kosztu dla pojedynczego zatrzymania,
- ❑ jako koszt 1 kWh przyjęto stawkę oferowaną przez Tauron Polska Energia dla Krakowa – 0,57 zł (stan na 1.08.2014 r.).

Po przeprowadzeniu wstępnych obliczeń otrzymano ostateczny wzór, w którym zmienną jest koszt 1 kWh:

$$\text{Koszt}_{\text{całk.}} = 566,1554 \times \text{Koszt}_{\text{kWh}}$$

gdzie 566,1554 jest liczbą kWh, które zostały zużyte do ponownego rozpędzenia wagonów.

Po podstawieniu założonego kosztu 1 kWh otrzymano wynik 322,71 zł. Należy nadmienić, że jest to koszt jedynie dla 14 godzin przeprowadzonych obserwacji, z czego w ciągu 10 godzin tramwaje kursowały ze zwiększoną częstotliwością (24 pociągów/h). Prognozując koszt na cały rok, przyjęto założenia:

- ✱ 200 dni, w których w ciągu 6 godzin na dobę w jednym kierunku na badanym ciągu porusza się 24 pojazdów/h (założenie wynika ze zwiększonej częstotliwości kursowania linii 52 lub linii zastępczej 70 w dni robocze);
- ✱ 200 dni, w których w ciągu 10 godzin w ciągu doby tramwaje kursują ze stałą częstotliwością 18 pojazdów/h (w godzinach poza szczytem komunikacyjnym w dni robocze);
- ✱ 150 dni, w których tramwaje kursują z częstotliwością 18 pojazdów/h (przyjęto, że w soboty i święta kursy są realizowane przez 16 godzin z jednakową częstotliwością);
- ✱ przyjęto na podstawie wcześniejszych obliczeń średnie zużycie energii wykorzystywanej w ciągu jednej godziny do ponownego rozpędzenia wagonu na poziomie 32,6628 kWh dla 18 pociągów/h oraz 43,5504 kWh dla 24 pociągów/h jadących w jednym kierunku.

Dzięki powyższym założeniom dla całego roku wyznaczono przewidywane zużycie energii, spowodowane dodatkowymi zatrzymaniami, na poziomie 195 976,87 kWh, co daje koszt 111 706,82 zł (przy uwzględnieniu założonej stawki za 1 kWh). Należy zaznaczyć, że jest to koszt dla odcinka, na którym funkcjonuje Obszarowy System Sterowania Ruchem. Ponieważ system nie został jeszcze wprowadzony w obrębie całej sieci tramwajowej, nie można oszacować całkowitych kosztów zużytej energii.

Podsumowanie

Wdrażanie systemów sterowania ruchem pozwala zwiększyć efektywność funkcjonowania transportu zbiorowego. Przeprowadzona analiza obszarowego systemu sterowania ruchem wdrożonego na ciągu tramwajowym Lipińskiego–Czerwone Maki w Krakowie wykazała konieczność monitorowania parametrów jego pracy w celu poprawy wykrytych w czasie badań przypadków nieprawidłowego funkcjonowania. Obliczona liczba zatrzymań oraz średni czas ich trwania znacznie odbiegają od założeń przyjętych podczas wdrażania systemu. Do przyczyn można zaliczyć błędy w detekcji pojazdów oraz zbyt małe odstępy czasu pomiędzy kolejnymi tramwajami.

Tab. 5

Zużycie energii przez poszczególne rodzaje taboru na wozokilometr

Lp.	Typ wagonu	Jednostkowe zużycie energii [kWh/wozokm]
1	N8	3,2
2	EU8N	3,2
3	NGT6	3,5
4	GT8S	3,5
5	E1C3	3,6
6	pojedynczy wagon 105Na	3,2

Prowadzą one do sytuacji, w których system, aby spełnić nałożone ograniczenia, nie może przyznać szeliny pionowej pociągom przekraczającym skrzyżowanie w krótkich odstępach czasu, co powoduje zatrzymanie tramwaju. Oznacza to, że system wymaga jeszcze dopracowania, którego celem powinna być minimalizacja liczby i długości zatrzymań tramwajów na analizowanym ciągu. Przewiduje się, iż wdrożenie systemu sterowania ruchem na ul. Kapelanka i Monte Cassino, które nastąpiło po zrealizowaniu omawianych badań, przyczyni się do bardziej płynnego ruchu w kierunku pętli Czerwone Maki. Koszty większego zużycia energii (rzędu 110 tys. zł rocznie na 3,8-kilometrowym odcinku torowiska) pokazują, jak ważne jest maksymalne wykorzystanie potencjału systemów sterowania ruchem. Należy pamiętać, że minimalizacja liczby zatrzymań przełoży się nie tylko na koszty zużytej energii, ale również na zużycie eksploatacyjne taboru i poprawi komfort podróży pasażerów. Dalsza rozbudowa i rozwój systemów sterowania ruchem są kluczowe dla zapewnienia obsługi komunikacyjnej aglomeracji krakowskiej o wysokim standardzie, konkurencyjnej względem transportu indywidualnego.

Bibliografia:

- [1] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego Teoria i praktyka*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011.
- [2] Gryga Ł., Wojtaszek M., Firlejczyk G., *Obszarowy system sterowania ruchem i nadawanie priorytetu dla transportu zbiorowego w Krakowie*, „Transport Miejski i Regionalny” 2013, nr 6.
- [3] Kompleksowe Badania Ruchu 2013 w Krakowie.
- [4] *Zintegrowany plan rozwoju transportu publicznego dla Krakowa na lata 2007–2013*: https://www.bip.krakow.pl/_inc/rada/uchwaly/show_pdf.php?id=51070 (dostęp z dnia 12.05.2014 r.).

Autorzy:

Inż. **Jan Aleksandrowicz** – Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki.

Inż. **Konrad Chwastek** – Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki.

Przypisy

- 1 Informacja uzyskana od Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie.
- 2 Liczba zatrzymań systemowych obejmuje zatrzymania na skrzyżowaniach i przejazdach tramwajowych.
- 3 Informacja uzyskana od Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie.
- 4 Informacje dotyczące algorytmu uzyskano dzięki współpracy z Miejskim Przedsiębiorstwem Komunikacji S.A. w Krakowie.