

Patrycja BAKALARZ  
Aleksandra HOROWSKA<sup>1</sup>

## WPLYW UDOGODNIEŃ DLA TRANSPORTU ZBIOROWEGO NA RUCH TRAMWAJÓW NA CIĄGU KOMUNIKACYJNYM ALEI POKOJU W KRAKOWIE

**Słowa kluczowe:** *ITS, komunikacja miejska, transport miejski, transport, sterowanie ruchem, tramwaj, szybki tramwaj, Kraków, Krakowski Szybki Tramwaj, pomiary, badanie, natężenie ruchu, zbior-kom*

Przygotowany referat omawia tematykę sterowania ruchem oraz priorytetu dla komunikacji miejskiej w Krakowie na wybranym odcinku. Pokróćce została omówiona problematyka wpływu transportu indywidualnego na transport zbiorowy na obszarze miasta Krakowa, oraz przedstawiono zastosowane systemy obszarowego sterowania ruchem. Analizie poddano ciąg komunikacyjny wzdłuż Alei Pokoju pod kątem obecnie stosowanych koncepcji sterowania sygnalizacją, a następnie opracowano model mikrosymulacji w programie Aimsun. Wyniki symulacji zaprezentowano w postaci kilku wariantów umożliwiających poprawę funkcjonowania komunikacji miejskiej na omawianym odcinku.

### 1. WSTĘP

#### 1.1. KIEROWANIE RUCHEM W KRAKOWIE

Kraków jako jedno z największych miast w Polsce musi mierzyć się z problemem ogromnego ruchu komunikacyjnego. Widoczny jest on zarówno w centrum jak i na drogach wylotowych z miasta. Pomimo działań związanych z rozszerzaniem polityki parkingowej oraz podziału śródmieścia na strefy parkowania, mających na celu redukcję ilości samochodów wjeżdżających do miasta, Kraków wciąż odnotowuje gwałtowny wzrost udziału transportu indywidualnego. Zwiększa to ryzyko występowania coraz to większych i częstszych kongestii ruchu. Alternatywą dla transportu indywidualnego jest prężnie rozwijający się transport zbiorowy, jednak aby stał się on bardziej atrakcyjny dla pasażerów, konieczne jest wdrażanie innowacyjnych rozwiązań z zakresu infrastruktury oraz sterowania ruchem.

---

<sup>1</sup> Koło Naukowe Logistyki TiLOG, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki.

Głównym celem wprowadzanych rozwiązań dla usprawnienia transportu zbiorowego jest spełnianie oczekiwań użytkowników o szybkiej, komfortowej podróży oraz łatwej dostępności usług komunikacji miejskiej. Programy sygnalizacyjne mają przede wszystkim zapewniać bezpieczeństwo, ale także zapewnić przepustowość skrzyżowania mając na uwadze priorytet komunikacji zbiorowej. Dlatego też tak ważne jest wdrażanie innowacyjnych rozwiązań z zakresu sterowania ruchem, infrastruktury oraz obsługi pasażerów, które pozwolą na wykorzystanie potencjału komunikacji zbiorowej, a co z a tym idzie wpłyną pozytywnie na podróż pasażerów.

## 1.2. PRIORYTETY DLA TRANSPORTU ZBIOROWEGO

Obecnie wprowadzanych jest wiele rozwiązań mających na celu usprawnienie transportu zbiorowego w miastach, np. wydzielane są specjalne pasy czy torowiska, które służą do szybszej przeprawy pojazdów komunikacji miejskiej przez zatłoczone ciągi komunikacyjne. Miasta tworzą też specjalne systemy sterowania ruchem miejskim, które pozwalają na sprawne zarządzanie sygnalizacjami świetlnymi czy kontrolowaniem ruchu floty pojazdów komunikacji miejskiej. Powszechne stało się wprowadzanie priorytetów w ruchu tramwajowym, a więc uprzywilejowania pociągów tramwajowych względem innych użytkowników ruchu. Priorytet może mieć różną formę i sposób działania - najbardziej powszechnymi są priorytety organizacyjne i infrastrukturalne.

Do pierwszej grupy możemy zaliczyć przede wszystkim wydzielone torowiska na ciągach ulic, ale także wynoszenie dróg tramwajowych na estakady czy stosowanie podziemnych tuneli. Wpływ na udzielnie pierwszeństwa tramwajom mają także lokalizacje przystanków oraz separatory. Zaletą wprowadzanych metod infrastruktury transportowej jest oddzielenie komunikacji tramwajowej od innych pojazdów na drogach, przez co zwiększa się prędkość komunikacyjna przejazdu na danym ciągu, a także nie ma konieczności ustępowania im pierwszeństwa przejazdu, ponieważ ich drogi nie przecinają się wzajemnie.

Kolejną grupą stosowanych priorytetów są priorytety organizacyjne - dotyczą one głównie sygnalizacji świetlnej i związane są z systemami opartymi na różnych rodzajach detekcji. Polega on na wczesnym wykrywaniu uprzywilejowanych pojazdów komunikacji zbiorowej zbliżających się do skrzyżowania i nadawania im priorytetowego - w stosunku do innych użytkowników ruchu - sygnału zielonego. Zapewnia to możliwość pokonania danego ciągu ulicznego bez konieczności zmniejszania prędkości czy też całkowitego zatrzymania pojazdu na skrzyżowaniu. Pozytywnym efektem tego rozwiązania jest redukcja kosztów zużycia energii oraz kosztów eksploatacyjnych pojazdu oraz zmniejszanie strat czasu przejazdu taboru na danym odcinku, co w konsekwencji zwiększa jego konkurencyjność w stosunku do transportu drogowego, indywidualnego.

### 1.3. ROZWIĄZANIA STOSOWANE W KRAKOWIE

Obecnie coraz więcej miast inwestuje w różnego typu systemy analizujące i sterujące ruchem drogowym zarówno w kontekście przepustowości, jak i nadzoru miejskiego transportu zbiorowego. Na obszarze miasta Krakowa aktualnie te zadania realizują dwa systemy: Obszarowy System Sterowania Ruchem – odpowiadający za działanie sygnalizacji świetlnej, oraz System Nadzoru Ruchu Tramwajowego – który ma za zadanie kontrolować i zarządzać ruchem tramwajowym w mieście. Głównym punktem wspólnym dla obu tych systemów jest kwestia priorytetów dla komunikacji miejskiej. Obszarowy System Sterowania Ruchem opiera się na dwóch, niezależnych systemach firmy Siemens oraz Gevas. System firmy Siemens usprawnił m. in. przejazd tramwajów w tzw. Korytarzu Szybkiego Tramwaju – czyli na przebiegu linii tramwajowej numer 50 prowadzącej z pętli Kurdwanów do pętli Krowodrza Górka, włączając w to odcinek tunelu tramwajowego pod centrum miasta. W ramach wdrożonego systemu wykonano:

- centrum Sterowania Ruchem w której zainstalowane zostały wszystkie serwery obsługujące system;
- wymianę 72 sterowników sygnalizacji świetlnej;
- modernizację i dostosowanie istniejących już sygnalizacji, które umożliwiły nadanie priorytetu tramwajom na skrzyżowaniach;
- sieć połączeń składających się ze światłowodu oraz kabli miedzianych, umożliwiających połączenie wszystkich elementów systemu z centralą.

System Siemens pozwala na zbieranie wielu informacji dotyczących ruchu, analizowanie pomiarów i możliwość dostosowania sygnalizacji w czasie rzeczywistym do danych warunków ruchu, w tym nadawanie priorytetu dla komunikacji miejskiej.

Innym systemem działającym w Krakowie jest ten oferowany przez firmę Gevas. System ten odpowiada za optymalną pracę wszystkich sygnalizacji znajdujących się w jego obszarze. Dostosowuje je do rzeczywistych warunków na drodze, natężenia i prędkości poruszających się pojazdów. System ten nadaje także priorytet dla komunikacji miejskiej oraz potrafi reagować w nadzwyczajnych sytuacjach, np. poprzez rozładowanie kolejki podczas kilku kolejnych cykli w przypadku przeciążenia którejs z relacji. Pomimo wielu wprowadzanych systemów i rozwiązań infrastrukturalnych wciąż jednak istnieją możliwości poprawy szybkości i sprawności przejazdu tramwajów przez skrzyżowania oraz ciągi komunikacyjne [2].

## 2. PROJEKT USPRAWNINIENIA RUCHU TRAMWAJOWEGO

### 2.1. ANALIZA STANU OBECNEGO

Przedmiotem badań wykonanych przez Koło Naukowe Logistyki TiLOG był ruch pojazdów na Alei Pokoju w Krakowie, która to jest jednym z głównych ciągów komunikacyjnych miasta. Jest to ulica dwujezdniowa, posiadająca po dwa pasy ruchu w każdym z kierunków, biegnąca od Ronda Grzegórzeckiego w kierunku północno-wschodnim do Ronda Czyżyńskiego, a ruch tramwajowy odbywa się po wydzielonym torowisku pomiędzy jezdniami. Aleja Pokoju została wytyczona przez osiedle Grzegórzki oraz Dąbie i jest jednym z głównych połączeń centrum miasta z Nową Hutą.



Rys. 1. Mapa miasta Krakowa z uwzględnieniem omawianego odcinka Alei Pokoju  
Fig. 1. A map of the city of Krakow including the discussed section of Aleja Pokoju

Pomiary zostały przeprowadzone na odcinku Rondo Grzegórzeckie – Rondo Dywizjonu 308, gdzie droga tramwajowa przecina się z licznymi skrzyżowaniami, a zainstalowana tam sygnalizacja świetlna nie nadaje pełnego priorytetu dla transportu tramwajowego. Za organizację ruchu na analizowanym odcinku odpowiada Obszarowy System Sterowania Ruchem, jednak ze względu na specyfikę tego odcinka pogodzenie priorytetu dla komunikacji oraz zapewnienie koordynacji dla pojazdów powodowało wiele trudności.

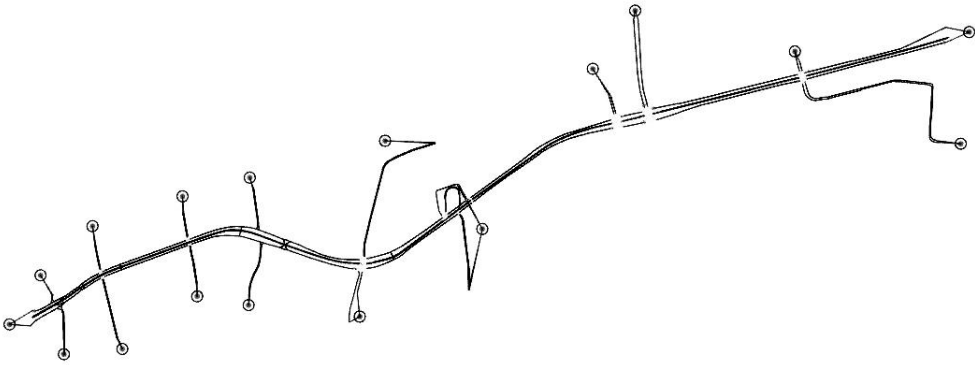
Podczas projektowania linii tramwajowej oraz skrzyżowań wykorzystano detekcję indukcyjną, która poprzez zbieranie informacji na temat pojazdów znajdujących się nad pętlą indukcyjną umożliwia wyznaczenie liczby pojazdów przejeżdżających nad detektorem. Pętla indukcyjna jest stosowana w obrębie jezdni dla pojazdów drogowych, jak i w osi torowisk tramwajowych [1]. Algorytmy wyko-

rzystane przy projektowaniu systemu sygnalizacji świetlnej nie są w pełni optymalne, dlatego w dużej liczbie przypadków tramwaje muszą się zatrzymywać, co znacznie zmniejsza ich prędkość komunikacyjną. Ze względu na to, iż dany ciąg jest dwujezdniowy i wytyczony, pojawia się tam wiele zawrotek jednokierunkowych jak i dwukierunkowych, a przejścia dla pieszych są zaplanowane tak, aby umożliwić dojście do przystanków tramwajowych i autobusowych oraz większych obiektów takich jak Galeria Plaża czy Tauron Arena Kraków oraz znajdujących się w pobliżu osiedli. Większość tych przejść jest zorganizowanych za pomocą sygnalizacji świetlnej, jednak przykładowo przy dojściu do przystanku „Fabryczna” piesi mogą przeciąć torowisko w dwóch miejscach bez zainstalowanej sygnalizacji świetlnej. Z naszych obserwacji wynika, że w głównej mierze powoduje to kolejne zatrzymanie tramwajów, które wyruszyły z nieopodal zlokalizowanego przystanku. Na analizowanym odcinku, liczącym zaledwie 3,8 km, funkcjonuje 10 przystanków tramwajowych, często znajdujących się w niewielkiej odległości od siebie. Wspomniany ciąg komunikacyjny na Alei Pokoju obsługują trzy linie tramwajowe:

- linia nr 1 kursująca z częstotliwością średnio co 7 minut w dni powszednie i co 20 minut w soboty, niedziele i święta,
- linia nr 14 kursująca z częstotliwością średnio co 15 minut w dni powszednie i co 20 minut w soboty, niedziele i święta,
- linia nr 22 kursująca z częstotliwością średnio co 15 minut w dni powszednie i co 20 minut w soboty, niedziele i święta.

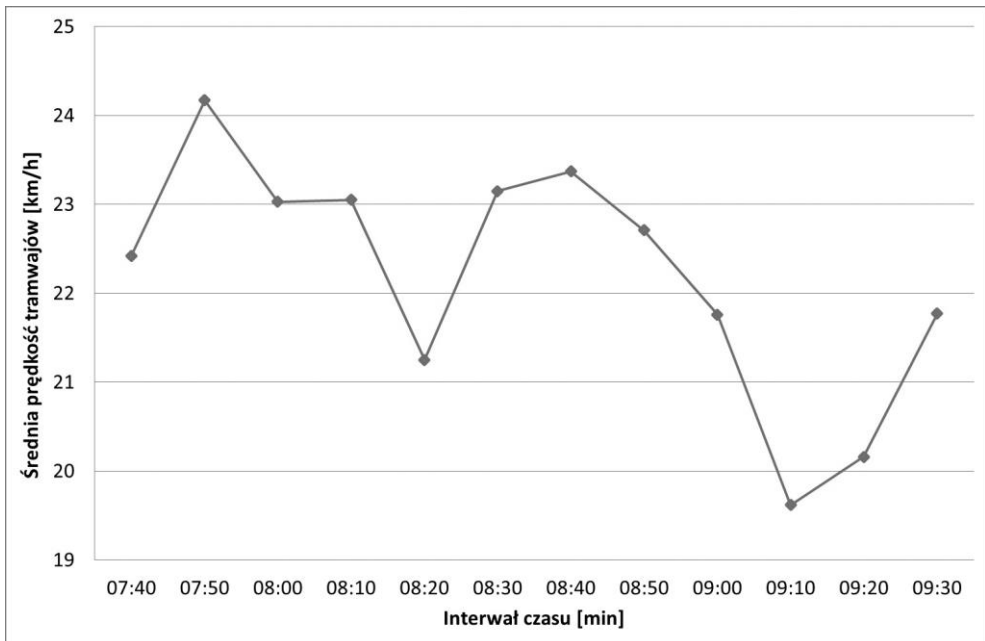
## 2.2. BADANIA POTENCJAŁU TRANSPORTU PUBLICZNEGO W CIĄGU ALEI POKOJU

Badania zostały przeprowadzone przez członków Koła Naukowego Logistyki TiLOG pod koniec 2016 roku. W ramach projektu prowadzono obserwację na każdym ze skrzyżowań znajdujących się w analizowanym odcinku Alei Pokoju. Zmierzone zostało natężenie ruchu wraz z określeniem struktury rodzajowej pojazdów, opracowano wizję lokalną stanu infrastruktury szynowej, pomiar czasu przejścia pieszych między przystankami oraz pomiar czasu przejazdu tramwajów. Na podstawie zebranych wyników oraz danych uzyskanych od Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie stworzono w programie Aimsun mikromodel badanego ciągu Alei Pokoju, który został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat symulacji analizowanego odcinka Alei Pokoju w programie Aimsun  
 Fig. 2. Scheme of simulation of the analyzed section of Aleja Pokoju in the Aimsun program

Analizując tę symulację zauważono, że tramwaje poruszające się ze średnią prędkością 22.43 km/h nie wykorzystują w pełni potencjału istniejącej infrastruktury. Rozkład średnich prędkości tramwajów w 10-minutowych interwałach przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wykres średniej prędkości tramwajów w 10-minutowych interwałach czasu na analizowanym odcinku Alei Pokoju

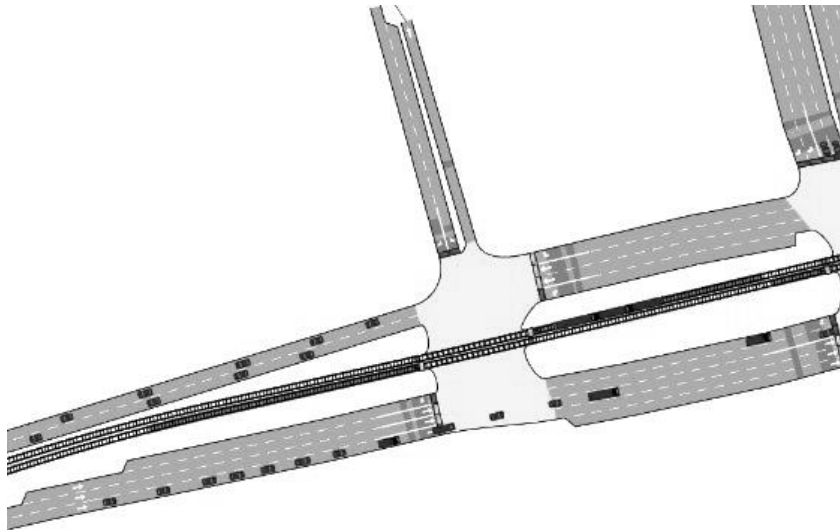
Fig. 3. Graph of average speed of trams in 10-minute intervals of time on the analyzed section of Aleja Pokoju

### 2.3. PROPOZYCJE USPRAWNIENIA RUCHU TRAMWAJÓW W CIĄGU ALEI POKOJU, WYNIKI SYMULACJI

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz symulacji opracowano trzy warianty poprawy funkcjonowania transportu szynowego w omawianym ciągu komunikacyjnym.

- Wariant I – *Nadanie bezwzględnego priorytetu dla tramwajów.*

Wariant ten rozpatruje przeprogramowanie systemu sygnalizacji świetlnej w celu osiągnięcia płynnego przejazdu tramwaju poprzez zminimalizowanie potrzeby redukcji prędkości oraz bez konieczności zatrzymania przed sygnalizatorem. Z przeprowadzonej symulacji wynika, że po wprowadzeniu wspomnianych zmian średnia prędkość tramwajów wzrasta do 23,60 km/h, a odchylenie standardowe zmniejsza się co oznacza, że tramwaje pokonują odcinek z podobną prędkością, a opóźnienia w kursowaniu ulegają zmniejszeniu. Warto także zaznaczyć, że wprowadzone zmiany nie mają dużego wpływu na zmianę średniej prędkości poruszających się samochodów wzdłuż rozpatrywanego odcinka linii tramwajowej. Przypadek nadania priorytetu sygnału zielonego dla tramwaju przedstawiono na rysunku 4.

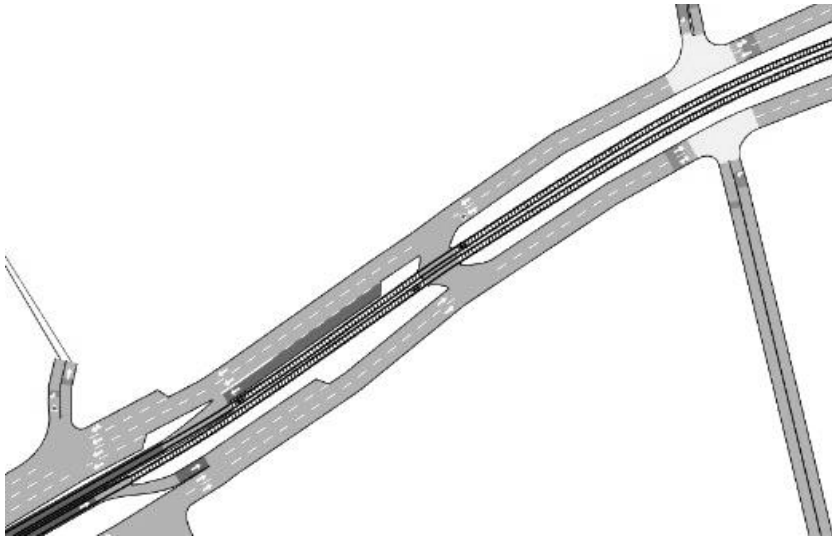


Rys. 4. Schemat symulacji po nadaniu bezwzględnego priorytetu dla tramwaju na analizowanym odcinku Alei Pokoju

Fig. 4. Scheme of simulation after giving absolute priority to the tram on the analyzed section of Aleja Pokoju

- *Wariant II – Usunięcie jednego z przystanków tramwajowych znajdującego się tuż za Rondem Grzegórzeckim*

Kolejna propozycja przewiduje usunięcie jednego z przystanków tramwajowych znajdującego się tuż za Rondem Grzegórzeckim. Przystanek ten został w przeszłości zaprojektowany w celu ułatwienia dostępności, obecnie nieistniejącej już, przychodni lekarskiej. Aktualnie przystanek ten nie obsługuje żadnego dużego obiektu oraz znajduje się w odległości ok. 200 metrów od przystanku Rondo Grzegórzeckie, będącego jednocześnie węzłem komunikacyjnym, który ma większe znaczenie w planowaniu podróży przez pasażerów. Wspomniana odległość od przystanku nie mieści się w przyjętych standardach dot. lokalizacji przystanków tramwajowych zlokalizowanych w centrum miasta, gdzie zalecana odległość między kolejnymi przystankami to 300-800 metrów. Podobnie jak w wariantcie pierwszym, średnia prędkość tramwajów wzrasta do 23,65 km/h dzięki zastosowanej zmianie infrastrukturalnej, jednak odchylenie standardowe jest większe niż w poprzednim przypadku, natomiast opóźnienie nie ulega większej zmianie względem stanu obecnego. Zmiany infrastrukturalne zaprezentowano na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat ciągu Alei Pokoju po usunięciu przystanku Teatr Variete

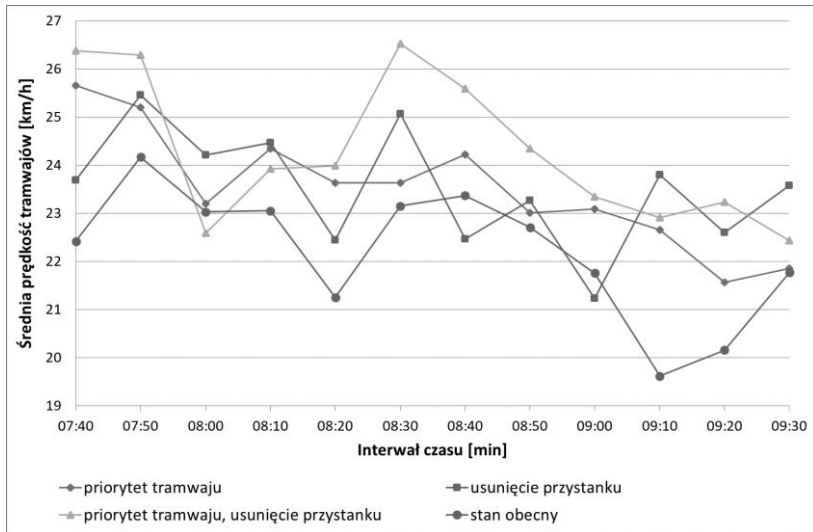
Fig. 5. Schematic diagram of the Avenue of Peace after removing the Teatr Variete stop

- *Wariant III – Połączenie usunięcia przystanku Teatr Variete oraz nadanie bezwzględnego priorytetu dla tramwaju.*

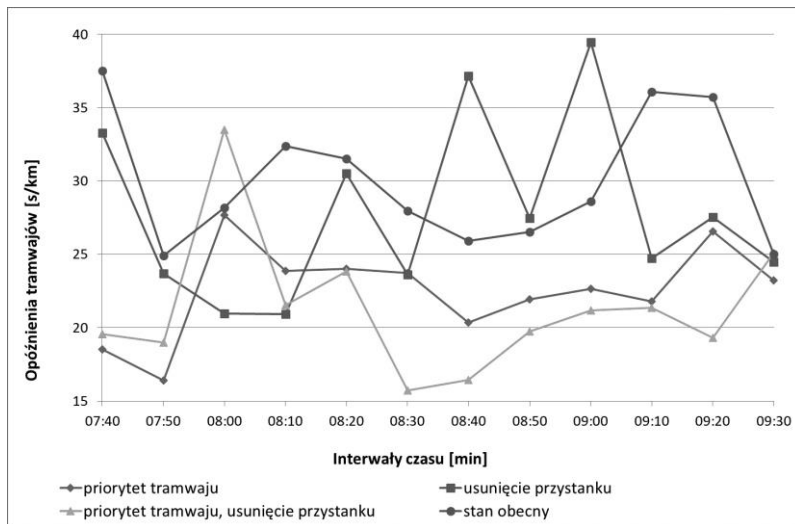
Na podstawie przeprowadzonej symulacji uwzględniającej połączenie zarówno koncepcji zmiany organizacji systemu sterowania ruchem, jak i przebudowy infrastruktury przystankowej, uzyskane rezultaty wykazują znaczącą poprawę średniej prędkości kursujących na tym odcinku tramwajów. Osiągnięte wyniki pokazują, że poruszające się tramwaje osiągną średnią prędkość 24,44 km/h co pozwala rozpa-



trywać je w kontekście szybkiego tramwaju, który według założeń powinien osiągać minimalną prędkość rzędu 24 km/h. Zestawienie średniej prędkości oraz średnich opóźnień w kursowaniu tramwajów w każdym z omawianych wariantów zostało przedstawione na rysunku nr 6 i nr 7.



Rys. 6. Porównie średniej prędkości tramwajów w 10-minutowych interwałach  
Fig. 6. Comparison of the average speed of trams in 10-minute intervals



Rys. 7. Porównie średnich opóźnień tramwajów w 10-minutowych interwałach  
Fig. 7. Comparison of average trams delays at 10-minute intervals

### 3. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonej analizy oraz symulacji w programie Aimsun można zauważyć, że wprowadzenie zaproponowanych powyżej koncepcji zmian organizacyjnych oraz infrastrukturalnych na wybranym odcinku Alei Pokoju, w znacznym stopniu poprawia średnią prędkość oraz zmniejsza opóźnienia poruszających się tramwajów. Warto podkreślić, iż opracowane rozwiązania mogą zostać wdrożone niskim nakładem finansowym. Przedstawione pomysły nie obrazują problemu w skali makro, nie wiemy jak te zmiany wpłyną na sytuację ruchową na odległych skrzyżowaniach znajdujących się na ulicach przecinających analizowany ciąg Alei Pokoju. W przyszłości, członkowie Koła Naukowego planują kolejne pomiary oraz dalsze badania pozwalające wykazać prawidłowość zaproponowanych rozwiązań, a także przeanalizować omawiane warianty pod kątem ich wpływu na ruch pojazdów w sąsiadujących obszarach.

### LITERATURA

- [1] ALEKSANDROWICZ A., PIWOWARCZYK M., *Sposoby detekcji pojazdów transportu zbiorowego i ich funkcjonalność*, „Transport Miejski i regionalny”, 2016 nr 5.
- [2] GRYKA Ł., WOJTASZEK M., *Obszarowy system sterowania ruchem i nadawania priorytetu dla transportu zbiorowego w Krakowie*, „Transport Miejski i regionalny”, 2013 nr 6.

## INFLUENCE OF PUBLIC TRANSPORT IMPROVEMENT ON TRAM TRAFFIC ON THE ALEJA POKOJU IN KRAKÓW

**Key words:** *ITS, public transport, mass transport, commute, transport in the city, transport, traffic control, tram, rapid transport, trams in Cracow, measure, traffic intensity*

The article is about traffic control and priority for public transport in Cracow on a selected segment. The issue of the influence of individual transport on public transport in Cracow and local Urban Traffic Control System were introduced. The communication segment along the Aleja Pokoju was analyzed in terms of currently used signal control concepts, and then a model of microsimulation has been developed in the Aimsun software. The results of the simulation were presented in the form of several variants to allow improvement of the functioning of public transport on the discussed segment.