

## ZASILANIE MODELI SYSTEMÓW TRANSPORTOWYCH DANYMI Z SYSTEMU ZARZĄDZANIA RUCHEM<sup>1</sup>

---

### Jacek Oskarbski

dr inż., Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12,  
80-233 Gdańsk, tel.: +48 604 475 876, e-mail: jacek.  
oskarbski@pg.gda.pl

### Michał Miszewski

mgr inż., Zarząd Dróg i Zieleni, ul. 10 lutego 24, 81-364  
Gdynia, tel.: +48 58 761 2039, e-mail: m.miszewski@  
zdiz.gdynia.pl

---

### Marcin Zawisza

mgr inż., Zarząd Dróg i Zieleni, ul. 10 lutego 24, 81-364  
Gdynia, tel.: +48 58 761 2034, e-mail: m.zawisza@  
zdiz.gdynia.pl

### Karol Żarski

mgr inż., Zarząd Dróg i Zieleni, ul. 10 lutego 24, 81-  
364 Gdynia, tel.: +48 58 762 2600, e-mail: k.zarski@  
zdiz.gdynia.pl

---

**Streszczenie.** *Inteligentne Systemy Transportu (ITS) oferują narzędzia służące wzmocnieniu systemów transportowych w miastach poprzez racjonalizację wykorzystania istniejącej infrastruktury oraz zwiększenie jej niezawodności przy jednoczesnej redukcji kosztów funkcjonowania transportu. W Aglomeracji Trójmiejskiej trwa obecnie realizacja pierwszych etapów systemu zarządzania ruchem TRISTAR. Jednym z elementów systemu będzie System Planowania Ruchu, który wspomagany informacjami pozyskanymi z pozostałych modułów systemu oraz z wykorzystaniem modeli systemów transportu pozwoli na usprawnienie prac planistycznych oraz działań operacyjnych w zarządzaniu ruchem. W artykule przedstawiono strukturę Systemu Planowania Ruchu i jego powiązania z burtownią i bazami danych systemu TRISTAR oraz możliwości zasilania modeli systemu transportu danymi pozyskanymi z systemu zarządzania ruchem. Dokonano ponadto charakterystyki poszczególnych zbiorów danych, które mogą posłużyć do modelowania systemów transportu zarówno w celach planistycznych, jak i operacyjnych oraz metodykę zasilania modeli. W Systemie Planowania Ruchu znajdują zastosowanie pakiety programów, wspomagających modelowanie takie, jak VISUM, VISSIM i SATURN.*

**Słowa kluczowe:** *ITS, modelowanie transportu, bazy danych*

## 1. Wprowadzenie

Modelowanie procesów transportowych odgrywa coraz większe znaczenie m.in. w codziennym funkcjonowaniu miast oraz obszarów aglomeracji, a także wpływa na ich długoterminowy rozwój. Możemy wydzielić dwa główne obszary modelowania:

- obszar planistyczny, którego zadaniem jest kształtowanie długookresowej wizji rozwoju infrastruktury transportowej analizowanego obszaru. Wyniki takiego modelowania często są podstawą tworzenia dokumentów takich jak

---

1 Wkład autorów w publikację: Oskarbski J. 25%, Miszewski M. 25%, Zawisza M. 25%, Żarski K. 25%

studia wykonalności, studia uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin, jak również polityki transportowej.

- obszar związany z bieżącym zarządzaniem ruchem, którego wynikiem jest bezpośredni wpływ na jakość podróży odbywanych przez wszystkich użytkowników z miejskiej infrastruktury transportowej. Modelowane w ten sposób różne warianty pozwalają m.in. na podejmowanie trafnych decyzji dot. strategii sterowania ruchem, pozwalając tym samym na minimalizowanie strat (energochłonność, czas) związanych z wykonywaniem podróży.

W obu przypadkach, jednym z najważniejszych czynników wpływających na jakość przeprowadzanych analiz są dane wejściowe m.in. o natężeniu ruchu drogowego, średniej prędkości pojazdów na odcinkach, czy też średniej prędkości pojazdów transportu zbiorowego [9]. Zebranie takich danych w ilości pozwalającej na wyznaczenie wiarygodnych zależności matematycznych opisujących proces podróżowania wiąże się z koniecznością przeprowadzenia Kompleksowych Badań Ruchu, których koszty mogą oscylować nawet w milionach złotych. W związku z tym, że badania takie przeprowadzane są zbyt rzadko w stosunku do dynamiki zmian w podróżowaniu ludzi, co może prowadzić do sytuacji, że zebrane dane szybko staną się nieaktualne. Problem ten w znacznym stopniu może zostać rozwiązany dzięki zastosowaniu narzędzi ITS pozwalających na ciągle zbieranie danych w czasie rzeczywistym. W niniejszym artykule autorzy przedstawili koncepcję budowy hurtowni danych w których składowane zostaną dane uzyskiwane z różnych podsystemów systemu TRISTAR oraz przykład ich wykorzystania w modelach makro, mezo i mikroskopowych.

## 2. System Planowania Transportu w zintegrowanym systemie zarządzania transportem

### 2.1. Zbieranie danych z systemu TRISTAR

Podstawowym źródłem danych w systemie TRISTAR są detektory w postaci pętli indukcyjnych. Ich zadaniem jest zbieranie informacji o przejeżdżających pojazdach. Dzięki temu na każdym skrzyżowaniu w systemie można określić natężenie ruchu na każdym wlocie. Dla potrzeb omawianych modeli bardzo przydatne będą nie tylko bezpośrednie dane z pętli systemowych, które wykorzystywane są w systemie sterowania ruchem. Na każdym skrzyżowaniu zainstalowano **stacje pomiaru ruchu**. Ich zadaniem jest analizowanie parametrów ruchu pojazdów. Dzięki temu będzie można zbierać informacje o liczbie i prędkości pojazdów oraz ich strukturze rodzajowej. Ponadto wykorzystując zaimplementowany w systemie model **DRIVERS** będzie można dowiedzieć się, z częstotliwością co 5 min, jak kształtuje się struktura kierunkowa na danym skrzyżowaniu. W **DRIVERS** zaimplementowano zaawansowane algorytmy (oparte na automatach komórkowych), umożliwiające krótkoterminowe (od kilku do kilkunastu minut) prognozowanie

stanu ruchu. Bazą dla obliczeń są wartości historyczne oraz wartości uzyskane z bieżących pomiarów [4].

Jednym z elementów systemu TRISTAR jest moduł wykrywania zdarzeń drogowych, który zostanie zaimplementowany na ulicach klasy GP o ograniczonej dostępności, charakteryzujących się długimi odcinkami pomiędzy węzłami/skrzyżowaniami. Jego zadaniem będzie wykrycie potencjalnego zdarzenia drogowego i poinformowanie o nim operatorów w Centrum Zarządzania Transportem. W tym celu zostanie wykorzystany system oparty o skanery, które wykrywają urządzenia Bluetooth i Wi-Fi. Urządzenia identyfikowane są po unikalnym adresie MAC, dzięki czemu możliwe jest dokładne oszacowanie prędkości pojawienia się urządzenia w konkretnych punktach kontrolnych (lokalizacjach skanerów). System ten pozwala oszacować na podstawie próby pojazdów średnią prędkość na odcinku drogi. W Gdyni, w ramach wdrożenia systemu zrealizowany został przez firmę QUMAK projekt pilotażowy, którego celem było określenie średniego pokrycia pojazdów (udział pojazdów z włączonymi urządzeniami do wszystkich pojazdów na odcinku), a tym samym przydatności systemu w warunkach polskich. Wyniki badań pokazały, że średnio co trzeci pojazd ma włączone jedno z wykrywanych urządzeń [9]. Tak duża próba pozwala na dość dokładne szacowanie średniej prędkości pojazdów na odcinkach oraz wychwycenie w większości przypadków nagłych spadków prędkości sugerujących wystąpienie incydentu na drodze. Możliwe jest także szacowanie macierzy podróży oraz tras przejazdu pojazdów.

W ramach Systemu TRISTAR zostaną zainstalowane kamery ANPR (Automatic Number Plate Recognition) posiadające funkcję rozpoznawania tablic rejestracyjnych pojazdów. Zlokalizowane będą na najważniejszych skrzyżowaniach objętych systemem. Kamery pozwolą na identyfikację każdego pojazdu wraz z określeniem jego prędkości chwilowej (kamery wykorzystywane będą również w module bezpieczeństwa ruchu drogowego – nadzorze przekraczania prędkości dopuszczalnej oraz przejazdu na czerwonym świetle). Na podstawie danych z urządzeń szacowane będą także czasy przejazdu na poszczególnych trasach wyznaczone przez dwa kolejne stanowiska pomiarowe. Te informacje przekazywane będą kierowcom, m.in. na Tablicach Zmiennej Treści. Możliwa będzie identyfikacja pojazdów ze względu na pochodzenie tablicy rejestracyjnej (informacja o powiecie), a także uzyskanie informacji o liczbie pojazdów na stanowisku pomiarowym (w celu skonfrontowania wyników z danymi pozyskanymi z pozostałymi modułami systemu).

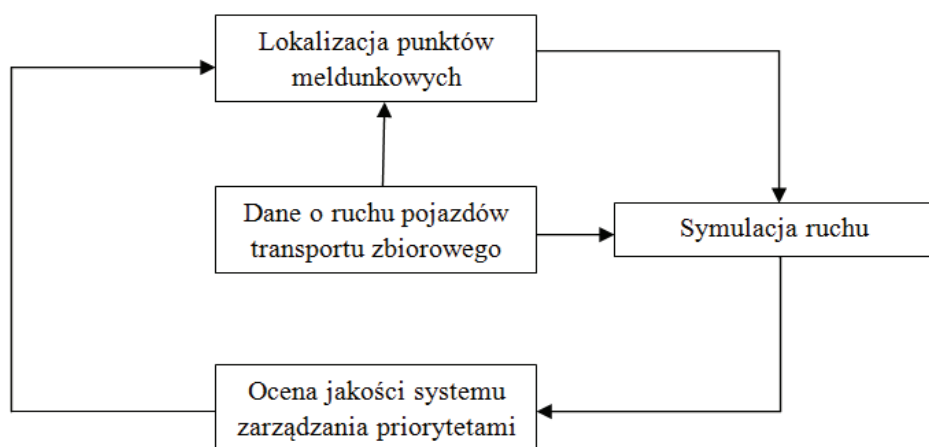
Oprogramowaniem służącym do zarządzania ruchem w ramach TRISTAR jest środowisko VTcenter firmy GEVAS. W jego skład wchodzi szereg programów od programów do projektowania programów sygnalizacji po główny element jakim jest VTnet. Jest to interfejs obsługowy opierający się na GIS, zasilany danymi z systemu sterowania ruchem i wizualizujący jego pracę [11]. W ramach pakietu dodano moduł do analiz ruchu. Programem tym jest VS-pCoq szwajcarskiej firmy Verkehrs Systeme. Program jest narzędziem do analizy jakościowej procesu sterowania ruchem [10]. Dzięki temu narzędziu można na bieżąco kontrolować stan pracy skrzyżowań. Do tego celu wykorzystywane są surowe dane pomiarowe

z pętli indukcyjnych i sterownika. Program umożliwia generowanie indywidualnie konfigurowanych zestawień dla np. czasów zajętości detektorów, przejazdów na czerwonym świetle, liczby pojazdów lub czasów przejazdu między parami detektorów. Podstawowym zastosowaniem programu jest sprawdzanie statystyk występowania danego sygnału dla konkretnej grupy sygnalizacyjnej oraz zbieranie danych o natężeniu w celu weryfikacji poprawności działania pętli indukcyjnych.

System zarządzania ruchem pojazdów transportu zbiorowego opiera się na ciągłym przesyłaniu informacji o aktualnej pozycji pojazdów na trasie. Wykorzystywane w tym celu są nadajniki GPS, w które wyposażone są wszystkie pojazdy objęte systemem. Pojazdy wysyłają bieżącą pozycję co 20 sekund, a w rejonie przystanków przewidywana jest większa częstotliwość meldowania pozycji – co 10 sekund [6]. Obserwacja ruchu pojazdów transportu zbiorowego pozwala na określenie bardzo dokładnych czasów przejazdu pomiędzy wybranymi punktami pomiarowymi. W obrębie przystanków pojazdy przekraczają odpowiednio dobre punkty meldunkowe, których głównym zadaniem jest właściwa obsługa systemu priorytetów. Dla analiz ruchu pojazdów transportu zbiorowego istotny jest dokładny czas pokonania kompletu punktów meldunkowych przewidzianych dla każdego z przystanków na trasie. Dokładne dane o sposobie przemieszczania się pojazdów mogą być wykorzystywane do aktualizacji modeli ruchu na poszczególnych szczeblach dokładności.

W modelu makroskopowym istnieje możliwość aktualizacji parametrów tras linii o rzeczywistą prędkość przejazdu na danym odcinku sieci. W połączeniu z bieżącą aktualizacją wartości natężenia ruchu wszystkich pojazdów na odcinku możliwe staje się skalibrowanie funkcji oporu odcinka dla pojazdów transportu zbiorowego w zależności od poziomu nasycenia ciągów ulicznych. Dokładne odwzorowanie parametrów przejazdu autobusu przez dany odcinek trasy staje się efektywnym narzędziem do aktualizacji rozkładów jazdy, ewentualnej korekty tras bądź lokalizacji przystanków.

Model mikroskopowy VISSIM posiada dokładnie odwzorowany aktualny rozkład jazdy pojazdów transportu zbiorowego. Pojazdy konkretnych linii pojawiają się w ściśle określonym kroku symulacji. W modelu mikroskopowym większego znaczenia nabiera właściwe rozmieszczenie punktów meldunkowych i ich wpływ na komunikację pojazdu ze sterownikiem sygnalizacji świetlnej. Obsługa żądań priorytetowych zakłada lokalizację punktu zgłoszenia wstępnego (kilkadziesiąt do kilkuset metrów przed skrzyżowaniem), punktu zgłoszenia głównego, którego minięcie powoduje nadanie lub nie priorytetu oraz punktu zgłoszenia końcowego, gdzie następuje opuszczenie skrzyżowania. Minięcie ostatniego punktu powoduje zamknięcie obsługi żądania i pozwala na określenie efektywności dostosowania pracy sygnalizacji do obsługi pojazdu transportu zbiorowego. Model mikroskopowy pozwala na optymalną lokalizację punktów obsługi żądań dla priorytetów. Uwzględniając lokalne warunki ruchu na danym odcinku oraz organizację ruchu na skrzyżowaniu, punkty powinny być tak dobrane, aby umożliwić sterownikowi zmianę sygnału w wymaganej chwili. Strukturę wykorzystania modelu dla optymalizacji funkcjonowania systemu priorytetów przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Struktura optymalizacji funkcjonowania priorytetów

Zródło: opracowanie własne

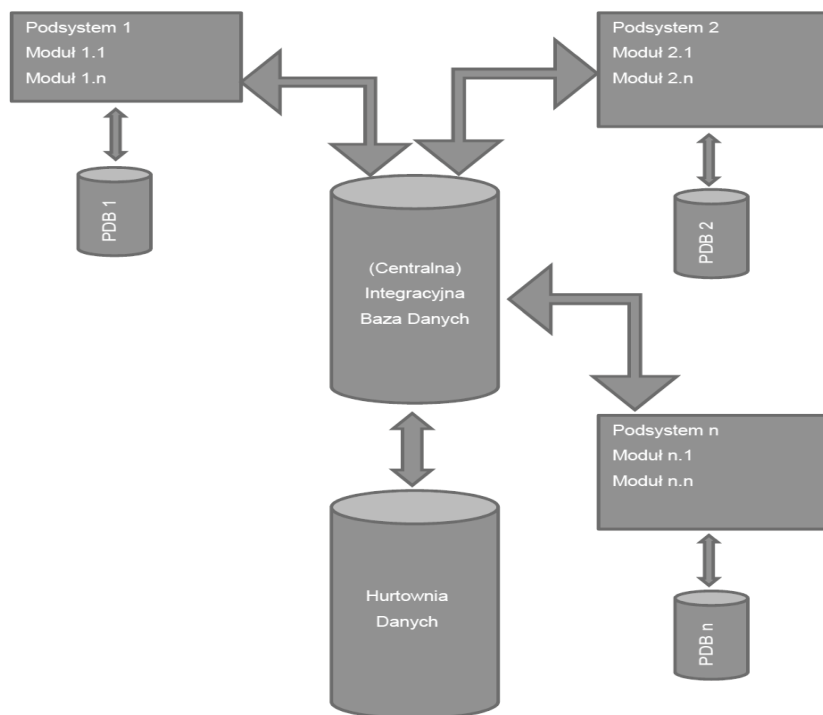
## 2.2. Bazy danych

Miejszem w którym będą gromadzone dane i informacje ze wszystkich modułów i podsystemów TRISTAR będzie Integracyjna Baza Danych. Odpowiednio przetworzone wybrane dane będą przenoszone do specjalnej bazy danych zorganizowanej w technologii Hurtownii Danych. Jej zadaniem będzie przechowywanie danych w postaci Repozytorium Danych i udostępnianie ich do aplikacji analizujących dane statystyczne związane z ruchem pojazdów na terenie Trójmiasta [7]. W Hurtownii Danych wszystkie dane będą miały określony poziom agregacji. W przypadku natężenia ruchu dane będą agregowane do 15 min., 30 min., 1 godz., doby, tygodnia i miesiąca. Na rys. 2 przedstawiono schematycznie sposób przepływu danych między podsystemami, a zbiorczymi bazami danych. Dane ze wszystkich podsystemów (PDB – produkcyjna baza danych) trafiają do Centralnej Bazy Danych w której są przetwarzane i w zależności od zdefiniowania przesyłane do innych podsystemów. Następnie niektóre wcześniej wyznaczone dane trafiają do Hurtownii Danych.

Poniżej przedstawiono tabele (tab. 1 – tab. 3) z możliwymi źródłami poszczególnych danych do danego modelu. Należy zwrócić uwagę na istotne znaczenie **Hurtownii Danych**, z której będzie można uzyskać prawie wszystkie dane, przydatne na poszczególnych etapach modelowania lub weryfikacji modeli. Sprawne i automatyczne zasilanie modeli ruchu danymi z systemu TRISTAR wymaga powiązań referencyjnych pomiędzy bazami i hurtownią danych, elementami sieci w VTnet oraz elementami sieci w modelach systemów transportu (np. zdefiniowanie odcinka sieci dwoma punktami, relacji skrzyżnych trzema punktami, mającymi odniesienia w hurtowni danych, bazie GIS w VTnet oraz modelach ruchu).

Istotnym elementem jest przepustowość, której stopień wykorzystania oraz relacja w stosunku do natężenia ruchu może pomóc w szacowaniu poziomów swobody ruchu odcinków sieci, relacji skrzyżnych lub poszczególnych pasów ruchu. Pozyskanie danych z układu ulicznego pozwala na prowadzenie analiz, pozwa-

lających na określenie zależności prędkość-natężenie, szacowanie funkcji oporu odcinka lub weryfikację natężenia nasycenia poszczególnych elementów układu ulicznego. Przeprowadzenie powyższych badań warunkuje możliwość obliczenia przepustowości (badania będą przeprowadzane również w odniesieniu do strat czasu i długości kolejek).



Rys. 2. Współpraca baz danych w systemie TRISTAR

Źródło: (8)

Tabela 1. Źródła danych dla modelu makroskopowego

	VISUM					
	Stacja Pomiaru	DRIVERS	pCoq	ANPR	Skanery WiFi	Hurtownia Danych
Natężenia	X	X	X	X		X
Struktura rodzajowa	X					X
Średnia prędkość	X	X	X	X	X	X
Przepustowość	X					X
Struktura kierunkowa	X	X				
Czas przejazdu			X	X	X	X
Długość kolejek		X				X
Parametry sterowania (split, offset, cykl)			X			X
Czasy przejazdu TZ						X
Opóźnienia/przyspieszenia pojazdów TZ						X
Czas obsługi pasażerów TZ						X

Źródło: opracowanie własne

Tabela 2. Źródła danych dla modelu mikroskopowego

VISSIM						
	Stacja Pomiaru	DRIVERS	pCoq	ANPR	Skanery WiFi	Hurtownia Danych
Natężenia	X	X	X	X	X	X
Struktura rodzajowa	X					X
Średnia prękość	X	X	X	X	X	X
Średnie Straty czasu na skrzyżowaniu						X
Struktura kierunkowa	X	X				
prękości chwilowe SPR ANPR	X		X	X	X	
Odstęp między pojazdami	X	X		X		

Źródło: opracowanie własne

Tabela 3. Źródła danych dla modelu mezoskopowego

SATURN/DRACULA						
	Stacja Pomiaru	DRIVERS	pCoq	ANPR	Skanery WiFi	Hurtownia Danych
Natężenia	X	X	X	X	X	X
Struktura rodzajowa	X					X
Średnia prękość	X	X	X	X	X	X
Przepustowość/natężenie nasycenia	X					X
Struktura kierunkowa	X	X				
Czas przejazdu			X	X	X	X
Długość kolejek		X				X
Parametry sterowania (split, offset, cykl)			X			X
Średnie straty czasu na skrzyżowaniu						X
Odstęp między pojazdami	X	X		X		

Źródło: opracowanie własne

### 2.3. Wielopoziomowy model transportu Systemie Planowania Transportu

Jednym z elementów systemu TRISTAR jest System Planowania Transportu (SPT), oparty o narzędzia modelowania zgodne z koncepcją wielopoziomowego modelu ruchu (MST) [1]. W ramach realizowanego w Gdyni projektu CIVITAS DYN@MO opracowywane są modele, pozwalające na dokonanie analiz umożliwiających optymalizację zarządzania transportem na terenie miasta.

Model makroskopowy obejmujący obszar miasta Gdyni opracowywany jest z wykorzystaniem oprogramowania firmy PTV VISUM. Jego opracowanie bazuje na metodyce modelu czterostopniowego wykorzystanego m.in. do budowy modelu Gdańska [2] uwzględniając wyniki badań preferencji i zachowań transportowych mieszkańców Gdyni [3,5]. Ma on służyć, jako narzędzie do prac planistycznych oraz analiz incydentalnych, których wpływ może być odczuwalny na większym obszarze miasta np. w przypadku remontów na głównych ciągach transportowych, wydarzeń sportowych i kulturalnych itp. Model został przystosowany do pobierania danych bezpośrednio z odpowiednich podsystemów systemu TRISTAR dzięki czemu inżynierowie ruchu będą mogli:

- dokonywać analiz wpływu ww. zdarzeń na zmiany w rozkładzie ruchu i eksportować je do modeli mezoskopowych i mikroskopowych;
- estymować macierz podróży w oparciu o kalibrację natężeń ruchu na ciągach z dokładnością do przekroju bądź pasów w oparciu o dane z systemu;
- wykorzystać skalibrowane w ten sposób macierze jako dane wejściowe do modelu mezoskopowych i mikroskopowego;
- szacować zmiany w potokach pasażerskich w przypadku zmian w rozkładzie jazdy lub czasie podróżowania transportem zbiorowym lub indywidualnym.

Model będzie zasilany danymi z systemu:

- natężenie ruchu wraz z strukturą kierunkową i rodzajową – służące m.in. do kalibracji modelu oraz funkcji oporu odcinka;
- średnia prędkość na odcinkach i trasach – kalibracja funkcji oporu odcinka;
- średnia prędkość przejazdów transportem zbiorowym (TZ) – kalibracja modelu transportu zbiorowego.

W przyszłości planuję rozszerzyć model o dane dotyczące, udziałów zielonego światła, offsetów, długości cykli oraz splity w celu dokonywania szczegółowych analiz z wykorzystaniem modułu ICA.

Dane które będą musiały być aktualizowane manualnie przez użytkowników obejmą, zmiany w organizacji ruchu oraz geometrii, zmiany w rozkładach jazdy pojazdów transportu zbiorowego oraz aktualizację danych związanych z charakterystyką zachowań transportowych mieszkańców.

Model mikroskopowy opracowany w programie PTV Vissim obejmujący swoim zasięgiem cały obszar objęty systemem TRISTAR został wyposażony w narzędzia pozwalające na niemal bezpośredni import danych z modelu makroskopowego, symulowanie pracy systemu sterowania ruchem na poziomie lokalnym według algorytmu EPICS uwzględniając pracę systemu obszarowego BALANCE. Dzięki temu możliwe staje się:

- \* Dokonywanie ocen w zakresie analiz planistycznych:
  - zmian w organizacji ruchu i geometrii skrzyżowań/odcinków w obszarze Systemu Sterowania Ruchem,
  - wielowariantowe analizy wpływu rozbudowy układu drogowego na System Sterowania Ruchem;
- \* Dokonywanie w zakresie analiz operacyjnych:
  - ocena jakości bieżącego sterowania sygnalizacją świetlną poprzez odpowiednie wskaźniki (np. straty czasu, liczba zatrzymań),
  - ocena wprowadzanych zmian dla systemu sterowania ruchem poprzez symulacje obszaru z uwzględnieniem systemu sterowania,
  - weryfikacja wyników algorytmu wyboru optymalnego programu sygnalizacji świetlnej z biblioteki w zależności od ruchu oraz jego aktualizacja.
  - analiza konieczności zmian w logice sterowania dla planowanych wydarzeń o charakterze ogólnomiejskim.

Model będzie zasilany następującymi danymi z systemu obejmującymi:

- natężenie ruchu z podziałem na strukturę kierunkową i rodzajową,
- częstotliwość kursowania pojazdów TZ,



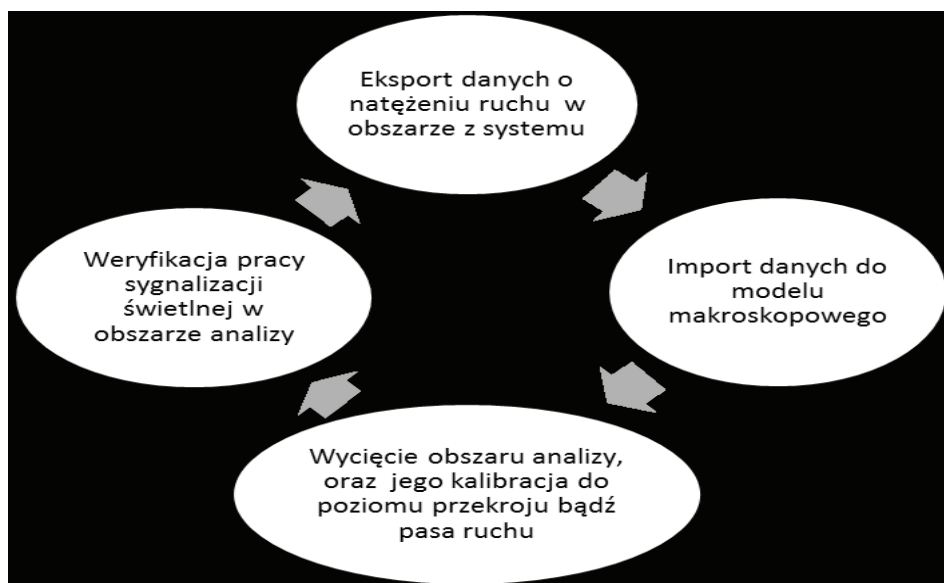
– prędkości chwilowe,

Przewiduje się zasilanie modelu danymi wprowadzanymi manualnie przez użytkowników, logiki sterowania ruchem, algorytmów doboru optymalnego cyklu, wyboru realizowanego programu oraz parametrów obszarowego systemu sterowania ruchem.

Model mezoskopowy opracowywany jest w pakiecie SATURN. Istnieje tutaj możliwość zastosowania wielu typów rozkładów ruchu: oprócz deterministycznych i stochastycznych zastosowanie znajdują rozkłady elastyczne, które pozwalają na sprzężenie zwrotne pomiędzy procesem rozkładu ruchu w sieci ulicznej oraz popytem na transport (istnieje zatem możliwość uwzględnienia tłumienia popytu, również w przypadku zmiany kosztów podróży), co pozwala na wiarygodne analizy dotyczące np. dostępności i pojemności obszarów. Pakiet, podobnie jak moduł TflowFuzzy w przypadku oprogramowania VISUM, umożliwia estymację macierzy na podstawie pomiarów ruchu, co w niektórych uzasadnionych przypadkach znacznie ogranicza zakres niezbędnych do modelowania danych. Pakiet umożliwia symulację systemu sterowania ruchem poprzez zastosowanie różnych metod optymalizacji sygnalizacji na pojedynczym skrzyżowaniu lub wielu skrzyżowaniach z uwzględnieniem dynamicznego rozkładu ruchu na obszarze całego miasta. Modele sieci i popytu transportowego można bezpośrednio importować do programu DRACULA. Pakiet umożliwia dostosowanie parametrów symulacji i rozkładu do warunków polskich poprzez definiowanie przez operatora takich wielkości jak luki czasowe, czy też natężenia nasycenia. Zaletą programu jest wierniejsze odzwierciedlenie zachowań transportowych poprzez możliwość zastosowania symulacji równoległe z rozkładem ruchu bazującym jedynie na cechach połączeń między węzłami. Uwzględnia się dynamiczne zmiany na skrzyżowaniach w sieci, co wpływa na wyniki rozkładu oraz parametry globalne. Model mezoskopowy umożliwia obliczenie szczegółowych wyników dotyczących np. parametrów ruchu (globalnych i na poszczególnych skrzyżowaniach lub odcinkach sieci), zużycia paliwa, emisji spalin, elementów krytycznych sieci transportowej. Zaletą modelu będzie możliwość szybkiego wykonywania analiz dla potrzeb operacyjnych. Model wykorzystywany będzie również w celach planowania transportu (np. analizy wyboru typu skrzyżowania, organizacji ruchu na skrzyżowaniach, parametrów wejściowych sygnalizacji świetlnej).

### 3. Przykładowe analizy z wykorzystaniem MST

Wykorzystanie danych z systemu TRISTAR odgrywa ważną rolę w zarządzaniu ruchem w Gdyni. Dzięki zasileniu modelu makro i mikroskopowych informacjami np. o natężeniu ruchu możliwa staje się bieżąca weryfikacja i korekta algorytmu sterowania ruchem w celu jego optymalizacji. Schemat postępowania w tym zakresie przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Schemat postępowania w analizach operacyjnych w Systemie TRISTAR

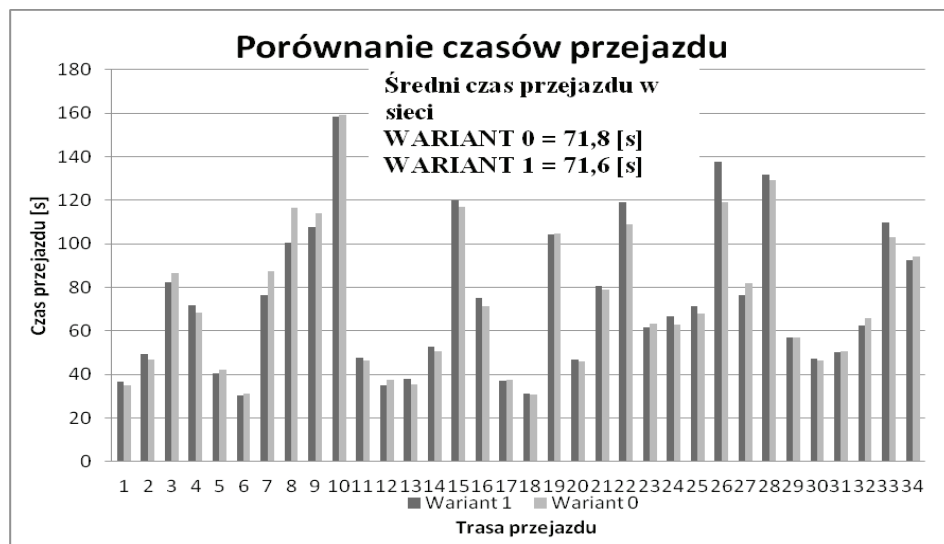
Źródło: opracowanie własne

Poniżej jako przykład przedstawiono kroki postępowania w przypadku oceny wpływu poprawy obsługi ruchu pieszego na skrzyżowaniu ul. 10 Lutego i Władysława IV poprzez wydłużenie sygnału zielonego na jednym z przejść, z jednoczesnym wdrożeniem alternatywnych przejść międzyfazowych pozwalających na poprawę przepustowości wlotów ul. 10 Lutego. Analiza obejmowała zakresem trzy skrzyżowania z sygnalizacją świetlną w ciągu 10 Lutego:

1. Jako pierwszy krok wyeksportowano dane o natężeniu ruchu ze stacji pomiaru ruchu zlokalizowanych na skrzyżowaniach. Analiza została wykonana dla godziny 15-16 dnia 12.03.2014 r.
2. Pochodzące z systemu TRISTAR dane o natężeniu ruchu oraz relacjach skrętnych w przypadku kiedy na wlocie skrzyżowania struktura kierunkowa pasów ruchu pozwala na ich jednoznaczne określenie, zostały zaimportowane do modelu makroskopowego. Po zasileniu modelu danymi, określono obszar analizy oraz dokonano jego kalibracji, na poziomie odcinków oraz relacji skrętnych. Takie podejście minimalizuje ryzyko zbyt dużej ingerencji w macierz podróży, przez co uległyby zmianie kierunki podróżowania, a co za tym idzie symulacja nie odzwierciedlałaby w pełni pracy analizowanego obszaru. Otrzymane wyniki modelu makroskopowego dla analizowanego obszaru zaimportowano do modelu mikroskopowego.
3. W modelu mikroskopowym dokonano symulacji pracy analizowanego obszaru dla obu wariantów programu sygnalizacji. Analiza uwzględniająca prace systemu BALANCE pozwoliła za pomocą wskaźników takich jak czas podróży, czy też średnie straty czasu, określić wpływ zmian na jakość obsługi pojazdów. Projektowane zmiany nie wpłynęły negatywnie na pracę

analizowanego obszaru oraz zostały wdrożone na skrzyżowanie poprawiając poziom obsługi pieszych.

Poniżej, na rys. 4. przedstawiono porównanie czasów przejazdu dla wszystkich możliwych tras przejazdów wraz z średnią dla całego analizowanego obszaru.



Rys. 4. Porównanie średnich czasów przejazdów w ciągu ul. 10 Lutego dla dwóch wariantów sterownia

*Źródło: opracowanie własne*

Wykres ukazuje zmiany w czasie podróży pomiędzy wszystkimi możliwymi trasami przejazdu pojazdów w analizowanym obszarze przy realizacji programu faworyzującego pieszych (Wariant 1). Widoczny jest wpływ projektowanych zmian, na czasy przejazdu poszczególnymi trasami, jednak sumaryczny średni czas przejazdu w sieci jest praktycznie identyczny w porównaniu do programu z gorszą obsługą pieszych (Wariant 0). Wyniki analizy pozwoliły stwierdzić, że projektowane zmiany usprawniające obsługę pieszych oraz relacje skrzyżowania z ul. 10 Lutego we Władysławie IV nieznacznie poprawiły warunki ruchu w analizowanym obszarze. Praca przewoźowa liczona w pojazdogodzinach wyniosła dla W1 120,46 pojgodz. a dla W0 121,29 pojgodz. co oznacza, że wszystkie pojazdy w sieci do wykonania tej samej pracy po wprowadzeniu zmian potrzebowały o 0,6% mniej czasu.

W przypadku zastosowania modelu mezoskopowego, analizy w drugim kroku (przed importem danych do modelu mikroskopowego) prowadzone będą na modelu sieci całego miasta, co gwarantuje uwzględnienie dynamiki zmian w rozkładzie ruchu.

#### 4. Podsumowanie

Jednym z najważniejszych elementów procesu zarządzania ruchem jest planowanie. W przypadku zintegrowanego systemu zarządzania transportem TRISTAR położono szczególny nacisk na kwestię modelowania transportu, które umożliwi wykorzystanie modeli zarówno w celach planistycznych, jak i operacyjnych. Zintegrowanie w Systemie Planowania Ruchu modeli transportu (MST), zasilanych danymi źródłowymi i danymi do kalibracji z poszczególnych modułów systemu TRISTAR pozwoli na sprawne i szybkie przeprowadzanie analiz transportowych oraz przyczyni się do redukcji kosztów poprzez ograniczenie wymaganego zakresu Kompleksowych Badań Ruchu oraz eliminację konieczności prowadzenia badań natężeń ruchu w przypadku analiz służących tymczasowym lub w niektórych przypadkach docelowym zmianom organizacji ruchu. Intensyfikacja wdrożeń z zakresu ITS, którą obserwujemy w ostatnich latach w polskich miastach oraz planowane wdrożenie Krajowego Systemu Zarządzania Ruchem stwarza szerokie możliwości wykorzystania danych z systemów do zasilania modeli ruchu.

#### Bibliografia

- [1] Jamroz K., Oskarbski J., Gumińska L., Kustra W., Zastosowanie wielopoziomowego modelu ruchu dla systemu TRISTAR. Gdańsk 2012.
- [2] Jamroz K., Romanowska A., Birr K., Maciasz K., Zawisza, M., Metodyka budowy prognostycznego modelu transportowego na przykładzie miasta Gdańska. Gdańsk 2012.
- [3] Miszewski M., Analiza funkcjonowania i możliwości usprawnień transportu zbiorowego w Gdyni z zastosowaniem programu VISUM. Praca dyplomowa magisterska złożona w Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2012.
- [4] Opis modelu DRIVERS, Qumak S.A., 2013.
- [5] Preferencje i zachowania komunikacyjne mieszkańców Gdyni w 2010 r. Raport., Zarząd Komunikacji Miejskiej, Gdynia, 2010/
- [6] Projekt funkcjonalny Modułu Priorytetów dla Transportu Zbiorowego (MPTZ) w Zintegrowanym Systemie Zarządzania Ruchem TRISTAR, QUMAK S.A., 2013.
- [7] Projekt Hurtowni Danych, Qumak S.A., 2013.
- [8] Projekt organizacji i wykorzystani Integrycyjnej Bazy Danych systemu TRISTAR.
- [9] Projekt koncepcyjny Modułu Wykrywania Zdarzeń Drogowych, Qumak S.A., 2014.
- [10] VS-pCoq – Instrukcja użytkownika, Qumak S.A., 2011.
- [11] VTnet – Instrukcja obsługi, GEVAS Software, 2012.