

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Typ dokumentu Numer dokumentu	Dokumentacja projektowa		
			
Wskaźniki efektywności funkcjonowania Inteligentnego Systemu Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach – stan między inwestycyjny			
Nazwa projektu	Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach		
Numer Umowy	Umowa 87/DDA/2019 z dn. 08.08.2019 r.		
	Imię i Nazwisko	Data	Podpis
Zatwierdził			
Opracował	dr inż. Daniel Kubek, dr inż. Paweł Więcek, mgr inż. Jan Aleksandrowicz, mgr inż. Konrad Chwastek, mgr inż. Aleksandra Strózek	30.12.2021	

Wersja 2.0

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Yunex Sp. z o.o. (Wykonawca) dokumentacji projektowej, Gmina Miasto Tychy (Zamawiający) nabywa prawa autorskie majątkowe do przekazanej dokumentacji projektowej wyłącznie na polach eksploatacji wskazanych w paragrafie 14 Umowy 87/DDA/2019 z dnia 08.08.2019 roku. Wykonawca zastrzega, że wykorzystywanie dokumentacji przez Zamawiającego na innych polach eksploatacji jest niedozwolone.”

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Historia zmian:

Historia zmian		
DATA WYDANIA	ZATWIERDZONY PRZEZ	PODSUMOWANIE ZMIAN
10.11.2021	Daniel Kubek	Wersja 1.0 (wskaźnik A)
30.11.2021	Daniel Kubek	Wersja 2.0 (końcowa)

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Spis treści

1. Cel i zakres opracowania	4
2. Wskaźnik rzeczywistego czasu przejazdu – wskaźnik A	6
2.1. Analiza ogólna empirycznego czasu przejazdu	6
2.2. Warunki w trakcie realizacji badań ruchu	11
2.3. Oszacowanie wskaźnika A	11
3. Wskaźnik poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego – wskaźnik B	16
4. Wskaźnik zużycia energii elektrycznej i paliw płynnych – wskaźnik D	32
5. Literatura	37
6. Spis rysunków	37
7. Spis tabel	37
8. Załącznik A	39

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Wykaz skrótów

ANPR (Automatic Number Plate Recognition) - Automatyczne Rozpoznawanie Tablic Rejestracyjnych

BRD – Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego

ITS – Inteligentny System Transportowy

ITS Tychy - Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach

RMSE – pierwiastek błędu średniokwadratowego

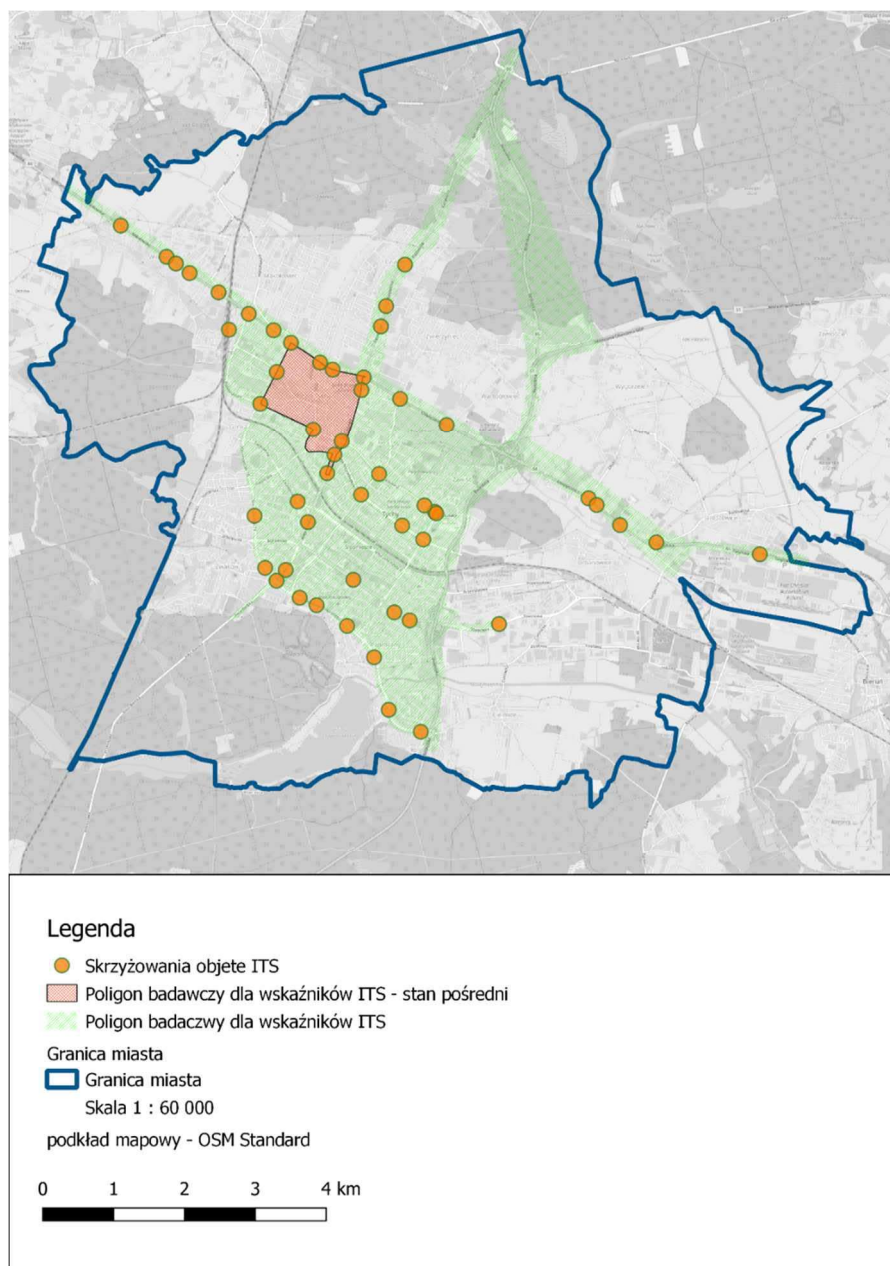
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

1. Cel i zakres opracowania

Celem niniejszego dokumentu jest prezentacja wyników obliczeń dla wskaźnikowa efektywności A, B i D systemu sterowania ruchem realizowanego w ramach projektu pt. Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach, czyli odpowiednio wskaźnika rzeczywistego czasu przejazdu w sieci drogowej, wskaźnika poziomu bezpieczeństwa ruchu oraz wskaźnika zużycia energii elektrycznej i paliw płynnych. Zakres badania pomiarowego odnosił się do części obszaru objętego obszarowym sterowaniem ruchu w ramach ITS Tychy i był on ograniczony do tzw. kwartału miasta. Kwartał miasta jest rozumiany jako obszar miasta na który się składa ciągi ulic Mikołowska – Oświęcimska, Katowicka – Bielska oraz obszar ograniczony ulicami Mikołowska – Oświęcimska – Grota Roweckiego – Cienista – Begonii – Budowlanych – Burschego. Obszar jest zaprezentowany na rysunku 1.

Obliczenia zostały wykonane zgodnie z metodyką wyznaczania poszczególnych wskaźników opisanej w dokumencie: Dokumentacja projektowa nr A24705-S700-K13, Siemens Mobility (dalej „metodyka”).

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



Rysunek 1 Kwartal miasta Tychy objęty analizą.

Źródło: Siemens, Dokumentacja projektowa nr A24705-S700-MOL4578-K03

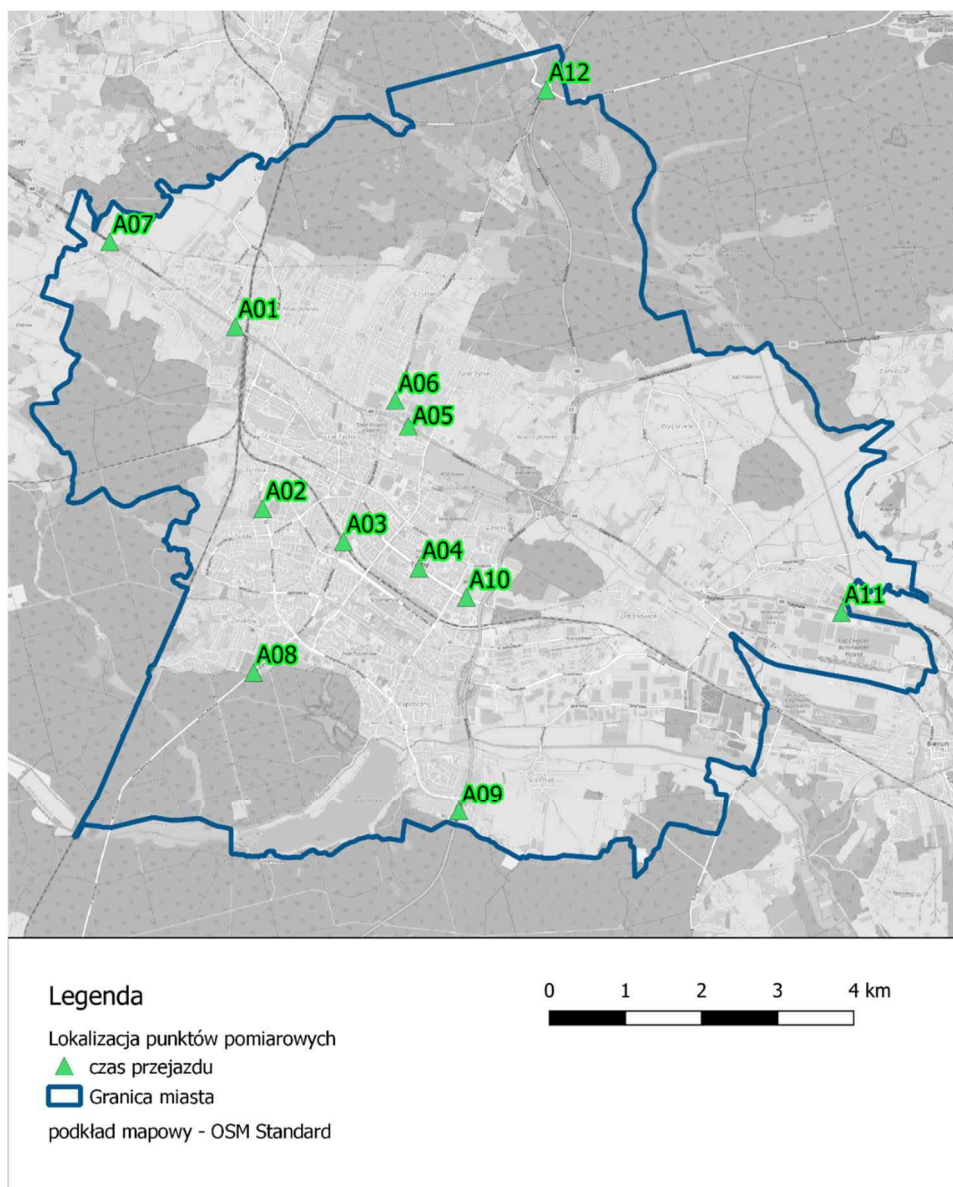
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

2. Wskaźnik rzeczywistego czasu przejazdu – wskaźnik A

2.1. Analiza ogólna empirycznego czasu przejazdu

Referencyjne badania czasu przejazdu w sieci drogowej zostały przeprowadzone 17 września 2019 roku i zostały one wykonane metodą identyfikacji tablic rejestracyjnych (szczegółowe wyniki zawarto w raporcie pt. „Dokumentacja projektowa – Badania ruchu. Tom 1 i 2”, nr dokumentu A24705-S700-MOL4578-K03) – dalej badania ruchu dla stanu przedinwestycyjnego. Badania weryfikacyjne, dla stanu między inwestycyjnego, zostały przeprowadzone 6 października 2021 roku i również zostały one wykonane metodą identyfikacji tablic rejestracyjnych (szczegółowe wyniki zawarto w raporcie pt. „Dokumentacja projektowa – Badania ruchu”, nr dokumentu A24705-S700-MOL4578-K03 z dnia 26.10.2021) – dalej pomiary dla stanu między inwestycyjnego. Oba badania zostały wykonane tą samą technologią pomiarową, czyli poprzez wykorzystanie kamer ANPR zainstalowanych w punktach pomiarowych, które miały za zadanie rejestrację czasu przejazdu pomiędzy wybranymi punktami pomiarowymi. W przypadku badań dla stanu między inwestycyjnego poligon badawczy został zawężony do punktów pozwalających na weryfikację czasu przejazdu w kwartale miasta. Łącznie, wskazano 6 punktów pomiarowych i zbadano 30 relacji pomiędzy punktami pomiarowymi (poprzez relację rozumie się dowolną trasę przejazdu łączącą dwa punkty pomiarowe). Dodatkowo we wskazanych punktach pomiarowych dokonano trzy godzinnych pomiarów ruchu z podziałem na 7 kategorii pojazdów w interwale 15-sto minutowym. Oba badania przeprowadzono dla pory porannej (od 06:15 do 09:15) i popołudniowej (od 14:15 do 17:15). Lokalizację kamer ANPR prezentuje rysunek 2.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



Rysunek 2 Lokalizacja punktów pomiarowych

Źródło: Siemens, Dokumentacja projektowa nr A24705-S700-MOL4578-K03

Z uwagi, że zbiór pomiarów dla stanu przedinwestycyjnego i dla stanu między inwestycyjnego jest różny, do dalszej analizy wybrano tylko dane dla relacji, które występują w obu badaniach. Są to pomiary pomiędzy punktami: A01-A02, A01-A03, A01-A04, A01-A05, A01-A06, A02-A01, A02-A05, A02-A06, A03-A01, A03-A05, A03-A06, A04-A01, A04-A05, A04-A06, A05-A01, A05-A02, A05-A03, A05-A04, A05-A06,

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

A06-A01, A06-A02, A06-A03, A06-A04, A06-A05. Łącznie są to 24 relacje, zatem $R^R = \{1, \dots, 24\}$ oraz $R^P = \{1, \dots, 24\}$.

Liczba wykonanych obserwacji dla pomiarów stanu przedinwestycyjnego dla obu pór doby to 10 849, a dla stanu między inwestycyjnego to 9 704 pomiarów czasu przejazdów. Mając na uwadze, że kamera ANPR rejestrowała również pojazdy, które poza przejazdem przez sieć drogową, mogły tymczasowo parkować, do analizy wzięto tylko czasy przejazdu, których wartość była mniejsza niż wartość progowa określona przez podmiot wykonujący pomiary ruchu. Przyjmując to założenie, do dalszej analizy wybrano 9 034 pomiarów dla stanu przedinwestycyjnego, a dla stanu między inwestycyjnego wybrano 8 352 pomiarów.

Zgodnie z metodyką, dla wybranej próby badawczej, dla każdej relacji oraz osobno dla każdej pory doby, wyznaczono ogólną statystykę, tj. wartość średnią, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności czasu przejazdu oraz pierwszy, drugi i trzeci kwartył. Wyniki zaprezentowano w tabelach 1 oraz 2. Zapis relacja A01-A02 oznacza przejazd pomiędzy punktem pomiarowym A01, a punktem pomiarowym A02.

Przyjęte oznaczenia (zgodnie z opisem metodyki):

R^{R2} – zbiór relacji dla szczytu porannego,

R^{P2} – zbiór relacji dla szczytu popołudniowego,

$\bar{P}_i^{R2}$ – wartość średnia czasu przejazdu dla i-tej relacji dla szczytu porannego [min],

$\bar{P}_j^{P2}$ – wartość średnia czasu przejazdu dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [min],

$\bar{S}_i^{R2}$ – wartość odchylenia standardowego pomiarów dla i-tej relacji dla szczytu porannego [min],

$\bar{S}_j^{P2}$ – wartość odchylenia standardowego pomiarów dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [min],

$Q1_i^{R2}$ – pierwszy kwartył czasu przejazdu dla i-tej relacji dla szczytu porannego [min],

$Q1_j^{P2}$ – pierwszy kwartył przejazdu dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [min],

Me_i^{R2} – mediana czasu przejazdu dla i-tej relacji dla szczytu porannego [min],

Me_j^{P2} – mediana czasu przejazdu dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [min],

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

$Q3_i^{R2}$ – trzeci kwartył czasu przejazdu dla i-tej relacji dla szczytu porannego [min],

$Q3_j^{P2}$ – trzeci kwartył przejazdu dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [min],

V_i^{R2} – wartość współczynnika zmienności czasu przejazdu dla i-tej relacji dla szczytu porannego [%],

V_j^{P2} – wartość współczynnika zmienności czasu przejazdu dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [%].

Tabela 1 Statystyka opisowa dla pomiaru czasu przejazdu dla szczytu porannego – stan między inwestycyjny

Relacja	$\bar{P}_i^{R2}$	$\bar{S}_i^{R2}$	$Q1_i^{R2}$	Me_i^{R2}	$Q3_i^{R2}$	V_i^{R2}
A01-A02	5,28	0,70	4,79	5,20	5,60	13,2%
A01-A03	9,41	2,07	7,94	9,07	10,23	22,0%
A01-A04	10,34	2,02	8,91	9,75	11,27	19,5%
A01-A05	4,90	1,11	4,10	4,77	5,50	22,7%
A01-A06	4,60	1,05	3,79	4,35	5,28	22,8%
A02-A01	9,39	2,78	7,35	8,88	10,80	29,6%
A02-A05	11,07	2,52	8,95	11,57	12,93	53,1%
A02-A06	9,08	1,91	7,76	8,78	10,73	22,8%
A03-A01	12,26	3,29	9,95	12,20	13,52	22,8%
A03-A05	5,01	1,50	3,96	4,95	5,63	21,0%
A03-A06	5,30	1,86	4,13	5,11	6,02	26,9%
A04-A01	13,69	2,67	11,95	14,07	15,81	0,9%
A04-A05	10,41	3,07	7,52	10,20	13,53	35,1%
A04-A06	7,33	1,80	5,94	7,12	8,07	19,5%
A05-A01	8,73	2,78	6,30	8,42	10,82	13,8%
A05-A02	9,27	1,25	8,85	9,16	10,37	47,2%
A05-A03	5,92	1,86	4,67	5,53	7,02	29,5%
A05-A04	8,42	0,94	7,81	8,27	9,24	24,6%
A05-A06	1,44	0,75	1,02	1,17	1,46	31,9%
A06-A01	7,37	3,16	5,10	6,15	8,75	13,5%
A06-A02	10,13	1,98	9,16	10,22	11,63	31,4%
A06-A03	5,47	1,92	4,12	5,22	6,42	11,1%
A06-A04	7,02	1,69	5,65	6,88	8,30	52,3%
A06-A05	2,71	1,19	1,96	2,56	3,23	42,9%
Średnia	7,69	1,91	6,32	7,48	8,84	26,3%

Źródło: opracowanie własne

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Tabela 2 Statystyka opisowa dla pomiaru czasu przejazdu dla szczytu popołudniowego – stan między inwestycyjny

Relacja	$\bar{P}_j^{P2}$	$\bar{S}_j^{P2}$	$Q1_j^{P2}$	Me_j^{P2}	$Q3_j^{P2}$	V_j^{P2}
A01-A02	6,11	0,95	5,45	6,02	6,58	15,6%
A01-A03	10,34	2,52	8,54	9,75	11,95	24,4%
A01-A04	10,81	1,52	9,59	10,72	12,00	14,1%
A01-A05	4,82	1,05	4,03	4,75	5,38	21,8%
A01-A06	4,64	1,10	3,87	4,54	5,18	23,7%
A02-A01	12,60	5,92	7,87	9,68	16,33	47,0%
A02-A05	9,50	1,45	8,86	8,98	10,83	15,3%
A02-A06	10,63	1,88	9,22	11,42	11,85	17,7%
A03-A01	16,18	4,82	11,44	16,17	20,15	29,8%
A03-A05	5,58	1,26	4,63	5,50	6,40	22,5%
A03-A06	6,02	1,41	4,92	5,92	6,95	23,5%
A04-A01	12,81	2,76	10,45	11,92	14,99	21,6%
A04-A05	7,03	2,09	5,38	6,17	8,60	29,7%
A04-A06	7,10	2,04	5,75	6,82	8,24	28,7%
A05-A01	13,88	8,82	6,80	10,47	20,04	63,5%
A05-A02	10,78	2,68	8,32	9,30	13,46	24,9%
A05-A03	6,95	1,65	5,82	6,70	8,04	23,8%
A05-A04	8,79	1,87	6,90	9,04	10,32	21,3%
A05-A06	1,91	1,59	1,08	1,33	1,83	83,4%
A06-A01	12,14	7,70	6,33	9,65	15,91	63,4%
A06-A02	9,17	1,05	8,41	9,18	9,93	11,5%
A06-A03	6,46	1,50	5,52	6,36	7,43	23,2%
A06-A04	8,18	1,72	6,95	7,54	9,62	21,0%
A06-A05	3,66	2,03	2,20	2,98	4,54	55,6%
Średnia	8,59	2,56	6,60	7,95	10,27	30,3%

Źródło: opracowanie własne

Szczyt poranny średnio charakteryzuje się niższą zmiennością czasu przejazdu niż zmienność czasu przejazdu w warunkach ruchu w porze popołudniowej. Widoczne to jest w wartościach współczynnika zmienności oraz pomiędzy różnicami w wartości średnich oraz wartości mediany (większa różnica pomiędzy tymi parametrami, oznacza występowanie większej liczby wartości odstających w pomiarach). Dodatkowo czas przejazdu w szczycie popołudniowym również jest średnio o prawie 12% większy. Największy wzrost czasu przejazdu można zaobserwować na relacjach A06-A01, A03-A01 oraz A02-A06. Są to wzrosty powyżej 25% w stosunku do pory porannej. Natomiast największy spadek w czasie

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

przejazdu, bo prawie 41%, występuje na relacji A04-A05. Dla pozostałych relacji zmienność w odniesieniu do szczytu porannego jest w zakresie +/-15%.

2.2. Warunki w trakcie realizacji badań ruchu

Porównywanie dwóch pomiarów ruchu wymaga, aby odbywały się one w podobnych warunkach, wykorzystując tę samą technologię pomiaru oraz wymagane jest, aby poligon badawczy w obu badaniach dokładnie się pokrywał [2]. W przypadku badań dla stanu między inwestycyjnego ostatnie dwa warunki zostały zachowane, natomiast w przypadku realizacji pomiarów dla stanu między inwestycyjnego wystąpiły zaburzenia, które należy wziąć pod uwagę przy interpretacji pomiarów. W przypadku pomiarów dla stanu między inwestycyjnego, istotnymi czynnikami zmieniającymi warunki pomiaru były:

- warunki pogodowe – pomiary dla stanu przedinwestycyjnego były realizowane w słoneczny dzień, natomiast w trakcie realizacji pomiarów porównawczych występowały opady deszczu,
- prowadzone prace budowlane oraz zmieniona organizacja ruchu w związku z nimi – skrzyżowanie Mikołowska – Asnyka (ID = 52), które jest wewnątrz poligonu badawczego, oraz skrzyżowania w bliskim sąsiedztwie kwartału, czyli: Grota-Roweckiego – Edukacji (ID=40) oraz Grota-Roweckiego – al. Niepodległości (ID=35).

Czynniki te mogą istotnie wpłynąć na warunki ruchu drogowego, stąd jeżeli celem przeprowadzonych badań jest określenie efektywności wdrożonego sterowania ruchem w ramach systemu ITS Tychy, należy wziąć tę kwestię pod uwagę. Dodatkowo w pracy [1] badania wykazały istotny wpływ warunków pogodowych, zwłaszcza długotrwałego opadu deszczu na zachowania kierowców przy wjeździe na skrzyżowanie, co przekłada się to na natężenie nasycenia na pasie ruchu.

2.3. Oszacowanie wskaźnika A

Zgodnie z metodyką wybór miary opisującej próby badawcze powinien odbyć się na podstawie współczynnika zmienności. Zgodnie z wynikami (tabela 1 i 2 oraz tabela 1 i 2 z załącznika A) w większości przypadków zmienność czasu przejazdu jest powyżej 30% wobec czego, miarą statystyczną opisującą

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

próby badawcze będzie mediana. Formalnie wskaźnik opisujący i-tą relację dla pomiaru porannego dla stanu między inwestycyjnego można zapisać: $W_i^{R2} = Me_i^{R2}, \forall i \in R^R$ oraz dla stanu przedinwestycyjnego: $W_i^R = Me_i^R, \forall i \in R^R$. Analogicznie dla szczytu popołudniowego, wskaźnik opisujący przeciętny czas można zapisać: dla stanu między inwestycyjnego można zapisać: $W_i^{P2} = Me_i^{P2}, \forall i \in R^P$ oraz dla stanu przedinwestycyjnego: $W_i^P = Me_i^P, \forall i \in R^P$. Wielkość zmiany dla szczytu porannego Z_i^R i szczytu popołudniowego Z_j^P oraz stopień zmiany czasu przejazdu W_A^R oraz W_A^P zaprezentowano w tabeli 3. Wartość pozytywna oznacza pogorszenie czasu przejazdu, natomiast wartość ujemna oznacza poprawę.

Pomijając czynniki wymienione w podrozdziale 2.2., wskaźniki określające stopień zmiany wskazują, że nie nastąpiła ani poprawa, ani pogorszenie czasu przejazdu w kwartale. Natomiast nakładając na to czynniki, jakie mogły mieć wpływ na ruch drogowy, można przypuszczać, że nie pogorszenie czasu pojazdu, przy niemiernodajnych warunkach pomiaru, może wskazywać na pozytywne efekty sterowania przez system ITS Tychy. Natomiast należy podkreślić, że zgodnie z metodyką wykonywania pomiarów [2] oraz mając na uwadze cel opracowania, jednoznaczna interpretacja wyników powinna być dokonana przez Zamawiającego.

Sam stopień zmiany dla wskaźnika A bazuje na wartości średniej ze zbioru zmian. Analizując poszczególne wartości Z_i^R i Z_i^P można zauważyć ich wysokie zróżnicowanie. Natomiast z punktu widzenia użytkownika istotnym jest nie jak się procentowo zmieni czas przejazdu tylko o ile. Wartość np. 10% będzie mieć inne znaczenie dla trasy przejazdu trwającej średnio 4 minuty, a zupełnie inne dla trasy z czasem przejazdu trwającego 25 minut. Dlatego dla poszerzenia obrazu otrzymanych rezultatów sprawdzono jakie wystąpiły różnice bezwzględne. Wyniki analizy prezentują rysunki 3 oraz 4. Analiza jest oparta o wartości median.

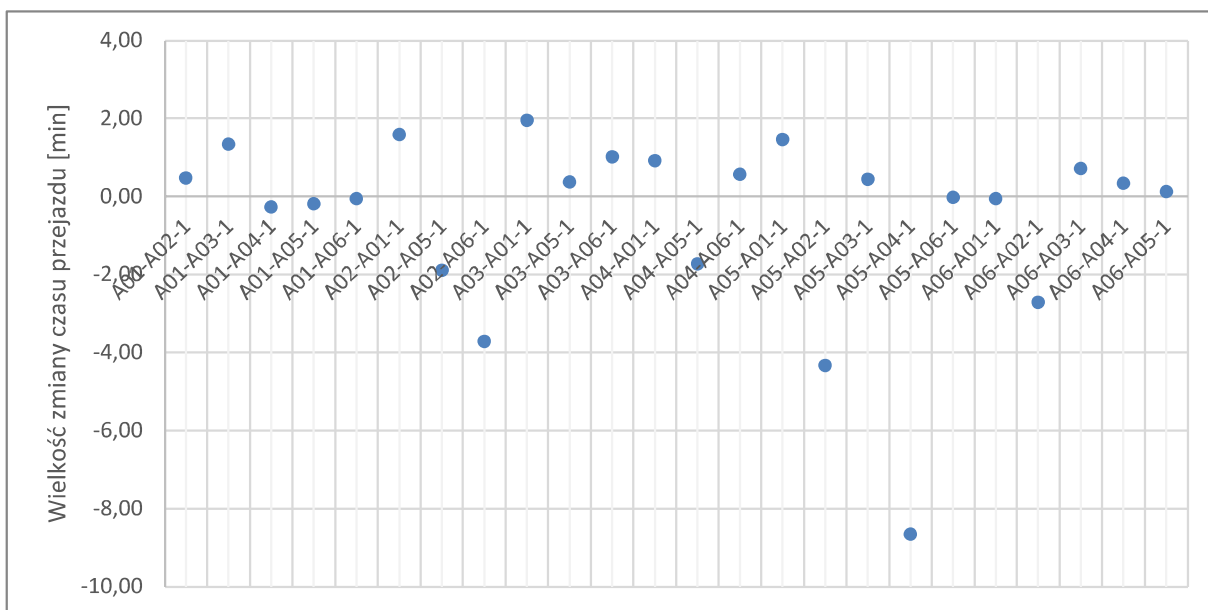
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Tabela 3 Wielkość zmian dla każdej relacji oraz wskaźniki zmiany w czasie przejazdu dla obu pór doby

Relacja	z_i^R	z_j^P	Średnia z z_i^R i z_j^P
A01-A02	10,2%	19,9%	15,1%
A01-A03	17,4%	17,7%	17,5%
A01-A04	-2,7%	5,9%	1,6%
A01-A05	-3,7%	5,2%	0,7%
A01-A06	-1,1%	3,2%	1,0%
A02-A01	21,8%	6,2%	14,0%
A02-A05	-14,0%	-51,5%	-32,7%
A02-A06	-29,7%	6,5%	-11,6%
A03-A01	19,1%	21,3%	20,2%
A03-A05	8,2%	28,9%	18,6%
A03-A06	25,1%	37,1%	31,1%
A04-A01	7,0%	-19,3%	-6,1%
A04-A05	-14,4%	-65,0%	-39,7%
A04-A06	8,7%	6,0%	7,3%
A05-A01	21,1%	-5,6%	7,7%
A05-A02	-32,1%	-41,8%	-36,9%
A05-A03	8,9%	25,4%	17,1%
A05-A04	-51,1%	-38,5%	-44,8%
A05-A06	-1,4%	15,9%	7,3%
A06-A01	-0,8%	-3,0%	-1,9%
A06-A02	-20,9%	-37,6%	-29,3%
A06-A03	15,9%	32,7%	24,3%
A06-A04	5,2%	10,2%	7,7%
A06-A05	5,1%	24,3%	14,7%
Średnia	$W_A^R = 0,1\%$	$W_A^P = 0,2\%$	

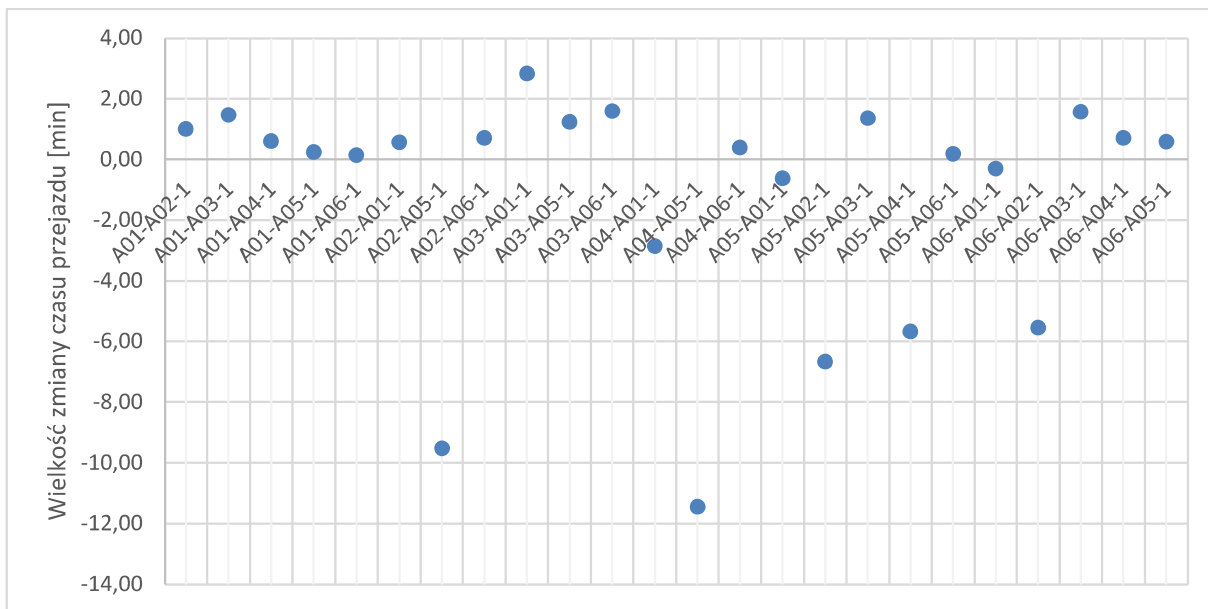
Źródło: opracowanie własne

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



Rysunek 3 Wykres wielkości zmian dla czasu przejazdu w porze porannej.

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 4 Wykres wielkości zmian dla czasu przejazdu w porze popołudniowej.

Źródło: opracowanie własne

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Analizując powyższe wyniki można zaobserwować, że w obu przypadkach wystąpiło dużo małych zwiększeń w czasie przejazdu i kilka pozytywnych zmian, ale o znacznej wartości. Dokładnie są to dla szczytu porannego: 13 wzrostów czasu przejazdu o średniej wartości 0,87 [min] i 11 redukcji czasu przejazdu o średniej 2,14 [min], dla szczytu popołudniowego: 16 wzrostów czasu przejazdu o średniej wartości 0,95 [min] i 8 redukcji czasu przejazdu o średniej wartości 5,33 [min]. Dodatkowo, zakładając, że wybrana miara statystyczna, jaką jest mediana, opisuje przeciętny czas podróży kierowcy na danej relacji, to suma tych wartości dla wszystkich relacji będzie opisywać przeciętny, łączny czas podróży w kwartale. Porównując te wartości otrzyma się obraz, o ile przeciętnie więcej lub mniej były realizowane podróże w wartościach bezwzględnych.

Z metodycznego punktu widzenia taka dodatkowa analiza powinna uzupełniać analizę zaproponowaną w metodyce¹, ponieważ wartości względne, jakim jest procentowa zmiana, zaciemniają kontekst i mogą prowadzić do niepoprawnych wniosków. Przyjmując takie założenia łączny przeciętny czas przejazdu dla stanu przedinwestycyjnego wyniósł: 191,8 minuty i 218,4 minuty odpowiednio dla pory porannej i popołudniowej, odpowiednio. Natomiast suma przeciętnego czasu przejazdu dla stanu między inwestycyjnego wyniosła: 179,6 minuty i 190,9 minuty dla pory porannej i popołudniowej, odpowiednio. Oznacza to, że przeciętna bezwzględna zmiana w łącznym czasie przejazdu wynosi: -6,4% oraz -12,6%, odpowiednio dla pory porannej i popołudniowej. Wyniki te mogą wskazywać, że analizując kwartał miasta Tychy całościowo, wdrożone rozwiązanie przynosi korzyści. Jednak podobnie jak w poprzedniej analizie, mając na uwadze okoliczności wykonywania pomiarów, z punktu widzenia metodycznego, nie można jednoznacznie potwierdzić czy zanegować tej tezy.

¹ Względny wymiar wskaźników został opracowany w metodyce zgodnie w wymaganiami określonymi w Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia (nr referencyjny: 1/DDA/35/18).

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

3. Wskaźnik poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego – wskaźnik B

Zgodnie z przyjętą metodyką badawczą wartość wskaźnika poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego wyraża się wzorem:

$$W_B = \alpha \cdot W_o + \beta \cdot W_s + \gamma \cdot W_{p_{kol}} + \delta \cdot W_{stat}$$

gdzie:

W_B – względny wskaźnik oceny poziomu bezpieczeństwa,

W_s – składowa wskaźnika dla skrzyżowań,

W_o – składowa wskaźnika dla odcinków drogowych,

$W_{p_{kol}}$ – składowa wskaźnika dla przejazdów kolejowych,

W_{stat} – składowa wskaźnika na podstawie danych statystycznych,

α, β, γ – wagi.

Przyjęte wagi dla komponentów muszą spełniać poniższe warunki:

$$\alpha + \beta + \gamma = 1$$

$$\alpha, \beta, \gamma \in R_+$$

Wyznaczenie wartości elementów składowej wskaźnika dla odcinków drogowych

$$W_o = v_{o1} \cdot \frac{S_{w_o}^a}{S_{w_o}^b} + v_{o2} \cdot \left(\frac{S_{k_o}^a}{S_{k_o}^b} \right)^{-1}$$

Gdzie:

$S_{w_o}^a$ – składnik opisujący wypadkowość dla odcinków drogowych w poinwestycyjnym okresie analizy,

$S_{w_o}^b$ – składnik opisujący wypadkowość dla odcinków drogowych w przedinwestycyjnym okresie analizy,

$S_{k_o}^a$ – składnik opisujący stan nawierzchni analizowanych odcinków drogowych odpowiednio w okresie poinwestycyjnym,

$S_{k_o}^b$ – składnik opisujący stan nawierzchni analizowanych odcinków drogowych odpowiednio w okresie przedinwestycyjnym,

v_{o1}, v_{o2} – wewnętrzne wagi korygujące.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Wewnętrzne wagi korygujące spełniają warunki:

$$v_{o1} + v_{o2} = 1$$

$$v_{o1}, v_{o2} \in R_+$$

Wyznaczenie wartości elementów składowej opisującej wypadkowość dla odcinków drogowych

$$S_{w_o}^a = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^n c_j \cdot w_{oij}^a}{\sum_{i=1}^I L_i \cdot \sqrt{q_i^a}}$$

$$S_{w_o}^b = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^n c_j \cdot w_{oij}^b}{\sum_{i=1}^I L_i \cdot \sqrt{q_i^b}}$$

$S_{w_o}^a$ – składnik opisujący wypadkowość dla odcinków drogowych w poinwestycyjnym okresie analizy,

$S_{w_o}^b$ – składnik opisujący wypadkowość dla odcinków drogowych w przedinwestycyjnym okresie analizy,

$(i = 1, 2, 3, \dots, I)$ – indeks opisujący liczbę odcinków drogowych w analizie,

$(j = 1, 2, 3, \dots, J)$ – indeks opisujący kategorię wypadków i zdarzeń drogowych uwzględnionych w analizie,

w_{oij}^a – liczba zdarzeń drogowych kategorii j-tej na i-tym odcinku drogowym w poinwestycyjnym okresie analizy,

w_{oij}^b – liczba zdarzeń drogowych kategorii j-tej na i-tym odcinku drogowym w przedinwestycyjnym okresie analizy,

L_i – długość i-tego odcinka drogowego [km],

q_i^a, q_i^b – uśrednione natężenia ruchu pojazdów w okresie szczytu porannego i popołudniowego na i-tym odcinku drogowym odpowiednio w okresie analizy poinwestycyjnym i przedinwestycyjnym,

c_j – waga korygująca dla j-tej kategorii zdarzeń drogowych.

Wagi korygujące dla tego składnika spełniają warunek:

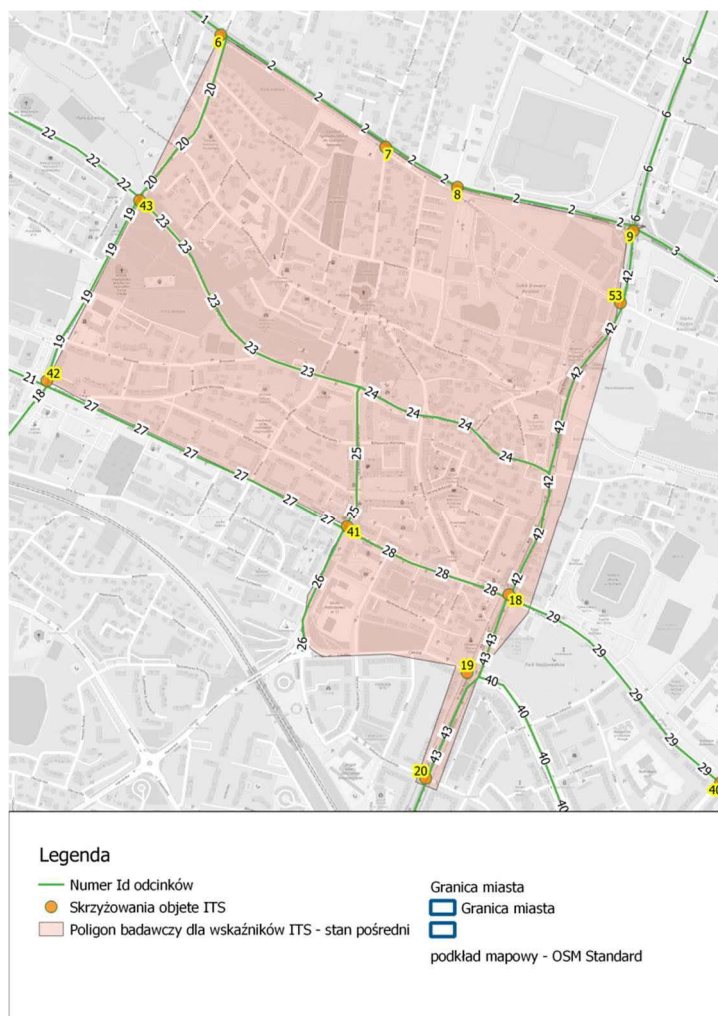
$$\sum_{j=1}^n c_j = 1$$

$$c_j \in [0, 1]$$

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Okres brany pod uwagę w analizie stanu między inwestycyjnego obejmował miesiąc październik w roku 2021. W celu wyznaczenia wartości wskaźnika oraz określenia poziomu odniesienia do okresu przedinwestycyjnego, składowe cząstkowe zostały ponownie obliczone w rozpatrywanym obszarze w miesiącu październik 2019. Do wyznaczenia składników cząstkowych wskaźnika wybrano następujące kategorie zdarzeń drogowych oraz odpowiadające im wagi korygujące (Tab. 4). Przyjęte wartości są tożsame z wagami dla okresu przedinwestycyjnego.

Lokalizację odcinków drogowych oraz skrzyżowań poddanych analizie dla stanu między inwestycyjnego przedstawia Rys.5 .



Rysunek 5 Lokalizacja odcinków drogowych oraz skrzyżowań poddanych analizie dla stanu między inwestycyjnego

Źródło: opracowanie własne

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Tabela 4 Kategorie rozpatrywanych zdarzeń drogowych

Lp.	Kategoria	Oznaczenie	Waga c_j
1	Kolizje drogowe	w_{oi1}	0,01
2	Zdarzenia z udziałem lekko rannych	w_{oi2}	0,01
3	Zdarzenia z udziałem ciężko rannych	w_{oi3}	0,57
4	Zdarzenia ze skutkiem śmiertelnym	w_{oi4}	0,41

Źródło: opracowanie własne

Szczegółowy wykaz odcinków drogowych objętych analizą wraz z wymaganymi parametrami niezbędnymi do wyznaczenia składowych wskaźnika odpowiednio w okresie przed- oraz między inwestycyjnym przedstawiają tabela 5 oraz tabela 6. Natomiast w tabeli 7 zaprezentowano wartości cząstkowe składowej wypadkowości odcinków drogowych dla stanu między inwestycyjnego oraz przedinwestycyjnego.

Tabela 5 Wykaz oraz wypadkowość dla analizowanych odcinków drogowych (kwartał miasta) w okresie przedinwestycyjnym

Lp.	Odcinek	Długość odcinka [km]	Liczba kolizji	Liczba lekko rannych	Liczba ciężko rannych	Liczba zabitych	Średnie natężenie ruchu [poj.]
27	Budowlanych II	0,825	2	0	0	0	778
28	Budowlanych III	0,438	1	0	0	0	1053
26	Begonii	0,319	1	0	0	0	843
43	al. Bielska II	1,032	1	0	0	0	1292
42	al. Bielska I	0,959	4	0	1	0	1731
2	Mikołowska II	1,109	3	0	0	0	1560
20	Biskupa Burschego II	0,47	0	0	0	0	864
19	Biskupa Burschego I	0,523	0	0	0	0	784
23	Ks. Augusta Hlonda	0,734	0	0	0	0	494
24	Boczna, Sienkiewicza	0,52	1	0	0	0	494
25	Innocentego Bocheńskiego	0,369	5	0	0	0	591

Źródło: opracowanie własne

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Tabela 6 Wykaz oraz wypadkowość dla analizowanych odcinków drogowych (kwartał miasta) w okresie między inwestycyjnym

Lp.	Odcinek	dł. odcinka [km]	L. Kolizji	L. lekko rannych	L. ciężko rannych	L. zabitych	Średnie natężenie ruchu [poj.]
27	Budowlanych II	0,825	1	0	0	0	786
28	Budowlanych III	0,438	4	0	0	0	909
26	Begonii	0,319	1	0	0	0	635
43	al. Bielska II	1,032	2	0	0	0	1344
42	al. Bielska I	0,959	2	0	0	0	1387
2	Mikołowska II	1,109	0	0	0	0	1489
20	Biskupa Burschego II	0,47	2	0	0	0	768
19	Biskupa Burschego I	0,523	0	0	0	0	723
23	Ks. Augusta Hlonda	0,734	0	0	0	0	484
24	Boczna, Sienkiewicza	0,52	1	0	0	0	342
25	Innocentego Bocheńskiego	0,369	2	0	0	0	484

Źródło: opracowanie własne

Tabela 7 Wartości cząstkowe składowej wypadkowości odcinków drogowych dla stanu między inwestycyjnego oraz przedinwestycyjnego

Lp.	Odcinek	Stan między inwestycyjny		Stan przedinwestycyjny	
		$\sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{oij}^a$	$L_i \cdot \sqrt{q_i^a}$	$\sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{oij}^b$	$L_i \cdot \sqrt{q_i^b}$
27	Budowlanych II	0,01	23,13	0,02	23
28	Budowlanych III	0,04	13,20	0,01	14
26	Begonii	0,01	8,04	0,01	9
43	al. Bielska II	0,02	37,83	0,01	37
42	al. Bielska I	0,02	35,71	0,61	40
2	Mikołowska II	0	42,80	0,03	44
20	Biskupa Burschego II	0,02	13,02	0	14
19	Biskupa Burschego I	0	14,06	0	15
23	Ks. Augusta Hlonda	0	16,15	0	16
24	Boczna, Sienkiewicza	0,01	9,61	0,01	12
25	Innocentego Bocheńskiego	0,02	8,12	0,05	9

Źródło: opracowanie własne

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Na podstawie powyższych danych wartości cząstkowe składowej dla odcinków drogowych odpowiednio dla stanu przed- oraz między inwestycyjnego wynoszą:

$$S_{w_o}^b = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{o_{ij}}^b}{\sum_{i=1}^I L_i \cdot \sqrt{q_i^b}} = \frac{0,75}{233} = 0,00322$$

$$S_{w_o}^a = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{o_{ij}}^a}{\sum_{i=1}^I L_i \cdot \sqrt{q_i^a}} = \frac{0,15}{221,667} = 0,000677$$

Wyznaczenie elementów składowej opisujących stan nawierzchni

$$S_{k_o}^b = \frac{\sum_{i=1}^I k_i^b L_i}{k_{max} \cdot \sum_{i=1}^I L_i}$$

$$S_{k_o}^a = \frac{\sum_{i=1}^I k_i^a L_i}{k_{max} \cdot \sum_{i=1}^I L_i}$$

Gdzie:

$S_{k_o}^a$ – składnik opisujący stan nawierzchni analizowanych odcinków drogowych objętych projektem, odpowiednio w okresie między inwestycyjnym,

$S_{k_o}^b$ – składnik opisujący stan nawierzchni analizowanych odcinków drogowych objętych projektem, odpowiednio w okresie przedinwestycyjnym,

k_i^b, k_i^a – punktowa ocena stanu i-tego odcinka drogowego odpowiednio w okresie analizy przedinwestycyjnym oraz między inwestycyjnym,

k_{max} – maksymalna ocena stanu nawierzchni,

L_i – długość i-tego odcinka drogowego [km].

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Na podstawie przeprowadzonej oceny stanu nawierzchni analizowanych odcinków drogowych zgodnie z przyjętą metodyką projektu uzyskano wartości cząstkowe składowe odpowiednio dla stanu przed oraz między inwestycyjnego, przedstawione w tabeli 8.

Tabela 8 Punktowa ocena odcinków drogowych dla stanu przed oraz między inwestycyjnego

Lp.	Odcinek	dł. odcinka [km]	Stan przedinwestycyjny		Stan między inwestycyjny	
			Punktowa ocena stanu nawierzchni k_i^b	$k_i^b L_i$	Punktowa ocena stanu nawierzchni k_i^a	$k_i^a L_i$
27	Budowlanych II	0,825	3	2,48	5	12,38
28	Budowlanych III	0,438	3	1,31	5	6,57
26	Begonii	0,319	3	0,96	5	4,79
43	al. Bielska II	1,032	2	2,06	5	10,32
42	al. Bielska I	0,959	3	2,88	5	14,39
2	Mikołowska II	1,109	4	4,44	5	22,18
20	Biskupa Burschego II	0,47	2	0,94	5	4,70
19	Biskupa Burschego I	0,523	3	1,57	5	7,85
23	Ks. Augusta Hlonda	0,734	2	1,47	5	7,34
24	Boczna, Sienkiewicza	0,52	4	2,08	5	10,40
25	Innocentego Bocheńskiego	0,369	3	1,11	5	5,54

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie danych z tabeli 8 wartości cząstkowe składowej opisującej stan nawierzchni w okresie przed- oraz między inwestycyjnym są równe:

$$S_{k_o}^b = \frac{\sum_{i=1}^I k_i^b L_i}{k_{max} \cdot \sum_{i=1}^I L_i} = \frac{21,287}{36,49} = 0,583$$

$$S_{k_o}^a = \frac{\sum_{i=1}^I k_i^a L_i}{k_{max} \cdot \sum_{i=1}^I L_i} = \frac{36,49}{36,49} = 1$$

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Na podstawie zbiorczych danych o wypadkowości dla miasta Tychy można stwierdzić, iż udział zdarzeń drogowych ze względu na stan nawierzchni był niewielki. Zdarzenia mające miejsce na odcinkach wskazujących na zły stan nawierzchni stanowiły bardzo niewielki udział. W związku z powyższym na podstawie odpowiednich proporcji wyznaczono wartości wewnętrznych wag korygujących v_{o1}, v_{o2} . Przyjęte wagi wynoszą odpowiednio $v_{o1} = 0,99$ oraz $v_{o2} = 0,01$.

Obliczona wartość składowej wskaźnika bezpieczeństwa dla odcinków drogowych jest równa:

$$W_o = v_{o1} \cdot \frac{S_{wo}^a}{S_{wo}^b} + v_{o2} \cdot \left(\frac{S_{ko}^a}{S_{ko}^b} \right)^{-1} = 0,99 \cdot \frac{0,000677}{0,00322} + 0,01 \cdot \left(\frac{1}{0,583} \right)^{-1} = 0,21$$

Wartość składowej W_o jest mniejsza od 1 zatem wskazuje na poprawę względem stanu przedinwestycyjnego.

Wyznaczenie wartości elementów składowej wskaźnika dla skrzyżowań drogowych oraz skrzyżowań z ruchem pieszych (przejść dla pieszych)

$$W_s = \left(\frac{S_{pk}^a}{S_{pk}^b} \right)^{-1} + \frac{S_{ws}^a}{S_{ws}^b} + \frac{S_{Lcz}^a}{S_{Lcz}^b} + \frac{S_{to}^a}{S_{to}^b}$$

Gdzie:

S_{pk}^a, S_{pk}^b – składnik opisujący liczbę relacji realizowanych bezkolizyjnie na skrzyżowaniach odpowiednio w okresie poinwestycyjnym oraz przedinwestycyjnym,

S_{ws}^a, S_{ws}^b – składnik opisujący wypadkowość dla skrzyżowań odpowiednio w okresie poinwestycyjnym oraz przedinwestycyjnym,

S_{Lcz}^b, S_{Lcz}^a – składnik opisujący liczbę przejazdów na sygnale czerwonym na przejściach dla pieszych na wybranych skrzyżowaniach odpowiednio w okresie przedinwestycyjnym oraz poinwestycyjnym,

S_{to}^a, S_{to}^b – składnik opisujący rodzaj oświetlenia oraz dodatkowe wyposażenie w elementy infrastruktury BRD na skrzyżowaniach z ruchem pieszym i przejściach dla pieszych, w tym przejściach dla pieszych odpowiednio w okresie poinwestycyjnym oraz przedinwestycyjnym

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Wykaz skrzyżowań drogowych oraz skrzyżowań z ruchem pieszym objętych analizą wraz z wymaganymi parametrami niezbędnymi do wyznaczenia składowych wskaźnika odpowiednio dla stanu przed- oraz między inwestycyjnego przedstawia Tabela 9 oraz Tabela 10. Analiza wypadkowości obejmowała kategorie zdarzeń drogowych tożsame z przyjętymi dla odcinków drogowych wraz z odpowiadającymi im wagami.

Tabela 9 Wykaz rozpatrywanych skrzyżowań oraz wartości częściowe składowej wskaźnika dla stanu przedinwestycyjnego

ID	Opis	Liczba Kolizji	Liczba lekko rannych	Liczba ciężko rannych	Liczba zabitych	pk_m^b	$t_{o_m}^b$	$\sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{s_{mj}}^b$
42	Budowlanych, Glinczańska	0	0	0	0	8	4	0
41	Budowlanych, Begonii	0	0	0	0	3	4	0
18	Budowlanych, al. Bielska, (Edukacji)	0	0	0	0	8	4	0
19	Cienista, al. Bielska, (Niepodległości)	0	0	0	0	6	4	0
53	Katowicka, Sadowa	1	0	0	0	2	1	0,01
9	Mikołowska, Katowicka	0	0	0	0	11	4	0
8	Mikołowska, Fiołków	0	0	0	0	2	4	0
7	Mikołowska, Powstańców	0	0	0	0	2	1	0
6	Mikołowska, Burschego	1	0	0	0	4	4	0,01
43	Burschego, Andersa	0	0	0	0	5	4	0

Źródło: opracowanie własne

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Tabela 10 Wykaz rozpatrywanych skrzyżowań oraz wartości cząstkowe składowej wskaźnika dla stanu między inwestycyjnego

ID	Opis	Liczba Kolizji	Liczba lekko rannych	Liczba ciężko rannych	Liczba zabitych	pk_m^a	$t_{o_m}^a$	$\sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{s_{mj}}^a$
42	Budowlanych, Glinczańska	0	0	0	0	8	4	0
41	Budowlanych, Begonii	0	0	0	0	6	4	0
18	Budowlanych, al. Bielska, (Edukacji)	0	0	0	0	8	5	0
19	Cienista, al. Bielska, (Niepodległości)	0	0	0	0	6	5	0
53	Katowicka, Sadowa	0	0	0	0	2	5	0
9	Mikołowska, Katowicka	2	1	0	0	11	4	0,03
8	Mikołowska, Fiołków	0	0	0	0	2	4	0
7	Mikołowska, Powstańców	0	0	0	0	2	2	0
6	Mikołowska, Burschego	0	0	0	0	11	4	0
43	Burschego, Andersa	0	0	0	0	5	5	0

Źródło: opracowanie własne

Wyznaczenie wartości składnika opisującego liczbę relacji realizowanych bezkolizyjnie na skrzyżowaniach odpowiednio dla stanu przed- oraz między inwestycyjnego

$$S_{pk}^b = \sum_{m=1}^M pk_m^b = 51$$

$$S_{pk}^a = \sum_{m=1}^M pk_m^a = 61$$

Wyznaczenie wartości składnika opisującego wypadkowość na skrzyżowaniach dla stanu przed- oraz między inwestycyjnego

$$S_{ws}^b = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{s_{mj}}^b = 0,02$$

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

$$S_{w_s}^a = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{smj}^a = 0,03$$

Wyznaczenie wartości składnika opisującego rodzaj oświetlenia oraz dodatkowe wyposażenie w elementy infrastruktury BRD na skrzyżowaniach z ruchem pieszym i przejściach dla pieszych dla stanu przed- oraz między inwestycyjnego

$$S_{t_o}^b = 1 - \frac{\sum_{m=1}^M t_{o_max}^b}{\sum_{m=1}^M t_{o_max}^a} = 1 - \frac{34}{50} = 1 - 0,68 = 0,32$$

$$S_{t_o}^a = 1 - \frac{\sum_{m=1}^M t_{o_max}^a}{\sum_{m=1}^M t_{o_max}^b} = 1 - \frac{42}{50} = 1 - 0,84 = 0,16$$

Wyznaczenie wartości składnika opisującego liczbę przejazdów na sygnale czerwonym dla stanu między inwestycyjnego

Ze względu na brak możliwości pozyskania danych na obecnym etapie projektu składowa ta nie będzie brana pod uwagę (składowa przyjmie wartość 1).

Wyznaczenie wartości składowej wskaźnika bezpieczeństwa dla skrzyżowań

Na podstawie wyznaczonych wartości składników, składowa wskaźnika dla stanu między inwestycyjnego jest odpowiednio równa:

$$W_s = \left(\frac{S_{pk}^a}{S_{pk}^b} \right)^{-1} + \frac{S_{w_s}^a}{S_{w_s}^b} + \frac{S_{Lcz}^a}{S_{Lcz}^b} + \frac{S_{t_o}^a}{S_{t_o}^b} = \left(\frac{61}{51} \right)^{-1} + \frac{0,03}{0,02} + 1 + \frac{0,16}{0,32} = 3,84$$

Otrzymana wartość składowej W_s jest mniejsza od wartości referencyjnej równej 4 (sytuacja, w której każdy ze składników nie wskazuje zarówno na poprawę jak i pogorszenie względem stanu przedinwestycyjnego). W związku z tym, dla składowej wskaźnika dotyczącej skrzyżowań odnotowano niewielką poprawę względem stanu przedinwestycyjnego.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Wyznaczenie wartości elementów składowej wskaźnika dla skrzyżowań z przejazdami kolejowymi

Wdrożone rozwiązanie nie było uruchomione w okresie przeprowadzania pomiarów, w związku z tym wartość składowej $W_{p_{kol}}$ jest równa 1 (brak zmiany w odniesieniu do stanu przedinwestycyjnego).

Wyznaczenie składowej wskaźnika na podstawie danych statystycznych

$$W_{stat} = \frac{zd^a}{zd^b}$$

gdzie:

zd^a, zd^b – współczynnik zdarzeń drogowych w stanie poinwestycyjnym oraz przedinwestycyjnym.

Wyznaczone wartości współczynników zdarzeń drogowych w okresie przed oraz między inwestycyjnym przedstawia tabela 11.

Tabela 11 Wartości cząstkowe współczynnika zdarzeń drogowych

				Liczba zdarzeń drogowych							
				Stan przedinwestycyjny (zd^b)				Stan między inwestycyjny (zd^a)			
				A	B	C	D	A	B	C	D
				kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity	kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity
Pora roku	c_{stat_1}	wiosna	1	-	-	-	-	-	-	-	-
		lato	2	-	-	-	-	-	-	-	-
		jesień	3	27	1	0	0	17	1	-	-
		zima	4	-	-	-	-	-	-	-	-

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

				Liczba zdarzeń drogowych							
				Stan przedinwestycyjny (zd ^b)				Stan między inwestycyjny (zd ^a)			
				A	B	C	D	A	B	C	D
				kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity	kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity
Warunki oświetleniowe	C _{stat2}	Światło dzienne	5	22	0	0	0	15	1	0	0
		Noc - droga oświetlona	6	4	1	0	0	1	0	0	0
		Noc - droga nieoświetlona	7	0	0	0	0	0	0	0	0
		Świt, zmrok	8	1	0	0	0	1	0	0	0
Warunki atmosferyczne	C _{stat2}	Dobre warunki atmosferyczne	9	25	1	0	0	13	1	0	0
		Opady deszczu	10	0	0	0	0	2	0	0	0
		Opady śniegu, gradu	11	0	0	0	0	0	0	0	0
		Silny wiatr	12	0	0	0	0	0	0	0	0
		Mgła, dym	13	0	0	0	0	0	0	0	0
		pozostałe	14	2	0	0	0	2	0	0	0

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

				Liczba zdarzeń drogowych							
				Stan przedinwestycyjny (zd ^b)				Stan między inwestycyjny (zd ^a)			
				A	B	C	D	A	B	C	D
				kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity	kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity
Stan nawierzchni	C _{stat3}	Mokra	15	0	0	0	0	3	0	0	0
		Sucha	16	27	1	0	0	14	1	0	0
		Oblodzenie, zaśnieżenie	17	0	0	0	0	0	0	0	0
		Kałuże, rozlewiska	18	0	0	0	0	0	0	0	0
		Koleiny, garby	19	0	0	0	0	0	0	0	0
		Dziury, wyboje	20	0	0	0	0	0	0	0	0
		Mokra; Dziury, wyboje	21	0	0	0	0	0	0	0	0
		pozostałe	22	0	0	0	0	0	0	0	0
Miejsce zdarzenia	C _{stat3}	Skrzyżowanie	23	8	0	0	0	6	1	0	0
		Odcinek prosty	24	19	1	0	0	11	0	0	0
		Przejście dla pieszych	25	0	0	0	0	0	0	0	0
		Przejazd dla rowerzystów	26	0	0	0	0	0	0	0	0

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

				Liczba zdarzeń drogowych							
				Stan przedinwestycyjny (zd ^b)				Stan między inwestycyjny (zd ^a)			
				A	B	C	D	A	B	C	D
				kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity	kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity
Ograniczenie prędkości	C _{stat4}	do 50 km/h	27	27	1	0	0	17	1	0	0
		51 do 70 km/h	28	0	0	0	0	0	0	0	0
		powyżej 70 km/h	29	0	0	0	0	0	0	0	0
Występowanie syg. świetlnej	C _{stat5}	tak	30	26	1	0	0	1	1	0	0
		nie	31	1	0	0	0	16	0	0	0
		sygnalizacja ostrzegawcza	32	0	0	0	0	0	0	0	0
Występ. oznak. poziomego	C _{stat6}	tak	33	24	1	0	0	13	1	0	0
		nie	34	3	0	0	0	4	0	0	0
	$\sum_{C_{stat4}=1}^U \sum_{n=1}^N lzd_{un}$			216	8	0	0	136	8	0	0
	c _j			0,01	0,01	0,57	0,41	0,01	0,01	0,57	0,41
	$q_j = \frac{lzd_j * c_j}{\sum y}$			0,009643	0,000357	0	0	0,009444	0,000556	0	0
				zd^b = q _{j=A} + q _{j=B} + q _{j=C} + q _{j=D}			0,01	zd^a = q _{j=A} + q _{j=B} + q _{j=C} + q _{j=D}			0,01

Źródło: opracowanie własne

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Na podstawie danych z tabeli 11. łączna wartość składowej W_{stat} jest równa:

$$W_{stat} = \frac{zd^a}{zd^b} = \frac{0,01}{0,01} = 1$$

W przypadku tej składowej nie odnotowano zarówno pogorszenia jak i poprawy względem stanu przedinwestycyjnego.

Wyznaczenie łącznej wartości wskaźnika poziomu bezpieczeństwa

Na potrzeby obliczenia łącznej wartości wskaźnika poziomu bezpieczeństwa w oparciu statystyki wypadkowości przyjęto wartości wag $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ przedstawione w tabeli 12.

Tabela 12 Przyjęte wartości wag dla składowych wskaźnika poziomu bezpieczeństwa

Waga	α	β	γ	δ
Wartość	0,76	0,22	0,01	0,01

Źródło: opracowanie własne

$$W_B = \alpha \cdot W_o + \beta \cdot W_s + \gamma \cdot W_{p_{kol}} + \delta \cdot W_{stat} = 0,76 \cdot 0,21 + 0,22 \cdot 3,84 + 0,01 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 = 1,02$$

Referencyjna wartość wskaźnika dla stanu przedinwestycyjnego wynosi 1,66 zatem w okresie między inwestycyjnym zaobserwowano wyraźny spadek wartości wskaźnika (o około 38%) świadczący o poprawie stanu bezpieczeństwa.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

4. Wskaźnik zużycia energii elektrycznej i paliw płynnych – wskaźnik D²

Zgodnie z przyjętą metodyką badawczą wartość wskaźnika zużycia energii elektrycznej i paliw płynnych wyraża się wzorem:

$$WBZEP = w_1 \frac{SF_o}{SF_p} + w_2 \frac{SE_o}{SE_p}$$

gdzie:

w_1, w_2 – wagi dla poszczególnych wskaźników pośrednich, przy założeniach, że:
 $w_1 + w_2 = 1$ oraz $w_1, w_2 \in [0,1]$

SF_p – sumaryczne zużycie paliw płynnych dla stanu przed realizacją inwestycji,

SF_o – sumaryczne zużycie paliw płynnych dla stanu po realizacji inwestycji,

SE_p – sumaryczne zużycie energii elektrycznej dla stanu przed realizacją inwestycji,

SE_o – sumaryczne zużycie energii elektrycznej dla stanu po realizacji inwestycji.

Obliczenie wskaźników pośrednich dla kwartału miasta było możliwe dzięki wykorzystaniu stworzonego modelu symulacyjnego systemu transportowego miasta Tychy oraz danych uzyskanych od miasta Tychy oraz Yunex Sp. z o.o.

Odwzorowana w modelu symulacyjnym organizacja ruchu obejmuje takie elementy, jak: prędkości dopuszczalne dla każdego odcinka drogowego, pierwszeństwa przejazdu na skrzyżowaniach, sygnalizację świetlną (z rzeczywistymi programami), oznakowanie poziome, w tym lokalizację przejść dla pieszych. W ramach organizacji ruchu zdefiniowano także jednokierunkowe odcinki drogowe i wydzielone pasy dla autobusów.

Przygotowując dane do modelu symulacyjnego zrealizowano także przegląd wszystkich linii autobusowych i trolejbusowych kursujących w mieście Tychy w czasie, dla którego realizowany był model. Na podstawie rozkładów jazdy oraz przebiegu linii w modelu wykonano odwzorowanie sieci miejskiego transportu

² W opracowaniu pominięto wpływ oświetlenia, który jest uwzględniony w metodyce. Element ten został pominięty ze względu na brak danych w tym zakresie w okresie realizacji tego etapu opracowania.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

zbiorowego. Uwzględnione zostały tylko te linie, które w godzinach symulacji odbywały swoje kursy oraz przejeżdżały w całości lub częściowo przez obszar kwartału miasta objęty modelem symulacyjnym.

Wskaźniki pośrednie dla zużycia paliw płynnych

Wykonany model symulacyjny w programie Aimsun wykorzystano do uzyskania wyników na temat zużycia paliw płynnych w systemie transportowym miasta Tychy (w kwartale objętym analizą). Wykorzystany został model Akcelika, który jest dostępny w programie. W modelu dla każdej z klas pojazdów utworzono pojazd ekwiwalentny oraz przypisano do niego charakterystyki niezbędne do wykonania obliczeń (zgodnie z przyjętą metodyką - Dokumentacja projektowa nr A24705-S700-K13, Siemens Mobility). Charakterystyki te zostały zaprezentowane w tabeli 13.

Tabela 13 Przyjęte charakterystyki dla pojazdów ekwiwalentnych dla każdej klasy pojazdów

	Samochody osobowe	Samochody dostawcze	Samochody ciężarowe	Samochody ciężarowe z przyczepą	Autobusy miejskie
F_1	5,2	6,3	16,2	21,6	27,5
F_2	7,0	8,4	21,8	29,0	36,9
v_m	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
F_i	0,3	0,4	1,1	1,4	1,8
c_1	0,4	0,5	1,3	1,8	2,3
c_2	0,3	0,3	0,8	1,1	1,4
Fd	0,5	0,7	1,7	2,3	2,9

Źródło: opracowanie własne

Charakterystyki dla każdej klasy pojazdów wprowadzono do programu. Dla objętego analizą kwartału, przeprowadzono symulacje stanu przed i po inwestycji w szczycie porannym i popołudniowym. Dla każdej klasy pojazdów uzyskano wyniki będące łącznym zużyciem paliw płynnych w godzinie symulacji. Wyniki zostały zaprezentowane w tabeli 14.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Tabela 14 Uzyskane wyniki zużycia paliw płynnych dla klas pojazdów dla szczytu porannego i popołudniowego

	Samochody osobowe	Samochody dostawcze	Samochody ciężarowe	Samochody ciężarowe z przyczepą	Autobusy miejskie
Zużycie paliw płynnych dla godziny szczytu porannego [litry] – przed inwestycją	980,95	79,50	53,45	74,75	44,60
Zużycie paliw płynnych dla godziny szczytu popołudniowego [litry] – przed inwestycją	1481,99	60,82	21,06	43,53	24,77
Zużycie paliw płynnych dla godziny szczytu porannego [litry] – po inwestycji	1032,88	1032,88	1032,88	1032,88	1032,88
Zużycie paliw płynnych dla godziny szczytu popołudniowego [litry] – po inwestycji	80,98	80,98	80,98	80,98	80,98

Źródło: opracowanie własne

Wskaźnik pośredni dla zużycia energii elektrycznej

Wskaźnik pośredni zużycia energii elektrycznej dla kwartału miasta objętego analizą, został obliczony dla zbioru danych jako ilość zużytych kilowatogodzin przez kursujące po mieście trolejbusy przed i po realizacji inwestycji.

Dane na temat zużycia energii elektrycznej przez trolejbusy w 2019 i 2021 roku uzyskano od Tyskich Linii Trolejbusowych Spółka z o.o. Zostały one opracowane pod kątem zużycia dobowego. Wartości zużycia dla kwartału przed i po realizacji inwestycji wyznaczono proporcjonalnie do długości tras w kwartale względem łącznej długości tras. Wyniki zaprezentowano w tabeli 15.

Tabela 15 Średnie dobowe zużycie energii elektrycznej przed i po realizacji inwestycji dla kwartału miasta

Zużycie energii elektrycznej w kwartale [kWh] – przed inwestycją	1347,94
Zużycie energii elektrycznej w kwartale [kWh] – po inwestycji	1505,96

Źródło: opracowanie własne

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Przy obliczeniach uwzględniono: liczbę wykonywanych kursów przez każdą linię, długość odcinków tras przebiegających w analizowanym kwartale, zmiany w liczbie linii i przebiegu tras pomiędzy 2019 a 2021 rokiem oraz odnotowane przez przewoźnika zużycie energii elektrycznej. Warto zauważyć, że w roku 2019 średnia dobową liczbą zrealizowanych wozokilometrów była niższa o 9% względem roku 2021. Odnotowany wzrost dobowego zużycia energii elektrycznej w kwartale miasta wyniósł 11,7%. Uwzględniając średni dobowy wzrost liczby zrealizowanych wozokilometrów wzrost zużycia energii elektrycznej w kwartale miasta wynosi 2,5%.

Wskaźnik bezpośredni zużycia energii elektrycznej i paliw płynnych

Na podstawie uzyskanych wyników (tabele 14 i 15) obliczono wartości następujących wskaźników pośrednich:

1. $SF_p = 865,42$ – sumaryczne zużycie paliw płynnych dla stanu przed realizacją inwestycji [litry],
2. $SE_p = 1347,94$ – sumaryczne zużycie energii elektrycznej dla stanu przed realizacją inwestycji [kWh].
3. $SF_o = 2758,41$ – sumaryczne zużycie paliw płynnych dla stanu po realizacji inwestycji [litry],
4. $SE_o = 1505,96$ – sumaryczne zużycie energii elektrycznej dla stanu po realizacji inwestycji [kWh].

Uzyskane wyniki posłużyły do wyznaczenia wartości wag wskaźników pośrednich:

$$w_1 = \frac{10 * (\frac{24}{l g f_o} S F_o + \frac{24}{l g f_p} S F_p)}{\frac{24}{l g e_o} S E_o + \frac{24}{l g e_p} S E_p + 10 * (\frac{24}{l g f_o} S F_o + \frac{24}{l g f_p} S F_p)}$$

$$w_2 = \frac{\frac{24}{l g e_o} S E_o + \frac{24}{l g e_p} S E_p}{\frac{24}{l g e_o} S E_o + \frac{24}{l g e_p} S E_p + 10 * (\frac{24}{l g f_o} S F_o + \frac{24}{l g f_p} S F_p)}$$

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

gdzie:

lgf_p – przedział czasu w godzinach, dla którego podana jest wartość zużycia paliw płynnych dla stanu przed inwestycją,

lgf_o – przedział czasu w godzinach, dla którego podana jest wartość zużycia paliw płynnych dla stanu po realizacji inwestycji,

lge_p – przedział czasu w godzinach, dla którego podana jest wartość zużycia energii elektrycznej dla stanu przed inwestycją,

lge_o – przedział czasu w godzinach, dla którego podana jest wartość zużycia energii elektrycznej dla stanu po realizacji inwestycji.

Uzyskano wartości wag:

$$w_1 = 0,9958$$

$$w_2 = 0,0042$$

Przy użyciu wskaźników pośrednich oraz wag kryteriów wyznaczono wartość wskaźnika bezpośredniego zużycia energii elektrycznej i paliw płynnych:

$$WBZEP = 0,9958 \frac{2758,41}{2865,42} + 0,0042 \frac{1505,96}{1347,94} = 0,96$$

Dla analizowane kwartału miasta uzyskano poprawę wskaźnika bezpośredniego zużycia energii elektrycznej i paliw płynnych o 4%.

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

5. Literatura

- [1] Chodur J., Ostrowski K., Charakterystyka strumienia ruchu w początkowym okresie sygnału zielonego na skrzyżowaniu z sygnalizacją, TMiR 05 2012.
- [2] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., Inżynieria ruchu drogowego Teoria i praktyka, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2014

6. Spis rysunków

RYSUNEK 1 KWARTAŁ MIASTA TYCHY OBJĘTY ANALIZĄ.....	5
RYSUNEK 2 LOKALIZACJA PUNKTÓW POMIAROWYCH.....	7
RYSUNEK 3 WYKRES WIELKOŚCI ZMIAN DLA CZASU PRZEJAZDU W PORZE PORANNEJ.	14
RYSUNEK 4 WYKRES WIELKOŚCI ZMIAN DLA CZASU PRZEJAZDU W PORZE POPOŁUDNIOWEJ.	14
RYSUNEK 5 LOKALIZACJA ODCINKÓW DROGOWYCH ORAZ SKRZYŻOWAŃ PODDANYCH ANALIZIE DLA STANU MIĘDZY INWESTYCYJNEGO	18

7. Spis tabel

TABELA 1 STATYSTYKA OPISOWA DLA POMIARU CZASU PRZEJAZDU DLA SZCZYTU PORANNEGO – STAN MIĘDZY INWESTYCYJNY.....	9
TABELA 2 STATYSTYKA OPISOWA DLA POMIARU CZASU PRZEJAZDU DLA SZCZYTU POPOŁUDNIOWEGO – STAN MIĘDZY INWESTYCYJNY	10
TABELA 3 WIELKOŚĆ ZMIAN DLA KAŻDEJ RELACJI ORAZ WSKAŹNIKI ZMIANY W CZASIE PRZEJAZDU DLA OBU PÓR DOBY	13
TABELA 4 KATEGORIE ROZPATRYWANYCH ZDARZEŃ DROGOWYCH	19
TABELA 5 WYKAZ ORAZ WYPADKOWOŚĆ DLA ANALIZOWANYCH ODCINKÓW DROGOWYCH (KWARTAŁ MIASTA) W OKRESIE PRZEDINWESTYCYJNYM	19
TABELA 6 WYKAZ ORAZ WYPADKOWOŚĆ DLA ANALIZOWANYCH ODCINKÓW DROGOWYCH (KWARTAŁ MIASTA) W OKRESIE MIĘDZY INWESTYCYJNYM	20
TABELA 7 WARTOŚCI CZĄSTKOWE SKŁADOWEJ WYPADKOWOŚCI ODCINKÓW DROGOWYCH DLA STANU MIĘDZY INWESTYCYJNEGO ORAZ PRZEDINWESTYCYJNEGO	20
TABELA 8 PUNKTOWA OCENA ODCINKÓW DROGOWYCH DLA STANU PRZED ORAZ MIĘDZY INWESTYCYJNEGO ...	22
TABELA 9 WYKAZ ROZPATRYWANYCH SKRZYŻOWAŃ ORAZ WARTOŚCI CZĄSTKOWE SKŁADOWEJ WSKAŹNIKA DLA STANU PRZEDINWESTYCYJNEGO.....	24
TABELA 10 WYKAZ ROZPATRYWANYCH SKRZYŻOWAŃ ORAZ WARTOŚCI CZĄSTKOWE SKŁADOWEJ WSKAŹNIKA DLA STANU MIĘDZY INWESTYCYJNEGO	25
TABELA 11 WARTOŚCI CZĄSTKOWE WSPÓŁCZYNNIKA ZDARZEŃ DROGOWYCH.....	27
TABELA 12 PRZYJĘTE WARTOŚCI WAG DLA SKŁADOWYCH WSKAŹNIKA POZIOMU BEZPIECZEŃSTWA.....	31
TABELA 13 PRZYJĘTE CHARAKTERYSTYKI DLA POJAZDÓW EKWIWALENTNYCH DLA KAŻDEJ KLASY POJAZDÓW..	33
TABELA 14 UZYSKANE WYNIKI ZUŻYCIA PALIW PŁYNNYCH DLA KLAS POJAZDÓW DLA SZCZYTU PORANNEGO I POPOŁUDNIOWEGO	34

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

TABELA 15 ŚREDNIE DOBOWE ZUŻYCIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ PRZED I PO REALIZACJI INWESTYCJI DLA KWARTAŁU MIASTA	34
--	----

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

8. Załącznik A

Poniżej przedstawiono wyniki analizy czasu przejazdu zmierzonego dla stanu przedinwestycyjnego. Jest to kopia wyników analizy w celu, łatwiejszego porównania rezultatów pomiarów dla stanu między inwestycyjnego. Pozostałe wyniki oraz szczegółowa analiza zostały zaprezentowane w raporcie pt. „Wskaźniki efektywności funkcjonowania Inteligentnego Systemu Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach – stan przedinwestycyjny”, wersja 4.0.

Przyjęte oznaczenia (zgodnie z opisem metodyki):

R^R – zbiór relacji dla szczytu porannego,

R^P – zbiór relacji dla szczytu popołudniowego,

$\bar{P}_i^R$ – wartość średnia czasu przejazdu dla i-tej relacji dla szczytu porannego [min],

$\bar{P}_j^P$ – wartość średnia czasu przejazdu dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [min],

$\bar{S}_i^R$ – wartość odchylenia standardowego pomiarów dla i-tej relacji dla szczytu porannego [min],

$\bar{S}_j^P$ – wartość odchylenia standardowego pomiarów dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [min],

$Q1_i^R$ – pierwszy kwartył czasu przejazdu dla i-tej relacji dla szczytu porannego [min],

$Q1_j^P$ – pierwszy kwartył przejazdu dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [min],

Me_i^R – mediana czasu przejazdu dla i-tej relacji dla szczytu porannego [min],

Me_j^P – mediana czasu przejazdu dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [min],

$Q3_i^R$ – trzeci kwartył czasu przejazdu dla i-tej relacji dla szczytu porannego [min],

$Q3_j^P$ – trzeci kwartył przejazdu dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [min],

V_i^R – wartość współczynnika zmienności czasu przejazdu dla i-tej relacji dla szczytu porannego [%],

V_j^P – wartość współczynnika zmienności czasu przejazdu dla j-tej relacji dla szczytu popołudniowego [%].

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Tab. 1 Statystyka opisowa dla pomiaru czasu przejazdu dla szczytu porannego – stan przedinwestycyjny

Relacja	$\bar{P}_i^R$	$\bar{S}_i^R$	$Q1_i^R$	Me_i^R	$Q3_i^R$	V_i^R
A01-A02	4,90	0,76	4,40	4,72	5,17	16%
A01-A03	7,95	1,52	7,00	7,72	8,73	19%
A01-A04	10,33	2,22	8,68	10,02	11,26	22%
A01-A05	5,12	1,27	4,17	4,95	5,88	25%
A01-A06	4,58	1,20	3,80	4,40	5,04	26%
A02-A01	8,27	2,67	6,28	7,29	9,75	32%
A02-A05	13,68	4,13	12,60	13,45	14,47	30%
A02-A06	12,39	4,85	8,81	12,49	15,51	39%
A03-A01	11,38	3,98	8,52	10,24	13,12	35%
A03-A05	4,86	1,49	3,73	4,57	5,68	31%
A03-A06	4,14	0,83	3,53	4,08	4,68	20%
A04-A01	13,25	3,29	10,12	13,14	15,38	25%
A04-A05	11,84	4,70	7,41	11,92	14,53	40%
A04-A06	7,97	3,82	5,13	6,55	9,78	48%
A05-A01	8,24	3,22	5,91	6,95	10,27	39%
A05-A02	14,90	4,87	11,00	13,48	19,28	33%
A05-A03	5,37	1,79	4,24	5,08	5,90	33%
A05-A04	14,89	8,73	5,80	16,92	22,87	59%
A05-A06	1,34	0,44	1,02	1,18	1,63	33%
A06-A01	7,19	2,72	5,21	6,20	9,28	38%
A06-A02	15,17	7,53	8,65	12,92	23,33	50%
A06-A03	4,52	1,06	3,77	4,50	5,08	24%
A06-A04	6,93	2,22	5,67	6,53	7,44	32%
A06-A05	2,73	1,55	1,70	2,43	3,13	57%
Średnia	8,41	2,95	6,13	7,99	10,30	33%

Źródło: opracowanie własne

Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Tab. 2 Statystyka opisowa dla pomiaru czasu przejazdu dla szczytu popołudniowego – stan przedinwestycyjny

Relacja	$\bar{P}_j^P$	$\bar{S}_j^P$	$Q1_j^P$	Me_j^P	$Q3_j^P$	V_j^P
A01-A02	5,14	0,73	4,67	5,02	5,37	14%
A01-A03	8,88	2,50	7,32	8,28	9,73	28%
A01-A04	11,70	3,80	8,91	10,12	15,30	32%
A01-A05	4,58	0,94	3,90	4,52	5,21	21%
A01-A06	4,44	0,87	3,85	4,40	4,93	20%
A02-A01	9,30	1,75	8,00	9,12	10,38	19%
A02-A05	18,55	5,85	14,41	18,51	23,55	32%
A02-A06	10,97	3,33	7,83	10,72	13,74	30%
A03-A01	13,80	2,68	11,76	13,33	15,73	19%
A03-A05	4,32	0,93	3,58	4,27	4,88	22%
A03-A06	4,35	0,86	3,72	4,32	4,88	20%
A04-A01	15,13	2,77	13,04	14,77	17,17	18%
A04-A05	15,86	7,39	6,73	17,62	22,26	47%
A04-A06	7,09	2,29	5,47	6,43	7,96	32%
A05-A01	11,35	2,24	9,73	11,09	12,83	20%
A05-A02	17,72	6,07	12,13	15,97	23,89	34%
A05-A03	5,46	1,31	4,64	5,34	5,93	24%
A05-A04	15,43	4,31	14,13	14,71	18,90	28%
A05-A06	1,24	0,36	1,00	1,15	1,37	29%
A06-A01	10,02	2,41	8,20	9,95	11,36	24%
A06-A02	14,93	6,57	8,02	14,72	21,00	44%
A06-A03	4,80	0,90	4,17	4,79	5,42	19%
A06-A04	7,77	3,00	5,56	6,84	8,63	39%
A06-A05	2,32	0,77	1,73	2,40	2,84	33%
Średnia	9,38	2,69	7,19	9,10	11,39	27%

Źródło: opracowanie własne