

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

Typ dokumentu	Dokumentacja projektowa		
Numer dokumentu			
			
Wskaźniki efektywności funkcjonowania Inteligentnego Systemu Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach – stan przed 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	10.11.2021	

Wersja 4.0

Niniejszy dokument został utworzony na potrzeby projektu ITS Tychy. Z chwilą przekazania przez Siemens Mobility 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
19.03.2021	Daniel Kubek	Wersja 1.0
31.03.2021	Daniel Kubek	Wersja 1.1
21.09.2021	Daniel Kubek	Wersja 2.0
11.10.2021	Daniel Kubek	Wersja 3.00 (końcowa)
10.11.2021	Daniel Kubek	Wersja 4.0 (modyfikacja)

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.....	5
2.1. Analiza ogólna empirycznego czasu przejazdu	5
2.2. Dopasowanie postaci funkcyjnej do empirycznego czasu przejazdu	16
2.2.1. Główne założenia	16
2.2.2. Klasyfikacja odcinków i ocena jednorodności danego poligonu badawczego	18
2.2.3. Agregacja danych pomiarowych.....	20
2.2.4. Oszacowanie i wybór funkcji oporu	20
2.2.5. Teoretyczne czasy przejazdu.....	28
2.2.6. Wykresy dopasowania modeli do danych empirycznych.....	40
3. Wskaźnik poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego	41
4. Wskaźnik zużycia energii elektrycznej i paliw płynnych	61
5. Spis rysunków	67
6. Spis tabel	67
7. Wykaz literatury.....	69
Załącznik 1.....	70

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

QVK – model wiążący natężenie, prędkość i gęstość potoku ruchu

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 wskaźników efektywności, jakimi charakteryzował się system transportu miasta Tychy w wrześniu 2019 r, tj. przed rozpoczęciem inwestycji pn. Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach. Jest to stan przed inwestycyjny, w odniesieniu do realizowanej inwestycji pt. „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach”. Zakres analizy obejmuje wskaźniki:

- rzeczywisty czas przejazdu w sieci drogowej,
- poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego,
- zużycie energii elektrycznej i paliw płynnych.

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

W przypadku wątpliwości w stosunku do otrzymanych wyników opartych o merytoryczne argumenty dopuszcza się możliwość wprowadzenia korekt w zakresie metodyki wyznaczenia poszczególnych wskaźników, które zostaną wdrożone w porozumieniu z Zamawiającym.

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

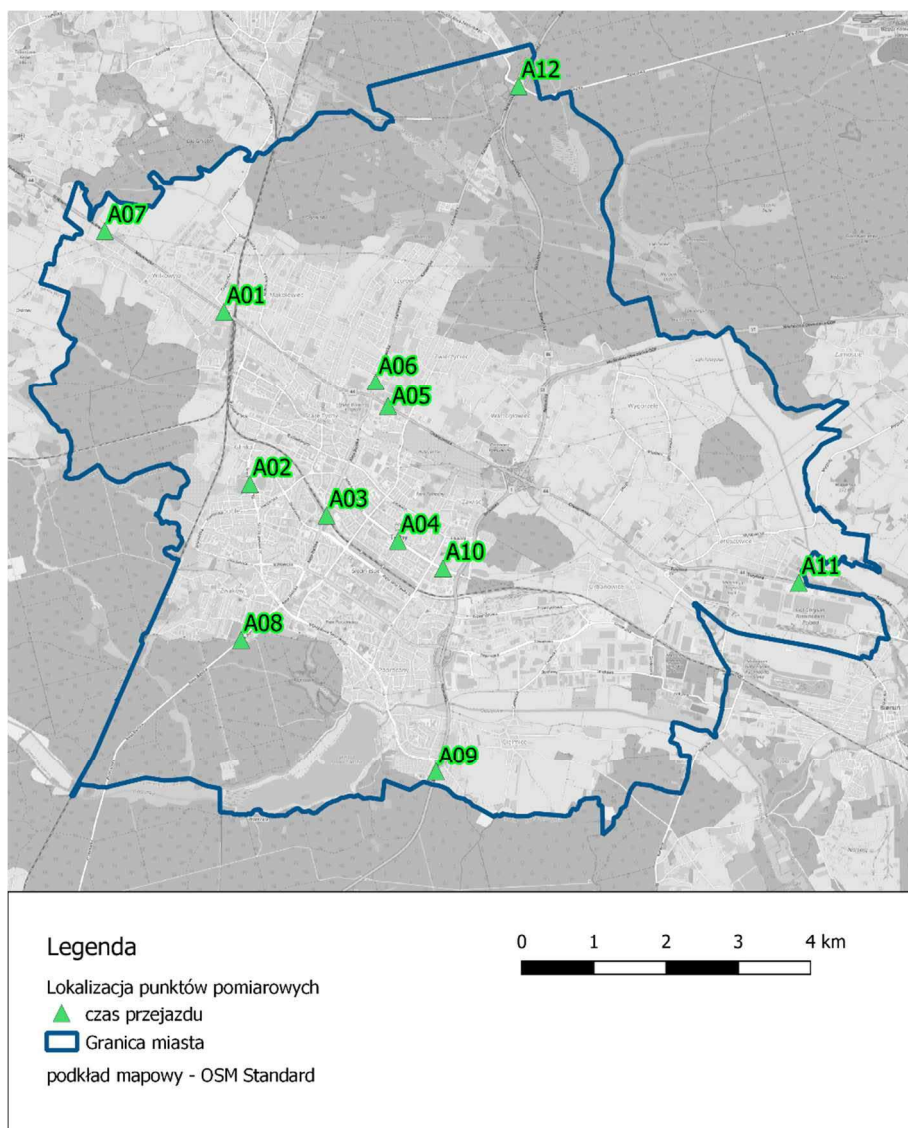
2. Wskaźnik rzeczywistego czasu przejazdu

2.1. Analiza ogólna empirycznego czasu przejazdu

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. Tom1 i 2”, nr dokumentu A24705-S700-MOL4578-K03). Badanie polegało na wykorzystaniu kamer ANPR zainstalowanych w punktach pomiarowych, które miały za zadanie rejestrację czasu przejazdu pomiędzy wybranymi punktami pomiarowymi. Łącznie, wskazano 12 punktów pomiarowych i zbadano 34 relacje 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). Lokalizacja kamer ANPR prezentuje rysunek 1.

Liczba wykonanych obserwacji, łącznie dla obu pór doby, to 30 682 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 dla danej relacji i danej pory doby, określona przez podmiot realizujący pomiary ruchu (szczegóły w raportach pt. „Dokumentacja projektowa – Badania ruchu. Tom1 i 2”, nr dokumentu A24705-S700-MOL4578-K03). Przyjmując to założenie, do dalszej analizy wybrano 27 888 pomiarów (odrzucono 9,1% pomiarów).

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



Rysunek 1 Lokalizacja punktów pomiarowych

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

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, z punktem pomiarowym A02.

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

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

Tabela 1 Statystyka opisowa dla pomiaru czasu przejazdu dla szczytu porannego

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	15,5%
A01-A03	7,95	1,52	7,00	7,72	8,73	19,2%
A01-A04	10,33	2,22	8,68	10,02	11,26	21,5%
A01-A05	5,12	1,27	4,17	4,95	5,88	24,8%
A01-A06	4,58	1,20	3,80	4,40	5,04	26,3%
A01-A07	2,60	0,38	2,33	2,57	2,83	14,4%
A02-A01	8,27	2,67	6,28	7,29	9,75	32,3%
A02-A05	13,68	4,13	12,60	13,45	14,47	30,2%
A02-A06	12,39	4,85	8,81	12,49	15,51	39,1%
A03-A01	11,38	3,98	8,52	10,24	13,12	35,0%
A03-A05	4,86	1,49	3,73	4,57	5,68	30,7%
A03-A06	4,14	0,83	3,53	4,08	4,68	20,2%
A03-A08	3,53	0,88	2,94	3,38	3,85	25,0%
A04-A01	13,25	3,29	10,12	13,14	15,38	24,8%
A04-A05	11,84	4,70	7,41	11,92	14,53	39,7%
A04-A06	7,97	3,82	5,13	6,55	9,78	48,0%
A04-A10	1,78	0,63	1,32	1,70	2,10	35,5%
A05-A01	8,24	3,22	5,91	6,95	10,27	39,1%
A05-A02	14,90	4,87	11,00	13,48	19,28	32,7%
A05-A03	5,37	1,79	4,24	5,08	5,90	33,2%
A05-A04	14,89	8,73	5,80	16,92	22,87	58,7%
A05-A06	1,34	0,44	1,02	1,18	1,63	33,0%
A06-A01	7,19	2,72	5,21	6,20	9,28	37,9%
A06-A02	15,17	7,53	8,65	12,92	23,33	49,6%
A06-A03	4,52	1,06	3,77	4,50	5,08	23,5%
A06-A04	6,93	2,22	5,67	6,53	7,44	32,1%
A06-A05	2,73	1,55	1,70	2,43	3,13	56,8%
A06-A12	5,14	0,73	4,73	5,07	5,38	14,1%
A07-A01	2,58	0,34	2,33	2,55	2,82	13,1%
A08-A03	3,85	0,86	3,29	3,72	4,20	22,5%
A09-A12	6,57	0,91	5,90	6,40	7,11	13,8%
A10-A04	1,78	0,55	1,33	1,72	2,15	30,7%
A12-A06	5,09	0,76	4,65	4,98	5,32	14,9%
A12-A09	6,84	1,14	6,02	6,65	7,50	16,7%
Średnia	7,11	2,30	5,35	6,78	8,54	29,5%

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

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	14,2%
A01-A03	8,88	2,50	7,32	8,28	9,73	28,1%
A01-A04	11,70	3,80	8,91	10,12	15,30	32,5%
A01-A05	4,58	0,94	3,90	4,52	5,21	20,5%
A01-A06	4,44	0,87	3,85	4,40	4,93	19,5%
A01-A07	2,64	0,33	2,38	2,62	2,85	12,4%
A02-A01	9,30	1,75	8,00	9,12	10,38	18,8%
A02-A05	18,55	5,85	14,41	18,51	23,55	31,6%
A02-A06	10,97	3,33	7,83	10,72	13,74	30,3%
A03-A01	13,80	2,68	11,76	13,33	15,73	19,5%
A03-A05	4,32	0,93	3,58	4,27	4,88	21,6%
A03-A06	4,35	0,86	3,72	4,32	4,88	19,7%
A03-A08	6,49	1,57	5,49	6,42	7,48	24,3%
A04-A01	15,13	2,77	13,04	14,77	17,17	18,3%
A04-A05	15,86	7,39	6,73	17,62	22,26	46,6%
A04-A06	7,09	2,29	5,47	6,43	7,96	32,3%
A04-A10	1,88	0,54	1,44	1,87	2,30	28,4%
A05-A01	11,35	2,24	9,73	11,09	12,83	19,7%
A05-A02	17,72	6,07	12,13	15,97	23,89	34,3%
A05-A03	5,46	1,31	4,64	5,34	5,93	23,9%
A05-A04	15,43	4,31	14,13	14,71	18,90	27,9%
A05-A06	1,24	0,36	1,00	1,15	1,37	28,8%
A06-A01	10,02	2,41	8,20	9,95	11,36	24,0%
A06-A02	14,93	6,57	8,02	14,72	21,00	44,0%
A06-A03	4,80	0,90	4,17	4,79	5,42	18,8%
A06-A04	7,77	3,00	5,56	6,84	8,63	38,6%
A06-A05	2,32	0,77	1,73	2,40	2,84	33,4%
A06-A12	5,06	0,61	4,65	4,98	5,40	12,1%
A07-A01	6,31	1,67	5,05	6,83	7,58	26,5%
A08-A03	4,31	0,74	3,93	4,33	4,85	17,3%
A09-A12	6,50	0,85	5,80	6,32	7,17	13,1%
A10-A04	1,91	0,48	1,52	1,90	2,25	25,4%
A12-A06	5,07	0,57	4,68	5,03	5,38	11,3%
A12-A09	6,35	0,85	5,72	6,18	6,95	13,4%
Średnia	7,99	2,14	6,27	7,79	9,57	24,4%

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 wyniki można zauważyć, że generalnie pora poranna charakteryzuje się zwiększonym średnim czasem przejazdu, średnio czas przejazdu w sieci transportowej zwiększa się o 13,0 % (porównując średnią median). Natomiast pora popołudniowa charakteryzuje się delikatnie mniejszą zmiennością. W porze porannej 51,4% badanych relacji charakteryzuje się średnią zmiennością większą niż 30%, natomiast w porze popołudniowej jest tylko 25,7% takich relacji pomiarowych. Największą zmiennością w porze porannej w czasie przejazdu charakteryzują się trasy przejazdu określone relacjami: A05 – A04, A06 – A05 oraz A06-A02. W porze popołudniowej relacjami o największej zmienności w czasie przejazdu są: A04 – A05, A06 – A01 oraz A06 – A04.

Dla relacji, które znajdują się w centrum miasta, można zauważyć, że wskaźnik ten przyjmuje większe średnie wartości. Oznacza to, że przejazdy, które są realizowane w obrębie tego obszaru miasta charakteryzują się zwiększoną niepewnością czasu przejazdu. Wniosek ten jest dość oczywisty i świadczy o nasyceniu przepustowości sieci drogowej w centrum. Wybrane miary statystyczne oraz wartości średnie tych miar opisujące czas przejazdu w kwartale¹ miasta zaprezentowano w tabelach 3 oraz 4. Liczba relacji, dla których zmienności jest większa niż 30% to 16 (66,7%) dla pory porannej oraz 9 (37,5%) dla pory popołudniowej. Poza wzrostem zmienności czasu przejazdu można zaobserwować średni wzrost czasu przejazdu w odniesieniu do ogółu o około 1,5 minuty dla obu pór doby.

¹ 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

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

Tabela 3 Statystyka opisowa dla pomiaru czasu przejazdu w kwartale miasta dla szczytu porannego

Relacja	$\bar{P}_j^P$	$\bar{S}_j^P$	$Q1_j^P$	Me_j^P	$Q3_j^P$	V_j^P
A01-A02	4,90	0,76	4,40	4,72	5,17	15,5%
A01-A03	7,95	1,52	7,00	7,72	8,73	19,2%
A01-A04	10,33	2,22	8,68	10,02	11,26	21,5%
A01-A05	5,12	1,27	4,17	4,95	5,88	24,8%
A01-A06	4,58	1,20	3,80	4,40	5,04	26,3%
A02-A01	8,27	2,67	6,28	7,29	9,75	32,3%
A02-A05	13,68	4,13	12,60	13,45	14,47	30,2%
A02-A06	12,39	4,85	8,81	12,49	15,51	39,1%
A03-A01	11,38	3,98	8,52	10,24	13,12	35,0%
A03-A05	4,86	1,49	3,73	4,57	5,68	30,7%
A03-A06	4,14	0,83	3,53	4,08	4,68	20,2%
A04-A01	13,25	3,29	10,12	13,14	15,38	24,8%
A04-A05	11,84	4,70	7,41	11,92	14,53	39,7%
A04-A06	7,97	3,82	5,13	6,55	9,78	48,0%
A05-A01	8,24	3,22	5,91	6,95	10,27	39,1%
A05-A02	14,90	4,87	11,00	13,48	19,28	32,7%
A05-A03	5,37	1,79	4,24	5,08	5,90	33,2%
A05-A04	14,89	8,73	5,80	16,92	22,87	58,7%
A05-A06	1,34	0,44	1,02	1,18	1,63	33,0%
A06-A01	7,19	2,72	5,21	6,20	9,28	37,9%
A06-A02	15,17	7,53	8,65	12,92	23,33	49,6%
A06-A03	4,52	1,06	3,77	4,50	5,08	23,5%
A06-A04	6,93	2,22	5,67	6,53	7,44	32,1%
A06-A05	2,73	1,55	1,70	2,43	3,13	56,8%
Średnia	8,41	2,95	6,13	7,99	10,30	33,5%

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 Statystyka opisowa dla pomiaru czasu przejazdu w kwartale miasta dla szczytu popołudniowego

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

Źródło: opracowanie własne

Obliczone współczynniki zmienności wskazują na umiarkowaną zmienność w czasie przejazdu na poszczególnych relacjach. Zgodnie z metodyką, do analizy porównawczej należy wybrać miarę centralną jaką jest mediana, zatem wybrany wskaźnik opisujący i-tą relację dla pomiaru porannego dla stanu przed inwestycyjnego W_i^R będzie równy wartości mediany, czyli: $W_i^R = Me_i^R, \forall i \in R^R$ oraz $W_j^P = Me_j^P, \forall j \in R^P$.

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

Kolejna statystyka prezentuje liczbę pojazdów, które zostały zarejestrowane przez układ pomiarowy oraz które zostały wybrane do analizy, zgodnie z opisem powyżej. Analiza ta ma na celu wstępną identyfikację przejazdów w sieci, które przez niską liczbę danych, mogą być niemożliwe do dalszego wykorzystania, lub wyniki będą obarczone dużym błędem. Wyniki prezentuje tabela 5.

Tabela 5 Liczba pojazdów poddana analizie w ujęciu na relację i w zależności od pory doby

Relacja	Liczba pojazdów [Poj.]	
	Pora poranna	Pora popołudniowa
A01-A02	239	505
A01-A03	66	123
A01-A04	37	48
A01-A05	1000	760
A01-A06	153	151
A01-A07	2301	2183
A02-A01	452	302
A02-A05	10	16
A02-A06	20	20
A03-A01	98	91
A03-A05	80	109
A03-A06	303	307
A03-A08	103	187
A04-A01	50	88
A04-A05	11	23
A04-A06	56	79
A04-A10	363	435
A05-A01	753	838
A05-A02	13	16
A05-A03	81	148
A05-A04	5	10
A05-A06	152	221
A06-A01	139	123
A06-A02	12	38
A06-A03	231	442
A06-A04	32	40
A06-A05	286	257
A06-A12	929	633
A07-A01	2177	2471

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

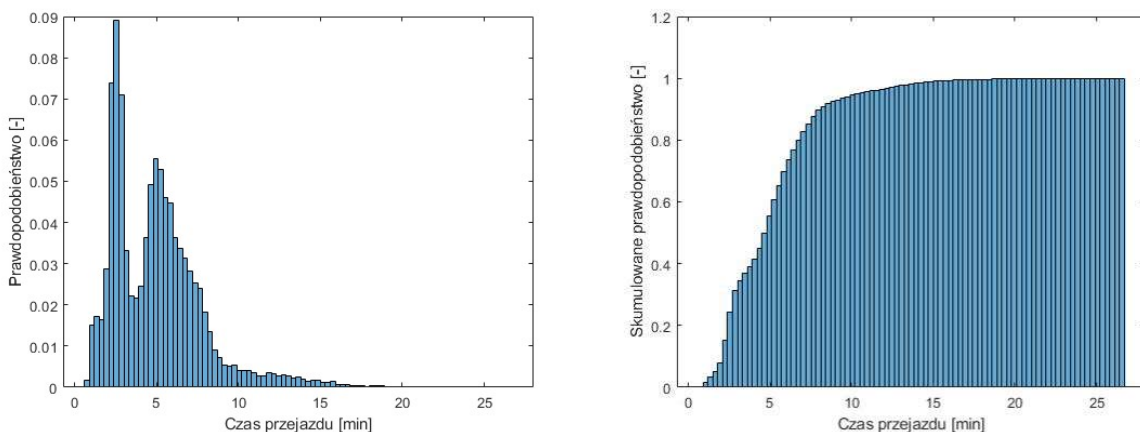
Relacja	Liczba pojazdów [Poj.]	
	Pora poranna	Pora popołudniowa
A08-A03	205	132
A09-A12	1239	977
A10-A04	401	680
A12-A06	581	908
A12-A09	959	990
SUMA	13 537	14 351

Źródło: opracowanie własne

Z uwagi, że opracowana metodyka wyznaczania czasu przejazdu zakłada również dopasowanie funkcji oporu dla relacji w sieci transportowej, liczba wykonanych pomiarów jest kluczowa dla tego typu analiz. Stąd dla kilku relacji istnieje ryzyko wystąpienia znacznego błędu dopasowania funkcji oporu. Są to m.in. relacja A02-A05, A02-A06, A04-A05, A05-A02, A06-A02 oraz A06-A04. Przy dokonywaniu analizy porównawczej dla wariantu między inwestycyjnego i po inwestycyjnego, należy zwrócić uwagę na liczbę zarejestrowanych pojazdów na tych relacjach. Przez brak danych porównawczych na temat wielkości przepływów w sieci drogowej, trudno na tym etapie ocenić czy dane reprezentują specyfikę tych odcinków w sieci transportowej.

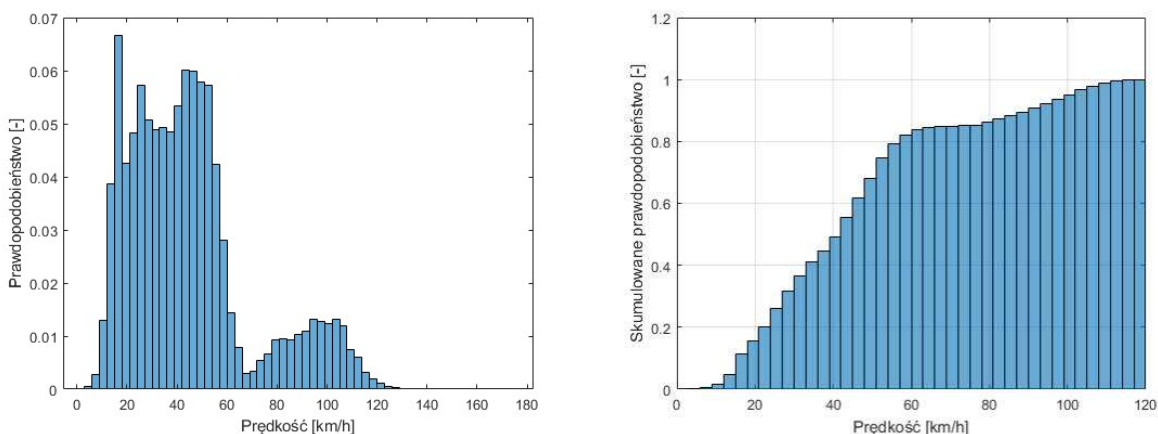
Inny rodzaj analizy jaki może dawać informację na temat empirycznego czasu przejazdu i jego charakterystyki to analiza rozkładu prawdopodobieństwa. Z uwagi, że pomiary dotyczą odcinków o różnej długości należy przeanalizować dodatkowo rozkład prawdopodobieństwa dla prędkości. Wyniki prezentują rysunek 2 oraz 3.

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



Rysunek 2 Rozkład prawdopodobieństwa czasu przejazdu (po lewej) oraz skumulowane prawdopodobieństwo (po prawej) dla całej sieci bez podziału na porę dnia

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 3 Rozkład prawdopodobieństwa prędkości (po lewej) oraz skumulowane prawdopodobieństwo (po prawej) dla całej sieci bez podziału na porę dnia

Źródło: opracowanie własne

Zaprezentowane wykresy umożliwiają wizualną ocenę rozkładu wybranych parametrów. W analizowanym przypadku można zauważyć, że ponad 90% podróży jest realizowanych w przeciągu 10 min. Natomiast prawie 80% podróży odbywa się z prędkością mniejszą niż 57 km/h. W przypadku analizy porównawczej dla sieci drogowej po realizacji inwestycji ITS w Tychach, tego typu analiza umożliwi ocenę wizualną

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

potencjalnych efektów wdrożonych rozwiązań. Zmiana w przebiegu krzywej utworzonej przez słupki histogramu, będzie świadczyć o zmianach w przeciętnym profilu czasu przejazdu i/lub prędkości w sieci transportowej.

Zgodnie z metodyką analiza podstawowych miar statystycznych może być wystarczająca przy założeniu nieistotnej zmiany w strukturze popytowej na transport oraz w strukturze kierunkowej ruchu w analizowanym obszarze. Z uwagi, że aktualnie nie ma danych pomiarowych porównawczych, aby móc jednoznacznie stwierdzić lub zanegować wystąpienie wspomnianych czynników, w ramach analizy zrealizowano drugi etap metodyki dla wskaźnika A, który zaprezentowano w podrozdziale 2.2.

2.2. Dopasowanie postaci funkcyjnej do empirycznego czasu przejazdu

2.2.1. Główne założenia

Na podstawie opracowanej metodyki, pierwszym krokiem jest przygotowanie założeń do analizy dopasowania popularnych funkcyjnych postaci wiążących czas przejazdu (prędkość przejazdu) z natężeniem oraz z gęstością ruchu drogowego. Przyjęto następujące założenia:

Z1. Poligonem badawczym są ciągi ulic i/lub wybrany obszar sieci drogowej. Oznacza to, że badając parametry ruchu dla wybranych ciągów drogowych i wyznaczając relacje pomiędzy nimi, należy przyjąć, że dla kolejnych odcinków drogowych składających się na dany ciąg ulic/obszar sieci, wyznaczone charakterystyki będą takie same. Wyznaczona funkcyjna postać będzie opisywać opór dla danej relacji w sieci drogowej, pomiędzy wybraną parą punktów pomiarowych.

Z2. Ze względu na niemożliwość określenia dokładnego przebiegu trasy przejazdu pomiędzy punktami pomiarowymi, założono że agregacja danych empirycznych będzie się odnosić do zbadanych relacji pomiędzy punktami pomiarowymi. Oznacza to, że w dalszej analizie pomiary czasu przejazdu w ramach danej relacji nie były łączone z innymi. Wynika to ze zróżnicowanej kategoryzacji odcinków drogowych występujących w ciągu danej relacji oraz różnych oporów tworzonych przez skrzyżowania. Zaleca się, aby to grupowanie było tożsame dla wariantów między inwestycyjnego i po inwestycyjnego.

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

Z3. Analizie zostały poddane tylko pomiary spełniające warunki opisane w pkt. 2.1.

Z4. Ze względu na brak pomiaru chwilowego natężenia (lub gęstości) ruchu w trakcie pomiarów, przyjęto jako typową reprezentację tych wartości, natężenie zmierzone w ramach pomiaru ruchu dla każdego 15 minutowego interwału. Oznacza to, że dla każdego pomiaru czasu przejazdu, wartość natężenia jest taka sama.

Z5. Wstępnie dla każdej relacji i każdej pory dnia określono:

- a. Prędkość potoku pojazdów w ruchu swobodnym V_0 [km/h] została wyznaczona przez wartość dla percentyla 0,85 empirycznej prędkości,
- b. Prędkość optymalna potoku pojazdów V_{opt} [km/h] została wyznaczona przez wartość dla percentyla 0,50 empirycznej prędkości,
- c. Natężenie ruchu q [P/h] dla danej relacji zostało przypisane na podstawie pomiaru ruchu, który został zrealizowany w trakcie badań czasu przejazdu. Ze względu na zróżnicowaną strukturę ruchu drogowego, natężenie to zostało przeliczone na wartość natężenia w pojazdach umownych $\hat{q}$ [E/h],
- d. Natężenie ruchu dla jednego pasa ruchu $\hat{q}^p$ [E/h/pas] zostało wyznaczone na podstawie przeciętnej liczby pasów ruchu dla danej relacji,
- e. Gęstość potoku pojazdów $\hat{k}$ [E/km] została wyznaczona na podstawie fundamentalnego równania ruchu,
- f. Gęstość potoku ruchu na pas ruchu $\hat{k}^p$ [E/km/pas] została wyznaczona na podstawie przeciętnej liczby pasów ruchu dla danej relacji,
- g. Przyjęto, że maksymalna gęstość potoku na pas ruchu $\hat{k}_{max}^p$ w danej relacji to 150 E/km/pas.
- h. Prędkość minimalna V_{min} [km/h] to 5 km/h.

Z6. Dopasowanie funkcyjnej postaci do empirycznych pomiarów ruchu zostało zrealizowane na podstawie minimalizacji błędu RMSE.

Z7. W ramach analiz testowano trzy postacie funkcyjne dla funkcji oporu relacji:

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

- a. Funkcję BPR,
- b. Funkcję Overgaard’a,
- c. Funkcję Inrets.

Z8. W ramach analiz testowano trzy postacie funkcyjne dla funkcji QVK:

- a. Funkcję Underwood’a,
- b. Funkcję vanAndere,
- c. Funkcję prof. Krystka.

Należy zaznaczyć, że większość założeń z pkt. Z5 miała charakter wstępny, tzn. optymalne wartości dla danego zbioru danych empirycznych zostały określone w ramach procesu optymalizacji funkcji błędu dopasowania. Oznacza to, że dla każdej relacji określono wartości punktów charakterystycznych opisujących parametry ruchu drogowego oraz określono parametry modelu (parametry opisujące punkty charakterystyczne ruchu oraz parametry modelu były zmiennymi i były określane w ramach procesu optymalizacji).

2.2.2. Klasyfikacja odcinków i ocena jednorodności danego poligonu badawczego

Na podstawie prędkości dopuszczalnej oraz przekroju drogi przyjęto następującą klasyfikację (tabela 6):

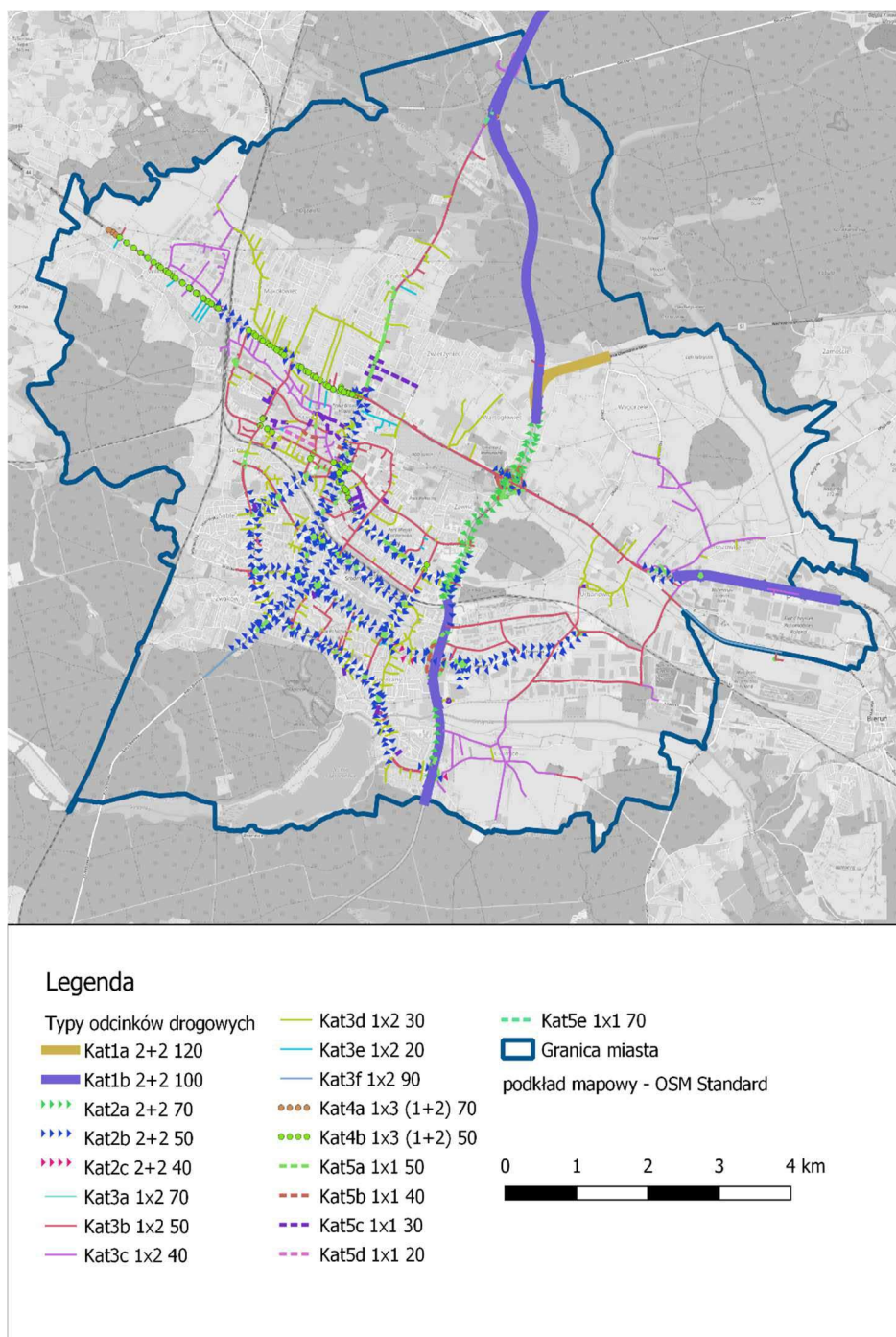
Tabela 6 Kategorie dróg w sieci drogowej miasta Tychy

kategoria	Kat1A	Kat1B	Kat2a	Kat2b	Kat2c	Kat3a	Kat3b	Kat3c	Kat3d	Kat3e	Kat3f	Kat4a	Kat4b	Kat5a	Kat5b	Kat5c	Kat5d	Kat5e
przekrój	2+2	2+2	2+2	2+2	2+2	1x2	1x2	1x2	1x2	1x2	1x2	1x3 (1+2)	1x3 (1+2)	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1
prędkość [km/h]	120	100	70	50	40	70	50	40	30	20	90	70	50	50	40	30	20	70

Źródło: opracowanie własne

Wizualizacja przypisanych kategorii została zaprezentowana na Rysunek 4 Klasyfikacja odcinków drogowych. Można zauważyć, że przebiegi ścieżek pomiędzy punktami pomiarowymi ANPR nie są jednorodne pod kątem kategorii drogi.

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



Rysunek 4 Klasyfikacja odcinków drogowych

Źródło: opracowanie własne

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

2.2.3. Agregacja danych pomiarowych

Ze względu na specyfikę rezultatów badań ANPR nie jest wskazane łączenie danych uzyskanych dla danej relacji pomiarów, tzn. nie powinno się agregować np. danych pomiarowych z relacji A01-A02 z danymi A03-A05. Opór danego segmentu sieci wyznaczonej przez punkty pomiarowe jest sekwencją poszczególnych odcinków sieci drogowej oraz kolejnych skrzyżowań. O ile w wyniku klasyfikacji odcinków drogowych możliwe byłoby połączenie zestawów danych dla różnych relacji pomiarowych, to zakładanie jednakowej generacji dla skrzyżowań mogłoby być błędem. Pomimo podobnej geometrii, skrzyżowania mogą generować różny opór, wynikający z innego sterowania, co wpływa na czas przejazdu. Stąd przyjęto założenie Z2 opisane w sekcji 2.2.1.

Mając na uwadze inny charakter ruchu drogowego w porannej porze dnia i popołudniowej oraz powyższe, zbiór indeksów dla danych dla stanu przed inwestycyjnego można opisać:

$$TD = \{1, 2, \dots, 68\}$$

Indeksy $\{1, 2, \dots, 34\}$ są indeksami dla pory porannej, a indeksy $\{35, 36, \dots, 68\}$ korespondują do kolejnych pomiarów dla pory popołudniowej.

2.2.4. Oszacowanie i wybór funkcji oporu

Zgodnie z krokiem 3 metodyki, należy wybrać minimum 3 funkcje oporu, które będą opisywać funkcyjną zależność $f_i(q)$, $i \in TD$ dla każdego zbioru danych. Na podstawie analizy literatury [3,4,5,6], wybrano trzy funkcje, które są stosowane do opisu ruchu w sieciach miejskich. Są to:

- funkcja BPR,
- funkcja Overgaard'a,
- funkcja Inrets.

Jak wspomniano to wcześniej, dane otrzymane z pomiaru zakładają różne wartości czasu przejazdu, a co za tym idzie różne wartości prędkości (zakłada się stałą wartość dystansu pomiędzy punktami

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

pomiarowymi). Natomiast natężenia ruchu wyrażone w pojazdach umownych są zróżnicowane do 15 minutowego kwantu czasu. Z tego powodu zdecydowano się na aproksymację modelu do danych empirycznych szukając zależności postaci: $f_i(k)$, $i \in TD$. Gęstość ruchu została obliczona na podstawie fundamentalnego równania ruchu, czyli:

$$q = V \cdot k$$

gdzie:

q – natężenie ruchu drogowego [E/h/pas],

V – prędkość potoku ruchu drogowego [km/h],

k – gęstość potoku ruchu drogowego [E/km/pas].

Prędkość poruszania się pojazdów V_j^i dla każdej próby badawczej została obliczona na podstawie zmierzonych czasów przejazdu z formuły:

$$V_j^i = \frac{S^i}{t_j^i}, \forall i \in TD \wedge \forall j \in N^i$$

Gdzie: N^i jest liczebnością i-tej próby badawczej (relacji), S^i [km] jest dystansem pomiędzy punktami pomiarowymi, a t_j^i [h] jest empirycznym czasem podróży dla j-tego pojazdu w każdej i-tej próbie badawczej należącej do zbioru TD .

Z uwagi, że celem nadrzędnym metodyki jest wybór najlepszej postaci funkcyjnej, kroki 3 i 4 metodyki zostały zrealizowane równolegle, tzn. jakość dopasowania była porównywana dla modelu funkcji oporu i funkcji QVK łącznie (a nie w następujących po sobie warunkowych etapach, jak wskazuje to metodyka).

Zastosowane modele QVK to:

- funkcja Underwood'a,
- funkcja vanAerde,
- funkcja prof. Krystka.

Modele te wiążą funkcyjnie prędkość i gęstość ruchu w postaci: $V(k)$ oraz $k(V)$, w przypadku modelu vanAndere.

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

Funkcyjna postać relacji pomiędzy podstawowymi parametrami ruchu, czyli prędkość chwilowa V , natężenie q oraz gęstość ruchu k została dobrana na podstawie wyników procesu minimalizacji funkcji błędu pomiędzy pomiarami empirycznymi, a wartościami teoretycznymi wynikającymi z danego modelu. Kryterium akceptacji danej funkcji oporu było spełnienie warunku statystycznej istotności wyników estymacji na poziomie $p=0,95$. W przypadku spełnienia tego warunku, wybór funkcji oporu odbywał się na wyborze największej wartości współczynnika determinacji R^2 . Współczynnik ten przyjmuje wartości z zakresu $[0,1]$ i im większa wartość, tym lepsze jest dopasowanie wyników modelu do danych empirycznych. Wyniki prezentuje tabela 7. Są to wskaźniki jakości dopasowania teoretycznego czasu przejazdu, wynikającego z wybranego modelu, do danych empirycznych.

Wszystkie oszacowane wartości współczynnika determinacji są statystycznie istotne na zakładanym poziomie (wartości p dla parametrów strukturalnych modelu dla wszystkich relacji pomiarowych były bliskie zera). Zdecydowanie najlepszym modelem okazał się model vanAerde, który średnio dla wszystkich prób badawczych uzyskał stopień zgodności modelu na poziomie 77,26%. Porównując każdą próbę danych dla relacji pomiaru, model ten był najlepszy w 41 przypadkach. Natomiast funkcja BPR była najlepsza tylko dla 3 przypadków, pomimo że średni stopień dopasowania jest nieco lepszy od modelu vanAerde. Dla 15 prób badawczych model Overgaard’a okazał się najlepszy. Funkcja Underwood’a była najlepsza dla 5 przypadków, a model profesora Krystka dla 4. Należy jednak zaznaczyć, że różnice w wynikach w obrębie danej próby badawczej są nie duże, zatem można wskazać model vanAerde, jako najlepszy. Twierdzenie to potwierdzają również wykresy w podrozdziale 2.2.5.

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

Tabela 7 Wartości współczynnika determinacji R^2 dla wybranych postaci funkcyjnych dla czasu przejazdu

Relacja	Funkcja BPR	Funkcja Overgaard'a	Funkcja Inrets	Funkcja Underwood'a	Funkcja vanAerde	Funkcja prof. Krystka
A01-A02-1	56,97%	55,88%	55,44%	55,88%	47,50%	56,92%
A01-A02-2	88,36%	91,27%	78,24%	91,27%	92,59%	90,91%
A01-A03-1	95,53%	92,44%	84,49%	92,44%	96,47%	88,62%
A01-A03-2	95,18%	96,25%	78,31%	96,25%	99,64%	89,15%
A01-A04-1	94,70%	96,73%	83,50%	96,73%	97,14%	92,78%
A01-A04-2	96,08%	96,32%	76,04%	96,32%	99,82%	78,45%
A01-A05-1	83,20%	83,28%	80,43%	83,28%	77,99%	83,38%
A01-A05-2	92,99%	95,53%	87,00%	95,53%	96,58%	95,53%
A01-A06-1	86,38%	87,75%	80,58%	87,75%	85,51%	87,70%
A01-A06-2	92,22%	96,68%	69,04%	96,68%	98,49%	96,24%
A01-A07-1	75,63%	75,91%	74,35%	75,91%	61,67%	75,90%
A01-A07-2	81,74%	84,44%	76,57%	84,44%	83,39%	84,15%
A02-A01-1	67,73%	67,49%	65,79%	67,49%	52,67%	65,47%
A02-A01-2	69,61%	72,00%	62,45%	72,00%	79,62%	71,46%
A02-A05-1	88,97%	78,41%	87,27%	78,41%	92,45%	76,55%
A02-A05-2	95,13%	81,19%	76,89%	81,19%	98,90%	32,23%
A02-A06-1	85,57%	84,03%	83,21%	84,03%	76,74%	86,09%
A02-A06-2	90,34%	92,96%	82,91%	92,96%	97,57%	89,56%
A03-A01-1	75,01%	75,54%	71,01%	75,54%	80,45%	71,17%
A03-A01-2	89,66%	91,04%	80,79%	91,04%	89,07%	72,37%
A03-A05-1	90,24%	67,70%	61,80%	67,70%	93,05%	78,66%
A03-A05-2	88,63%	91,08%	56,74%	91,08%	92,54%	91,40%
A03-A06-1	46,71%	46,90%	45,21%	46,90%	51,72%	47,85%
A03-A06-2	82,47%	82,67%	79,49%	82,67%	81,30%	82,92%
A03-A08-1	83,89%	85,45%	82,23%	85,45%	64,47%	84,65%
A03-A08-2	89,05%	90,88%	80,03%	90,88%	92,12%	90,52%
A04-A01-1	47,92%	46,83%	45,65%	46,83%	35,29%	34,48%
A04-A01-2	75,10%	78,88%	68,21%	78,88%	83,22%	68,55%
A04-A05-1	61,15%	46,13%	44,56%	46,13%	78,02%	36,18%
A04-A05-2	81,81%	75,97%	51,24%	75,97%	96,06%	29,16%
A04-A06-1	74,02%	47,14%	24,39%	47,14%	81,86%	57,07%
A04-A06-2	84,69%	67,71%	39,27%	67,71%	95,83%	33,41%
A04-A10-1	54,09%	47,53%	53,16%	47,53%	53,28%	53,15%
A04-A10-2	73,14%	73,06%	67,90%	73,06%	79,60%	75,81%
A05-A01-1	87,54%	91,14%	74,85%	91,14%	93,03%	72,01%

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

Relacja	Funkcja BPR	Funkcja Overgaard'a	Funkcja Inrets	Funkcja Underwood'a	Funkcja vanAerde	Funkcja prof. Krystka
A05-A01-2	79,85%	82,49%	75,94%	82,49%	81,65%	66,62%
A05-A02-1	91,82%	89,59%	81,91%	89,59%	98,65%	50,17%
A05-A02-2	91,38%	90,48%	78,45%	90,48%	96,36%	36,63%
A05-A03-1	92,90%	93,82%	84,30%	93,82%	96,62%	92,23%
A05-A03-2	93,54%	90,66%	65,20%	90,66%	96,56%	83,17%
A05-A04-1	86,68%	92,05%	64,65%	92,05%	97,94%	68,85%
A05-A04-2	94,78%	92,17%	87,38%	92,17%	87,17%	51,73%
A05-A06-1	85,11%	89,18%	63,43%	89,18%	92,06%	88,69%
A05-A06-2	88,59%	90,59%	81,93%	90,59%	89,41%	90,45%
A06-A01-1	75,47%	70,60%	65,70%	70,60%	77,59%	61,74%
A06-A01-2	72,90%	78,27%	63,21%	78,27%	78,17%	62,27%
A06-A02-1	90,82%	79,05%	55,82%	79,05%	93,75%	51,02%
A06-A02-2	87,94%	82,68%	62,03%	82,68%	95,34%	62,71%
A06-A03-1	57,47%	57,52%	55,84%	57,52%	52,00%	58,18%
A06-A03-2	78,00%	77,14%	76,93%	77,14%	64,05%	77,69%
A06-A04-1	87,54%	87,68%	74,23%	87,68%	93,46%	86,65%
A06-A04-2	93,27%	86,42%	63,17%	86,42%	96,68%	77,17%
A06-A05-1	75,32%	60,79%	63,86%	60,79%	78,35%	67,38%
A06-A05-2	83,17%	77,03%	78,26%	77,03%	83,42%	79,85%
A06-A12-1	59,10%	59,14%	58,95%	59,14%	57,01%	59,14%
A06-A12-2	60,36%	59,36%	60,39%	59,36%	44,56%	59,56%
A07-A01-1	54,62%	54,63%	54,55%	54,63%	20,49%	54,54%
A07-A01-2	93,86%	93,28%	90,31%	93,28%	95,86%	85,93%
A08-A03-1	64,00%	63,97%	63,54%	63,97%	3,55%	64,46%
A08-A03-2	82,76%	77,85%	69,01%	77,85%	82,78%	82,12%
A09-A12-1	39,88%	38,73%	39,82%	38,73%	41,49%	38,83%
A09-A12-2	70,78%	72,26%	63,90%	72,26%	73,62%	72,29%
A10-A04-1	49,95%	46,95%	49,63%	46,95%	40,44%	48,77%
A10-A04-2	75,59%	76,87%	70,83%	76,87%	71,53%	77,10%
A12-A06-1	50,28%	50,85%	49,24%	50,85%	25,12%	49,40%
A12-A06-2	66,98%	68,24%	64,37%	68,24%	53,82%	67,50%
A12-A09-1	46,61%	48,02%	44,04%	48,02%	51,49%	48,01%
A12-A09-2	64,48%	66,19%	58,72%	66,19%	67,07%	66,21%
Średnia	78,05%	76,16%	67,48%	76,16%	77,26%	69,23%
Uwaga: Zastosowana kolorystyka ma na celu ułatwienie interpretacji wyników dla każdej z relacji z osobna, tzn. kolory zostały przypisane na podstawie porównania poszczególnych wartości R ² , w odniesieniu do ogółu wyników dla każdej relacji. Im bardziej zielony kolor, tym lepsze dopasowanie modelu do danych empirycznych.						

Źródło: opracowanie własne

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

Z przeprowadzonej analizy nie można wskazać zależności pomiędzy charakterem relacji pomiarowej a dostosowanym modelem. Oszacowane wartości poszczególnych modeli prezentują tabele poniżej (tabele 8,9,10,11 i 12).

Tabela 8 Parametry funkcji oporu BPR dla poszczególnych relacji pomiarowych

Relacja	Parametry modelu BPR			
	V_o	$\hat{k}_{max}$	a	b
A01-A02-1	44,47	31,27	0,24	3,64
A04-A10-1	79,53	22,20	5,19	1,17
A10-A04-1	67,06	37,21	4,86	1,12

Objaśnienia: V_o – oszacowana prędkość w ruchu swobodnym [km/h]; $\hat{k}_{max}$ – oszacowana maksymalna gęstość ruchu [poj./km/pas];
 a, b – parametry funkcji BPR [-];

Źródło: opracowanie własne

Tabela 9 Parametry funkcji oporu Overgaard'a dla poszczególnych relacji pomiarowych

Relacja	Parametry modelu Overgaard'a			
	V_o	$\hat{k}_{max}$	α	β
A01-A05-1	19,75	113,98	4,04	0,69
A01-A07-1	47,67	113,21	4,87	0,80
A02-A01-1	31,44	150,00	8,23	0,33
A02-A06-1	11,06	92,49	6,65	0,41
A03-A01-2	15,38	93,34	3,08	0,46
A03-A06-2	14,27	150,00	6,18	0,50
A04-A01-1	15,58	149,79	5,97	0,24
A05-A01-2	14,75	150,00	3,67	0,40
A05-A04-2	14,06	150,00	5,04	0,42
A05-A06-2	17,37	150,00	5,48	0,57
A06-A03-2	16,12	150,00	6,18	0,41
A06-A05-2	15,07	150,00	6,18	0,47
A06-A12-2	21,98	71,75	2,43	2,35
A12-A06-1	37,48	150,00	3,32	0,42
A12-A06-2	34,81	150,00	3,14	0,60

Objaśnienia: V_o – szacowana prędkość w ruchu swobodnym [km/h]; $\hat{k}_{max}$ – szacowana maksymalna gęstość ruchu [poj./km/pas];
 α, β – parametry modelu Overgaard'a [-];

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 Parametry funkcji oporu Underwood'a dla poszczególnych relacji pomiarowych

Relacja	Parametry modelu Underwood'a	
	V_o	$\hat{k}_{opt}$
A01-A06-1	62,77	29,23
A01-A07-2	61,23	80,09
A03-A08-1	59,73	14,74
A06-A01-2	25,86	101,28
A07-A01-1	72,36	57,48

Objaśnienia: V_o – szacowana prędkość w ruchu swobodnym [km/h]; $\hat{k}_{opt}$ – szacowana optymalna gęstość ruchu [poj./km/pas];

Źródło: opracowanie własne

Tabela 11 Parametry modelu QVK dla funkcji vanAerde dla poszczególnych relacji pomiarowych

Relacja	Parametry modelu vanAerde			
	V_{opt}	V_o	$\hat{q}_{max}$	$\hat{k}_{max}$
A01-A02-2	40,21	42,00	1091,70	150,00
A01-A03-1	10,29	30,10	529,90	149,73
A01-A03-2	30,56	34,30	548,80	149,99
A01-A04-1	24,01	35,14	535,73	21,30
A01-A04-2	26,24	30,02	547,31	149,99
A01-A05-2	39,47	41,57	555,05	149,98
A01-A06-2	47,65	52,46	560,55	29,61
A02-A01-2	27,78	26,65	463,17	150,00
A02-A05-1	23,79	5,68	167,76	79,38
A02-A05-2	8,62	25,49	284,53	149,83
A02-A06-2	18,82	21,69	296,82	149,93
A03-A01-1	29,12	31,81	564,36	88,73
A03-A05-1	5,01	37,25	290,31	36,30
A03-A05-2	45,84	35,88	340,92	5,76
A03-A06-1	7,04	41,15	289,66	50,13
A03-A08-2	32,36	34,76	378,15	149,84
A04-A01-2	8,74	5,00	760,30	150,00
A04-A05-1	31,33	8,06	264,31	150,00
A04-A05-2	27,68	30,40	404,79	149,84
A04-A06-1	53,26	5,00	264,65	149,93
A04-A06-2	5,00	32,34	404,50	52,67

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

Relacja	Parametry modelu vanAerde			
	V_{opt}	V_o	$\hat{q}_{max}$	$\hat{k}_{max}$
A04-A10-2	61,30	60,01	306,89	135,78
A05-A01-1	8,26	35,39	845,43	149,99
A05-A02-1	26,04	18,58	447,03	150,00
A05-A02-2	21,51	8,25	465,64	150,00
A05-A03-1	34,33	30,59	424,54	149,99
A05-A03-2	30,42	27,90	468,93	150,00
A05-A04-1	10,24	7,68	472,30	79,06
A05-A06-1	36,95	38,84	426,05	148,71
A06-A01-1	35,36	33,72	686,49	150,00
A06-A02-1	22,54	20,54	357,59	150,00
A06-A02-2	5,00	28,99	367,76	149,93
A06-A04-1	9,10	7,83	305,45	150,00
A06-A04-2	42,42	7,77	344,75	150,00
A06-A05-1	8,78	30,45	311,28	149,93
A07-A01-2	41,12	43,09	1096,40	149,89
A08-A03-2	54,10	14,63	203,11	148,97
A09-A12-1	111,51	113,99	861,59	11,23
A09-A12-2	112,82	113,95	753,02	145,07
A12-A09-1	95,68	6,51	702,10	125,49
A12-A09-2	99,09	100,54	803,18	149,84

Objaśnienia: V_{opt} – szacowana prędkość optymalna [km/h]; V_o – szacowana prędkość w ruchu swobodnym [km/h];
 $\hat{q}_{max}$ – szacowane natężenie maksymalne [poj./h/pas]; $\hat{k}_{max}$ – szacowana maksymalna gęstość ruchu [poj./km/pas];

Źródło: opracowanie własne

Tabela 12 Parametry modelu QVK dla funkcji prof. Krystka dla poszczególnych relacji pomiarowych

Relacja	Parametry modelu Krystka	
	$\hat{k}_{max}$	V_o
A06-A03-1	150,00	14,91
A06-A12-1	150,00	16,32
A08-A03-1	149,9998	5,366706
A10-A04-2	150	17,12851

Objaśnienia: $\hat{k}_{max}$ – szacowana maksymalna gęstość ruchu [poj./km/pas]; V_o – szacowana prędkość w ruchu swobodnym [km/h];

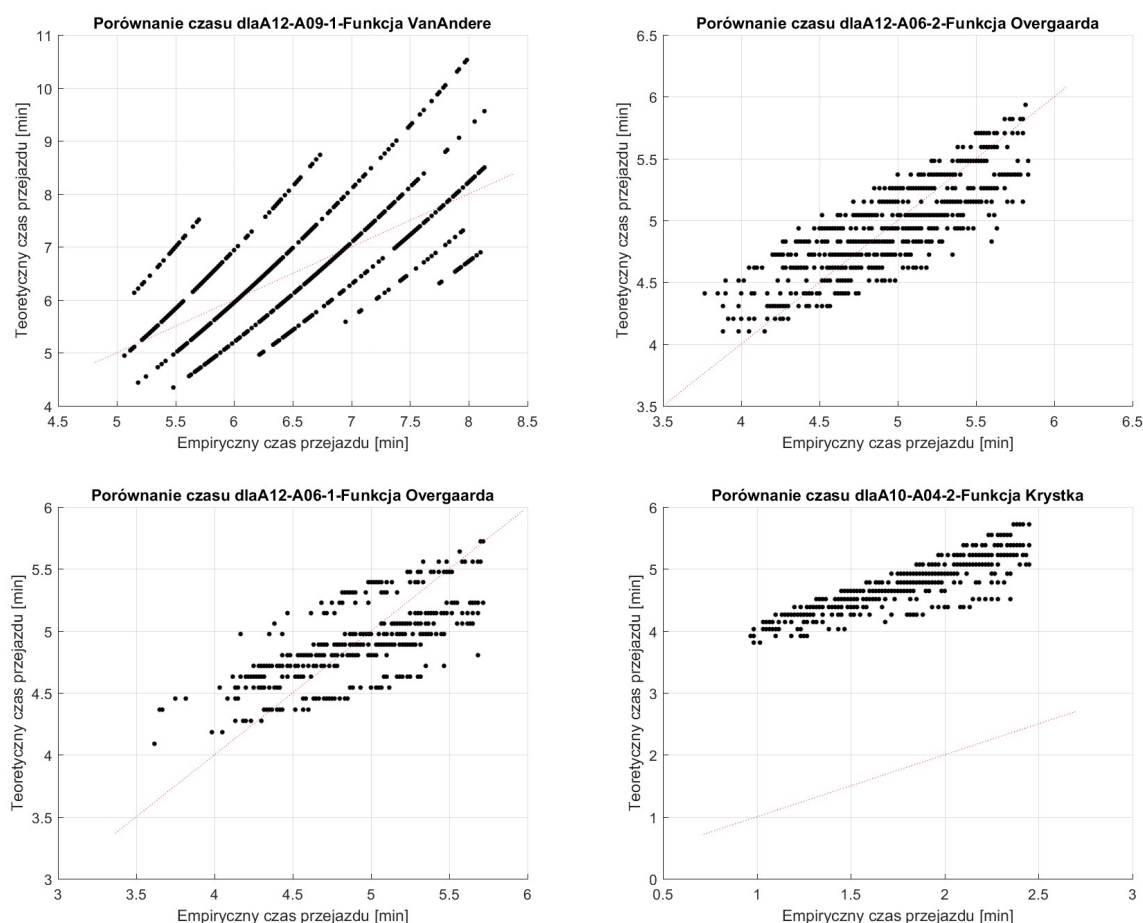
Źródło: opracowanie własne

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

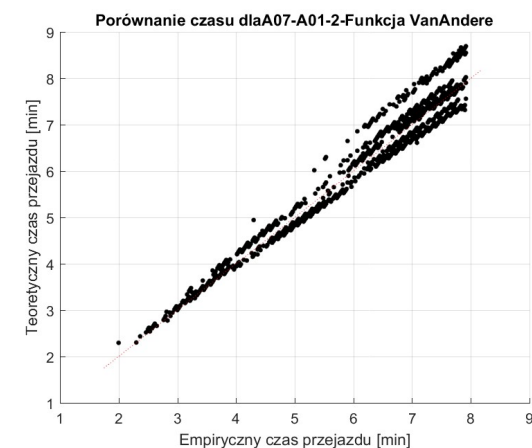
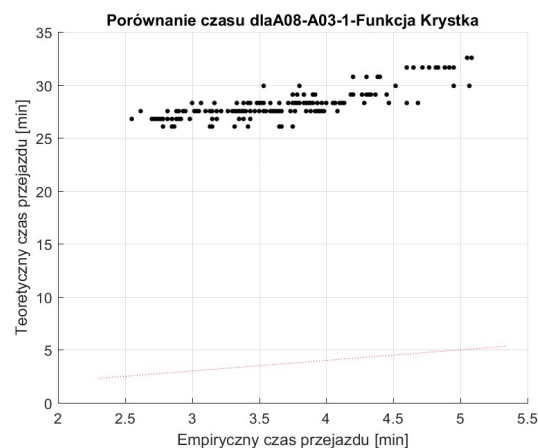
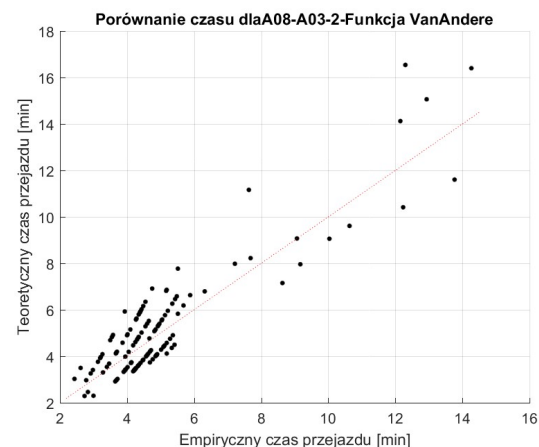
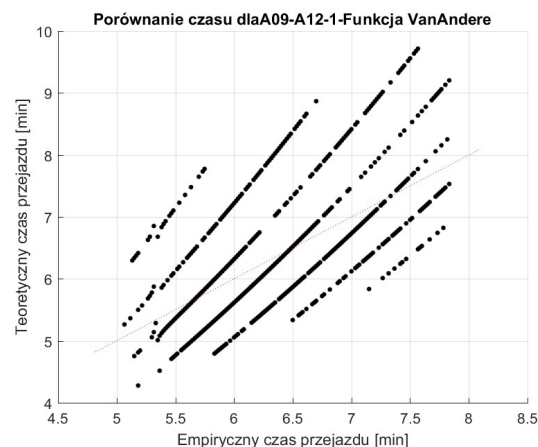
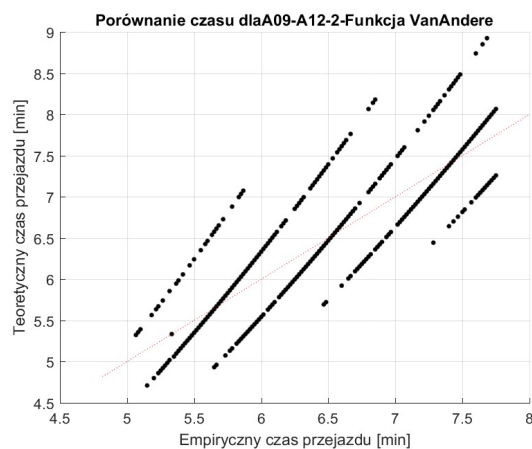
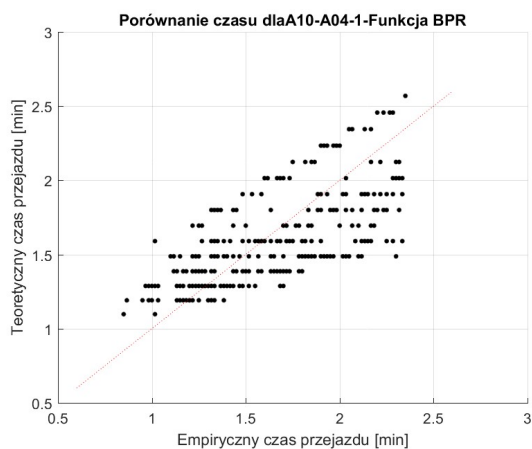
2.2.5. Teoretyczne czasy przejazdu

Obliczenie teoretycznych czasów przejazdów jest ostatnim etapem analizy dla stanu przed inwestycyjnego. Jednakże ze względu na obszerną ilość danych, które zostałyby wygenerowane na podstawie dobranych funkcji oporu, prezentacja tych danych w niniejszym opracowaniu zostanie dokonana przez ukazanie zależności pomiędzy danymi teoretycznymi z modelu $\tilde{t}_j^i$, z pomiarami empirycznymi t_j^i . Wykresy zawarto poniżej. Dodatkowa linia prosta prezentuje idealne dopasowanie, czyli $\tilde{t}_j^i = t_j^i$. Ma to na celu pomoc w ocenie wizualnej rozrzutu wartości wokół linii, reprezentującej idealne dopasowanie.

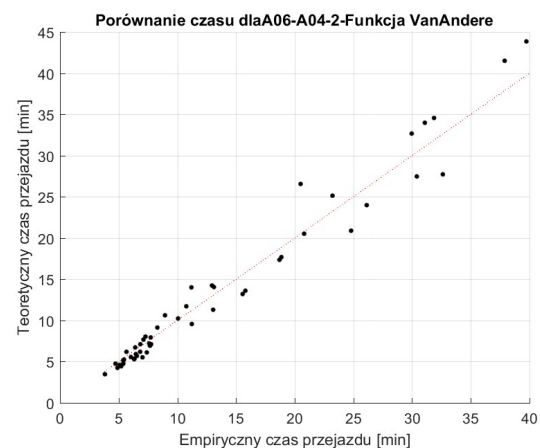
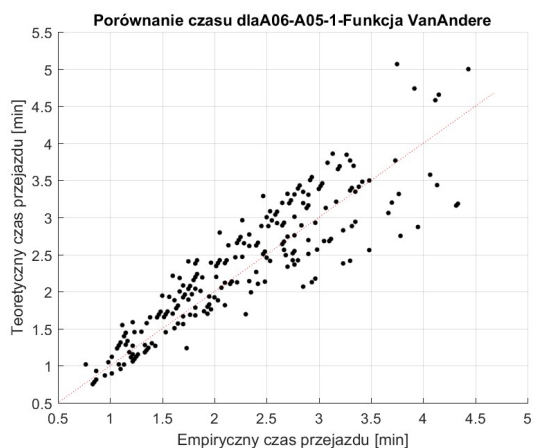
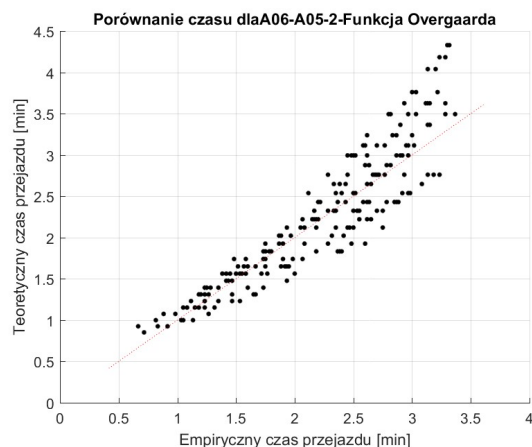
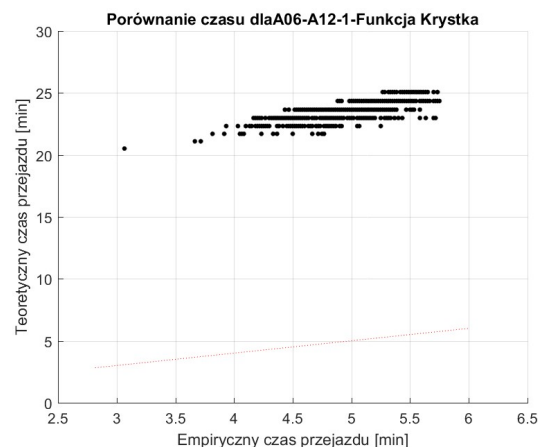
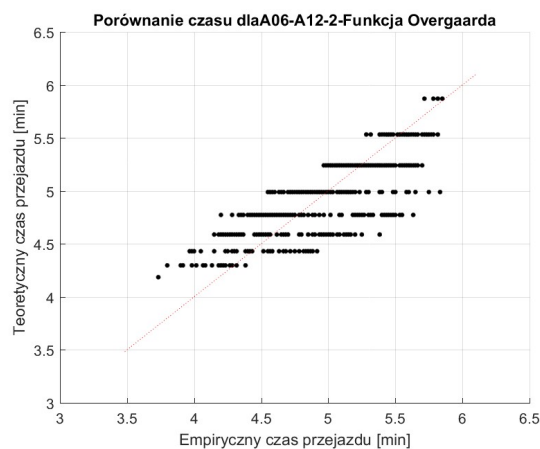
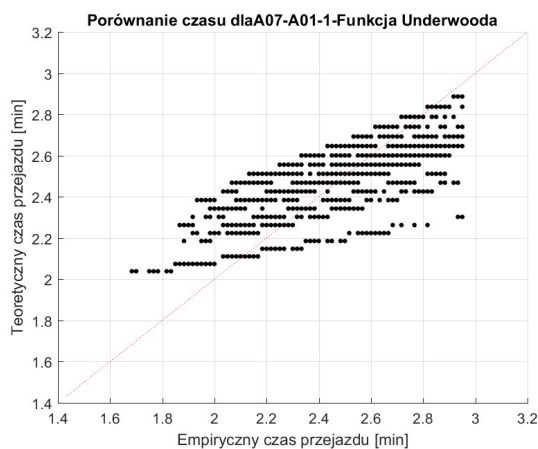
Rysunek 5 Zbiór wykresów prezentujących zależność empirycznego czasu z teoretycznym czasem przejazdu



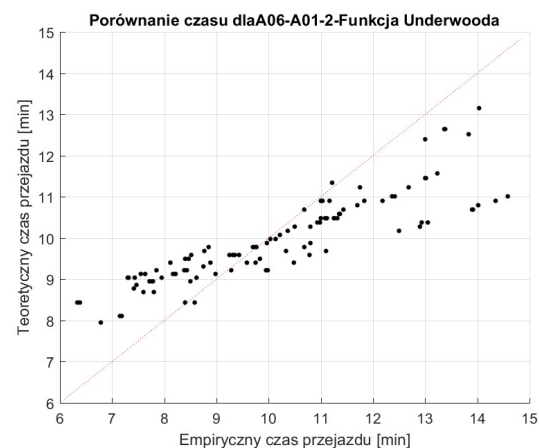
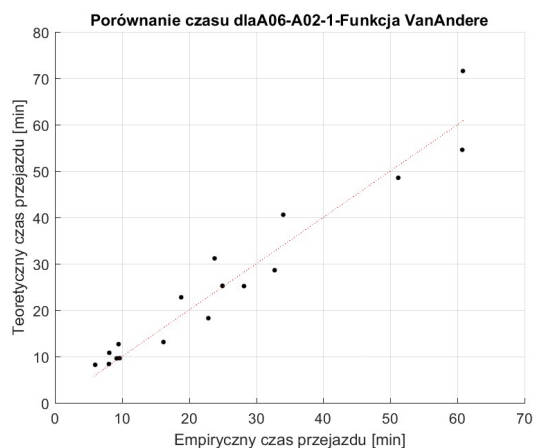
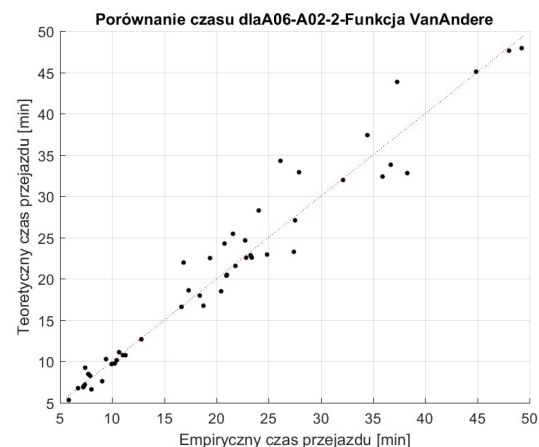
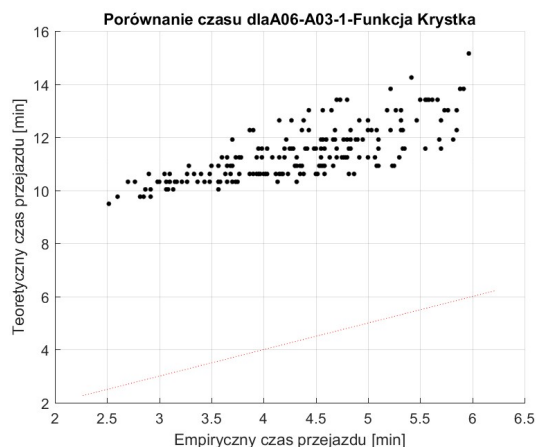
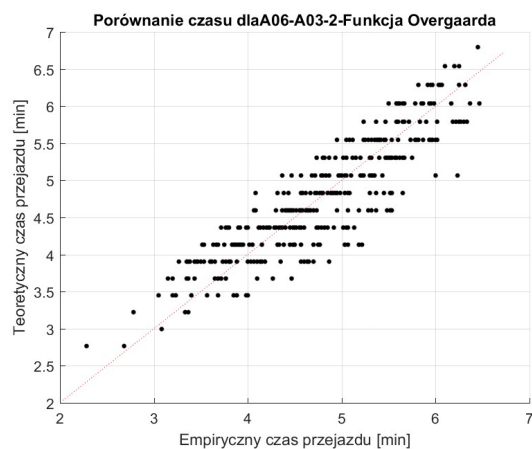
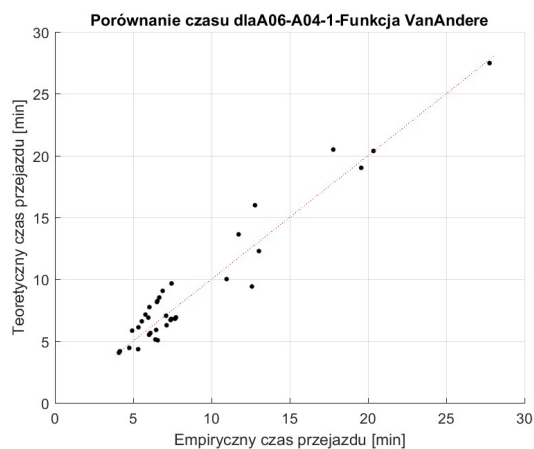
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



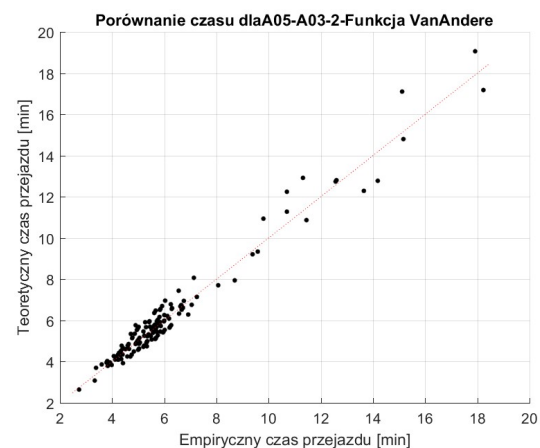
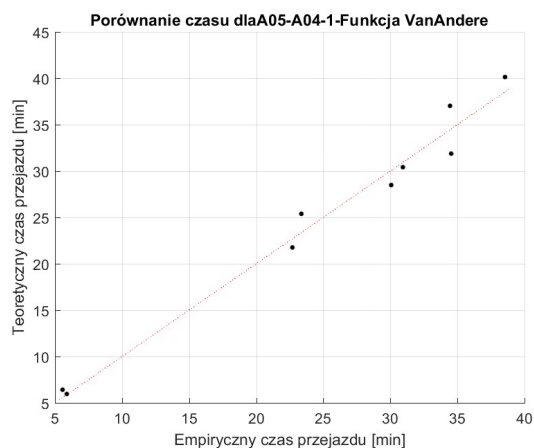
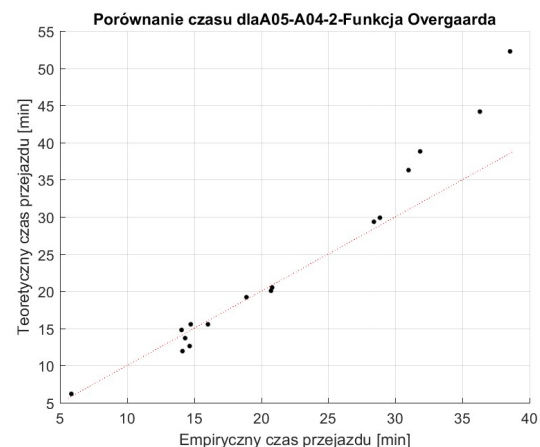
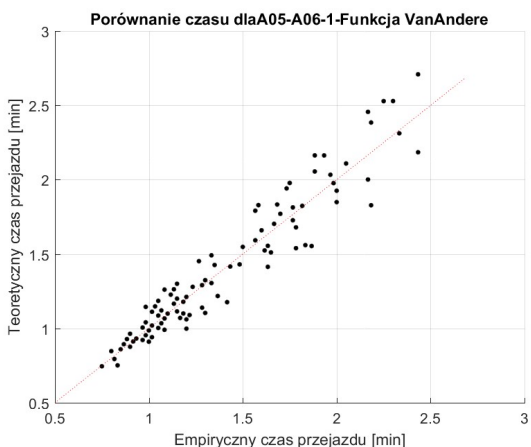
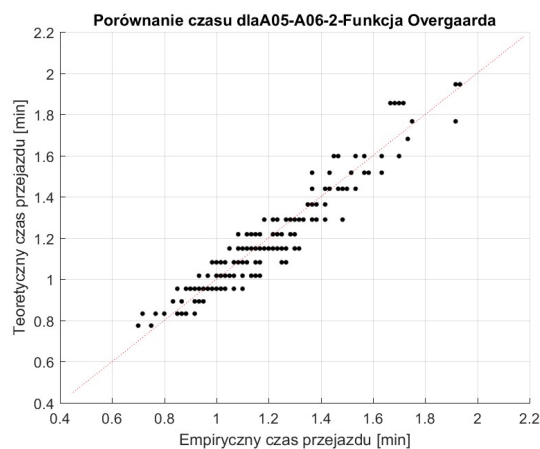
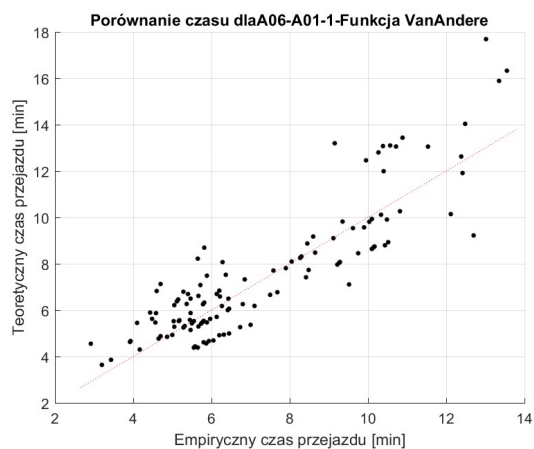
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



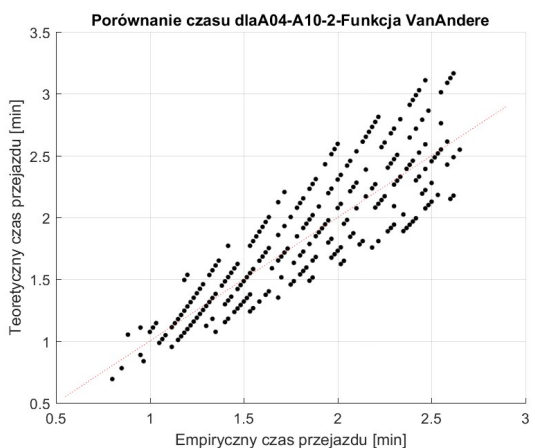
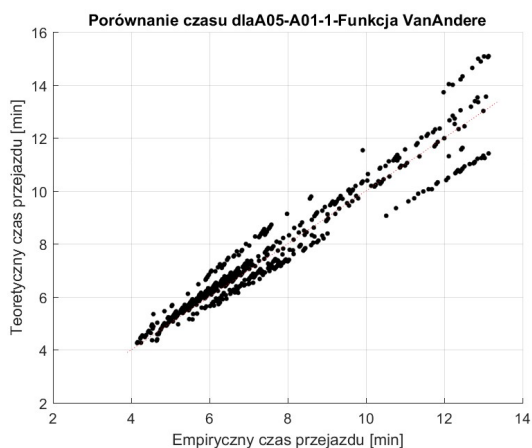
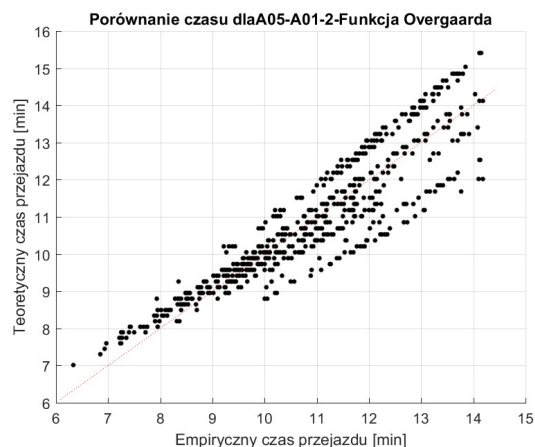
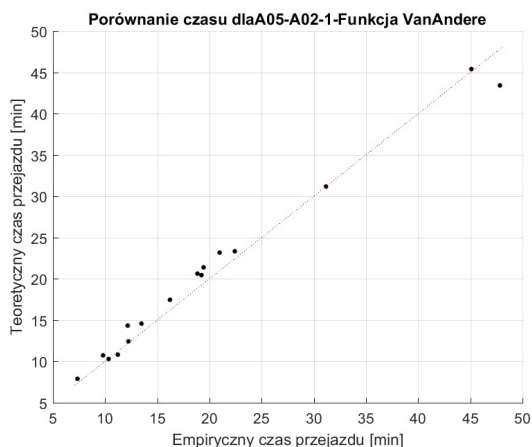
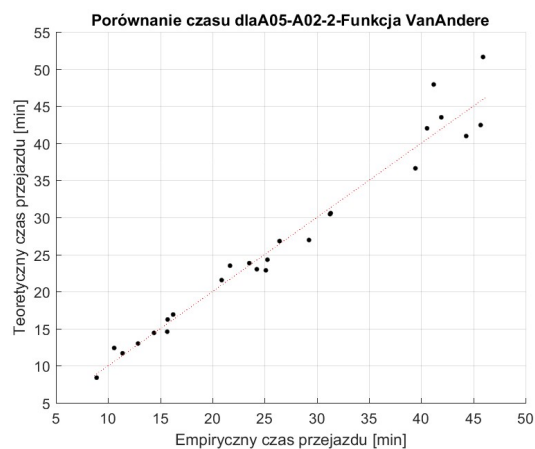
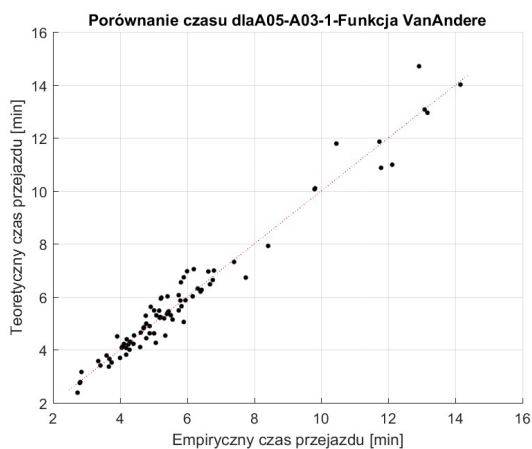
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



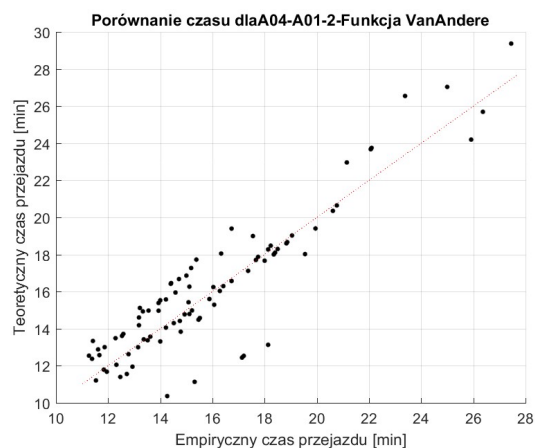
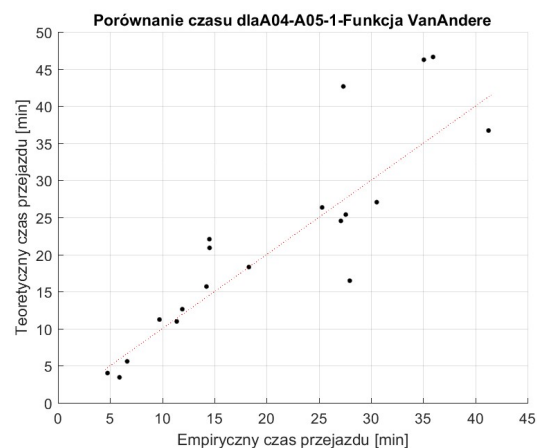
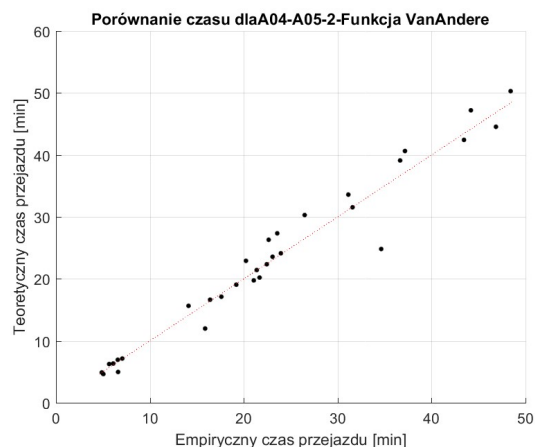
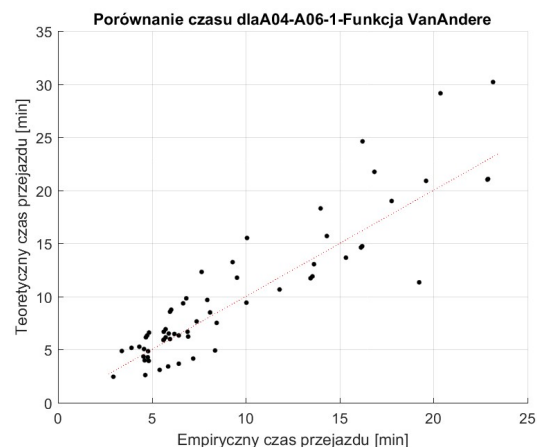
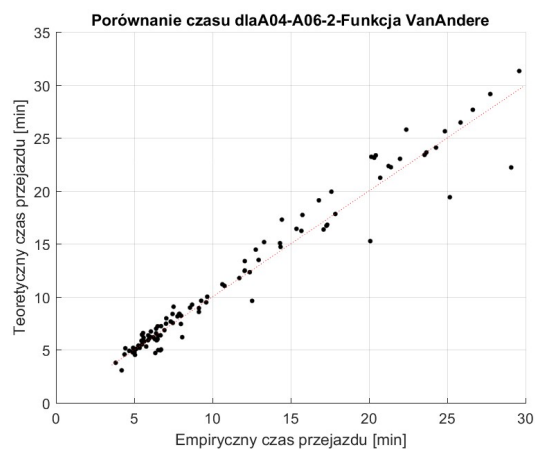
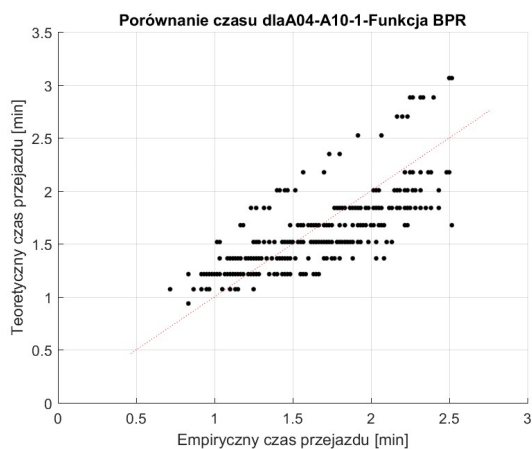
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



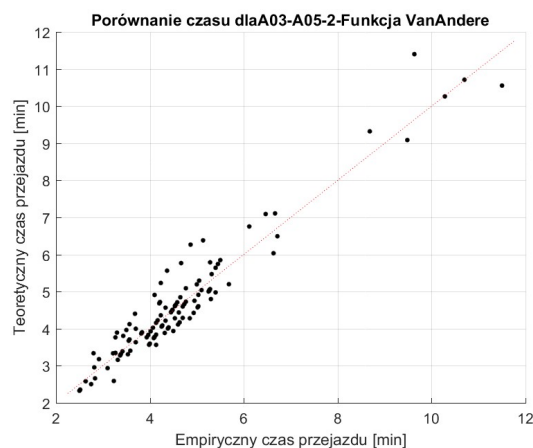
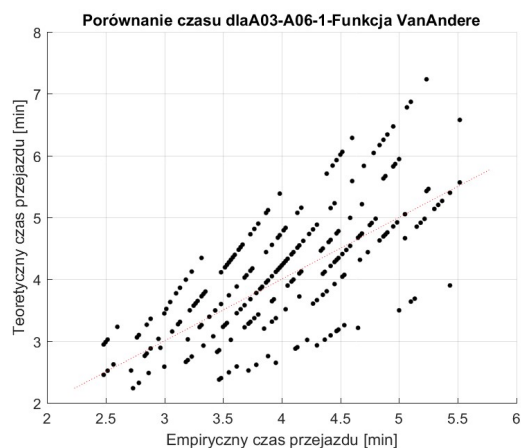
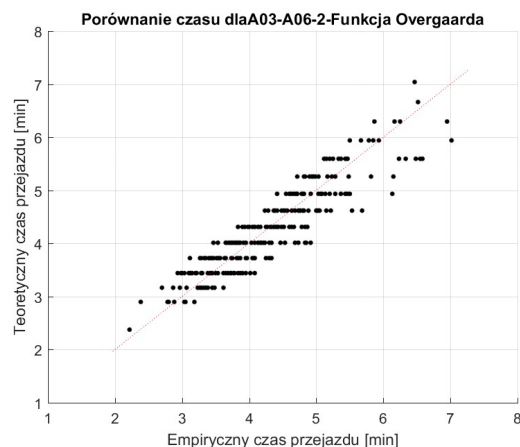
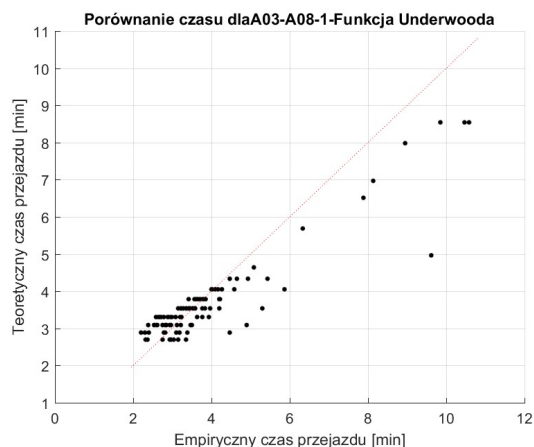
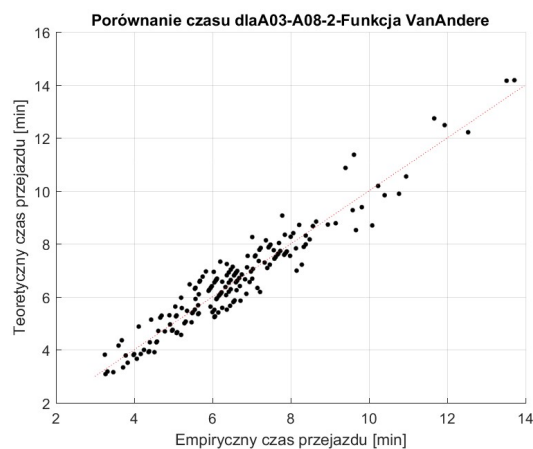
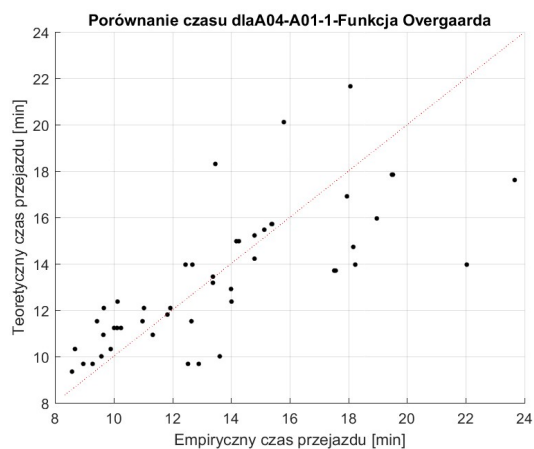
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



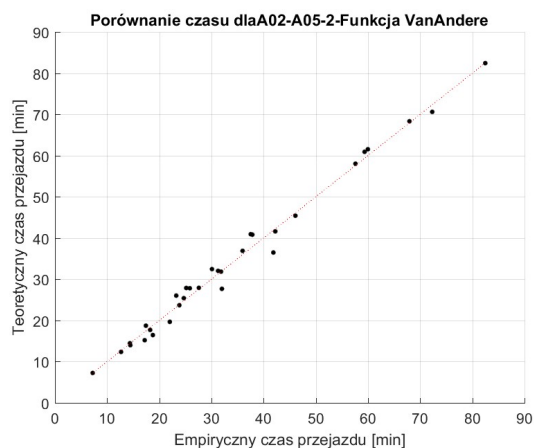
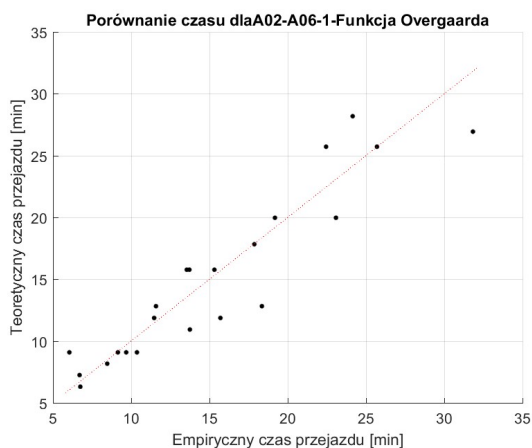
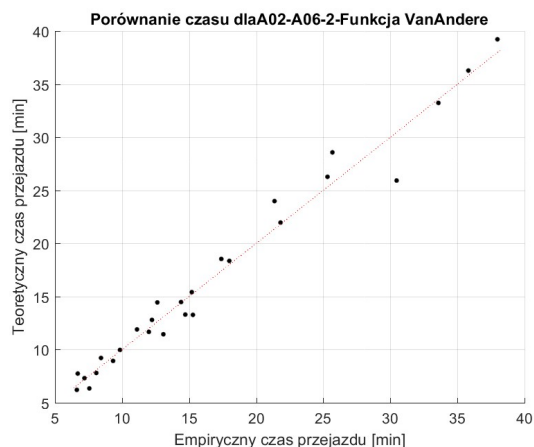
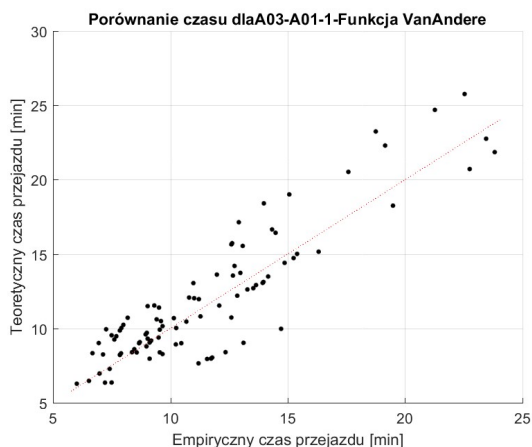
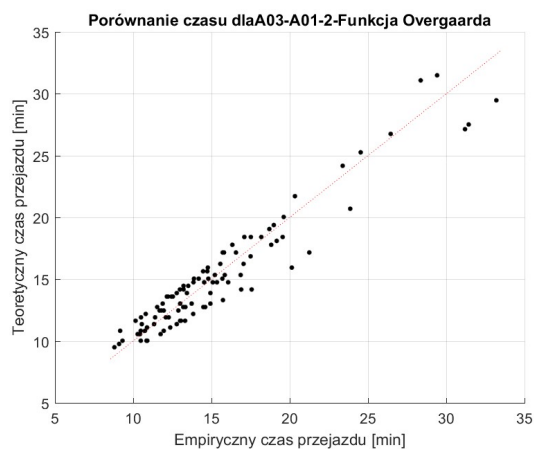
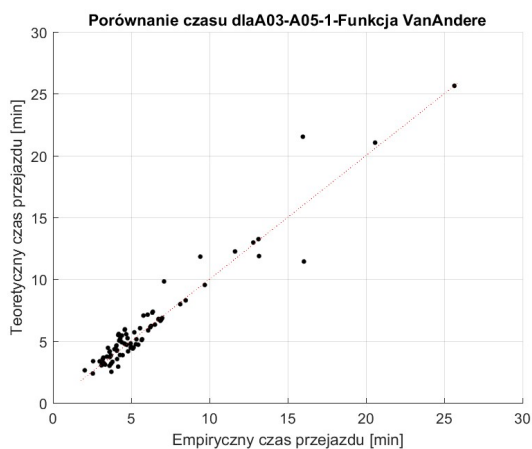
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



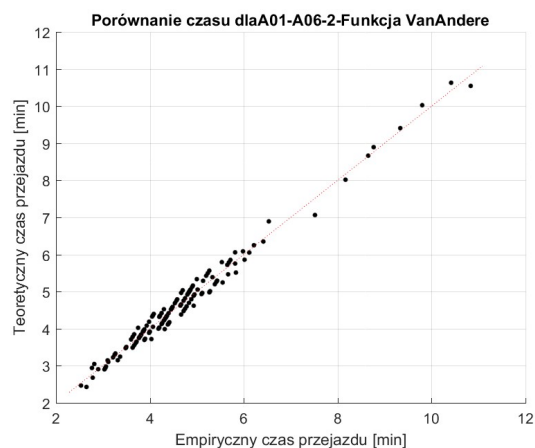
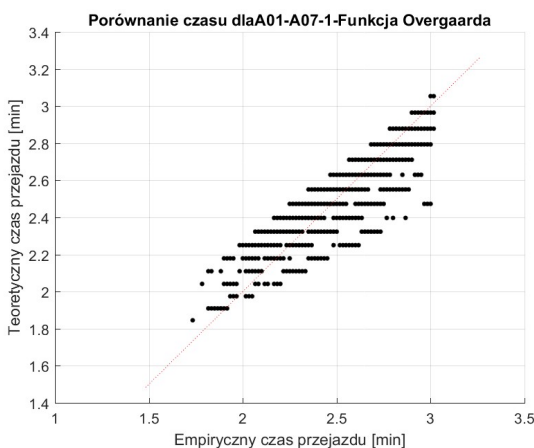
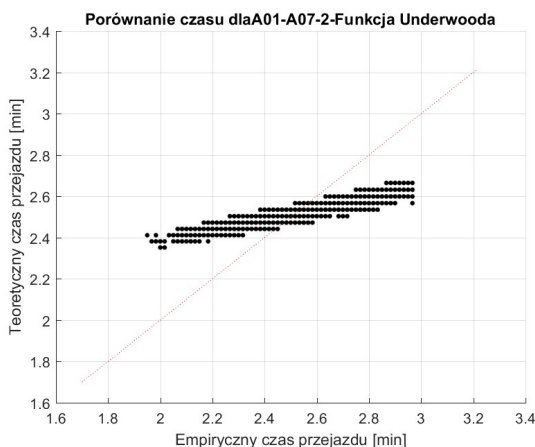
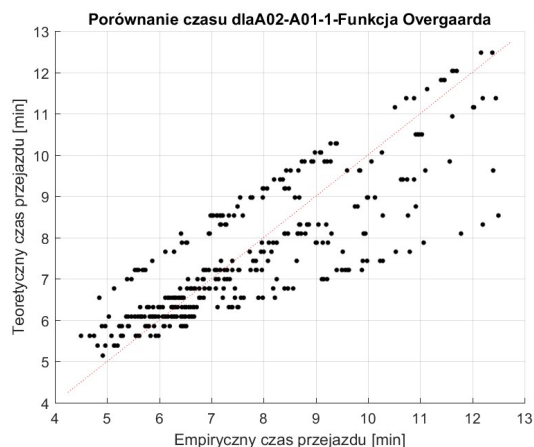
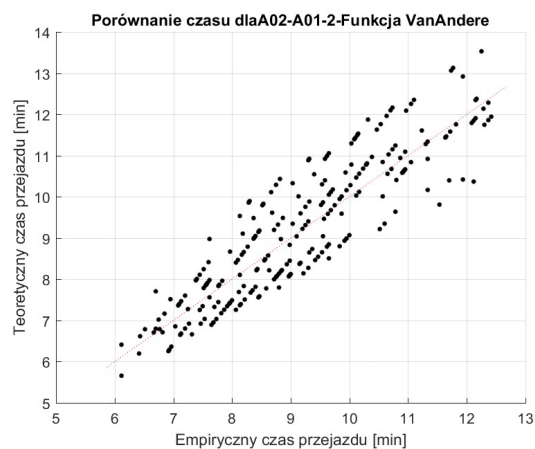
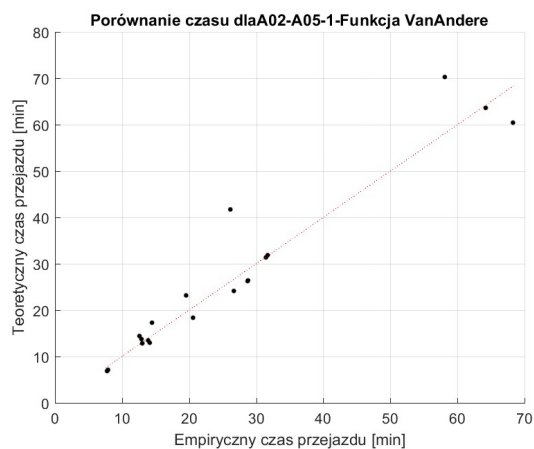
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



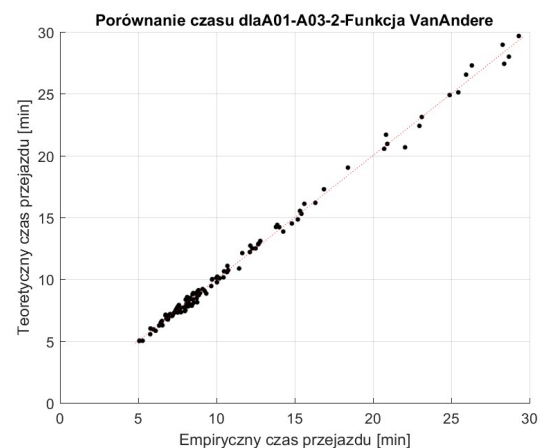
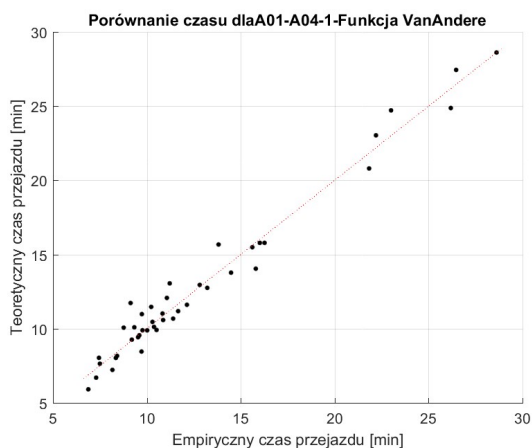
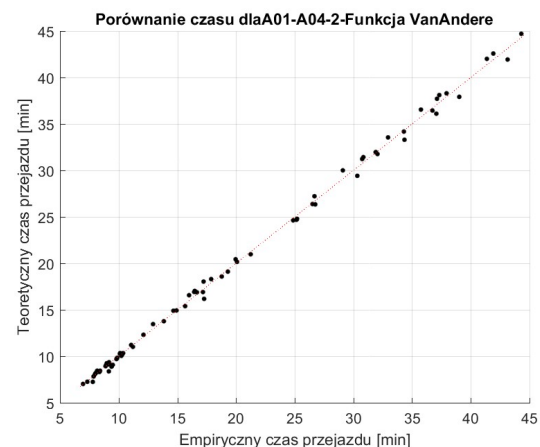
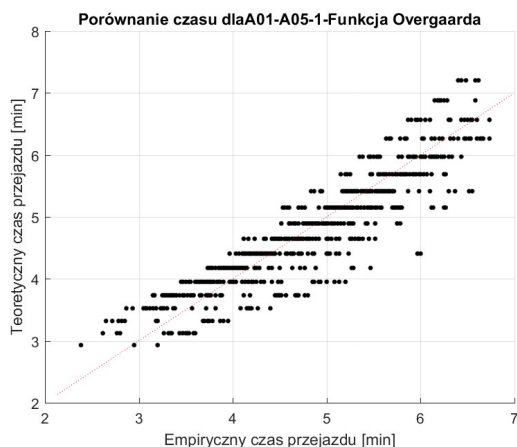
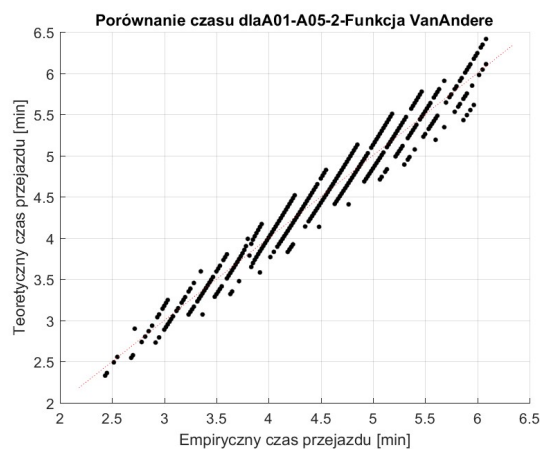
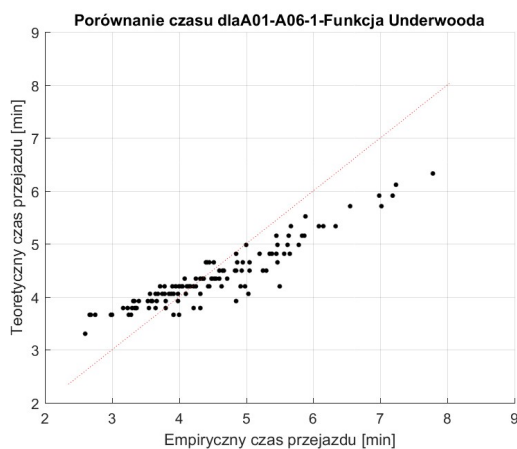
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



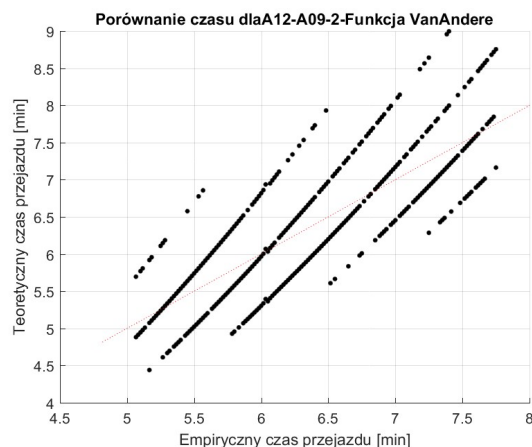
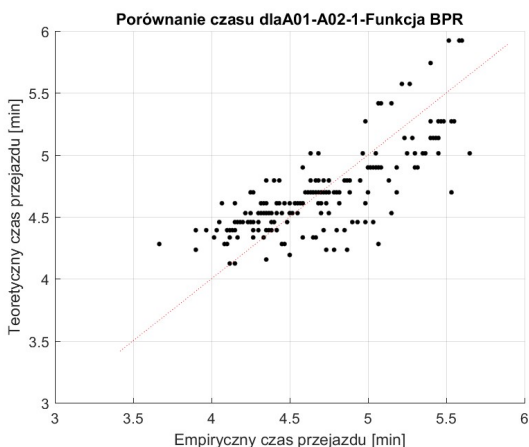
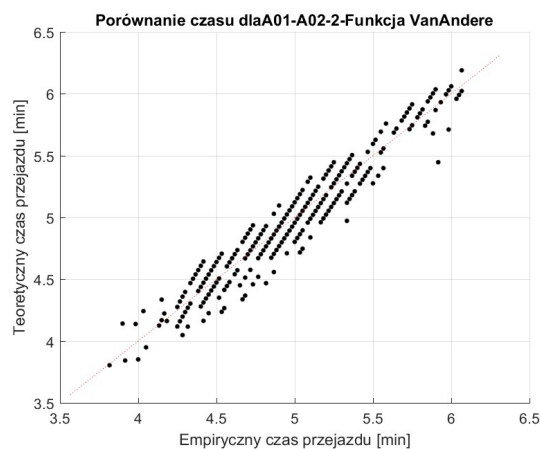
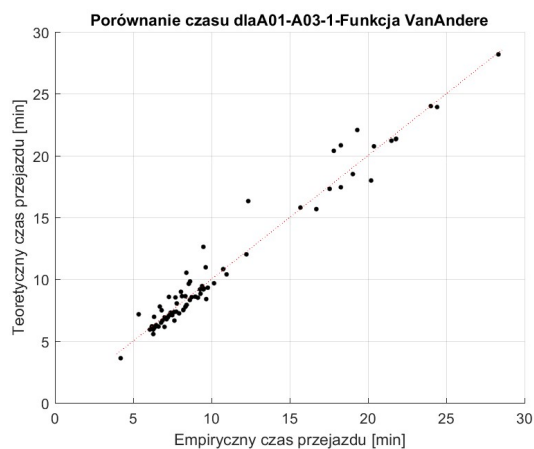
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



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



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



Źródło: opracowanie własne

Na podstawie oceny wizualnego dopasowania można zaobserwować, że modele wybrane tylko na podstawie współczynnika R^2 , niekoniecznie układają się wzdłuż prostej pomocniczej. Szczególnie jest to widoczne dla danych opisanych modelem prof. Krystka (wartości teoretyczne są przeszacowane). Łącząc wnioski z analizy współczynników R^2 , z oceny wizualnej jakości dopasowania wartości czasu przejazdu teoretycznego i empirycznego oraz z oceny wizualnej dopasowania modelu w relacji prędkość-gęstość ruchu, należy stwierdzić, że ostateczny wybór modelu powinien być dokonany po analizie danych dla wariantu między inwestycyjnego i po inwestycyjnego. Zgodnie z metodyką porównania systemów należy dokonać tego na podstawie tych samych modeli, zatem z wyborem właściwego modelu należy poczekać na wyniki analizy danych empirycznych dla stanu między inwestycyjnego i po inwestycyjnego.

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

2.2.6. Wykresy dopasowania modeli do danych empirycznych

Wykresy dla wszystkich prób badawczych ilustrujące dopasowanie wybranych modeli do danych empirycznych przedstawione są w załączniku 1. Jak można zauważyć jakość dopasowania istotnie zależy od liczby posiadanych danych empirycznych.

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

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,

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – wagi.

Przyjęte wagi dla komponentów muszą spełniać poniższe warunki:

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

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

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 po inwestycyjnym okresie analizy,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$(i = 1, 2, 3, \dots, I)$ – indeks opisujący liczbę odcinków drogowych wziętych do analizy,

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

$w_{o_{ij}}^a$ – liczba zdarzeń drogowych kategorii j-tej na i-tym odcinku drogowym w po inwestycyjnym okresie analizy,

$w_{o_{ij}}^b$ – liczba zdarzeń drogowych kategorii j-tej na i-tym odcinku drogowym w przed inwestycyjnym 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 po inwestycyjnym i przed inwestycyjnym,

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

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

Wagi korygujące dla tego składnika spełniają warunek:

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

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

Okres czasu brany pod uwagę w analizie obejmował rok 2019. Do wyznaczenia składników cząstkowych wskaźnika wybrano następujące kategorie zdarzeń drogowych oraz odpowiadające im wagi korygujące (Tabela 13).

Tabela 13 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

Wartości przyjętych wag korygujących zostały wyznaczone i znormalizowane na podstawie jednostkowych kosztów wypadków i kolizji drogowych². Wykaz odcinków drogowych objętych analizą wraz z wymaganymi parametrami niezbędnymi do wyznaczenia składowych wskaźnika przedstawia tabela 14.

² Jażdżik-Osmólska A., Korneć R.: *Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2018, z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych wypadków na transeuropejskiej sieci transportowej*, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, Warszawa 2019

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

Tabela 14 Wykaz odcinków drogowych objętych analizą

Lp.	Lokalizacja	Dł. odcinka [km]	L. Kolizji	L. lekko rannych	L. ciężko rannych	L. zabitych	Śr. natężenie ruchu [poj.]
1	Mikołowska I	38,44	52	1	0	0	2004
2	Mikołowska II	11,09	16	0	0	0	1560
3	Oświęcimska I	23,24	31	2	1	0	1650
4	Oświęcimska II	22,43	32	2	0	0	1178
5	Turyńska	27,47	15	0	0	0	1163
6	Katowicka	41,97	32	1	0	0	1157
7	Beskidzka I	60,25	54	0	0	1	1157
8	Wschodnia Obwodnica GOP	14,59	18	0	0	0	1157
9	Oświęcimska III	3,15	11	0	0	0	1045
10	Beskidzka II	16,39	28	0	0	0	1882
11	Beskidzka III	9	49	0	0	0	2280
12	Beskidzka IV	19,09	13	0	1	0	2280
13	Władysława Sikorskiego I	15,08	16	0	0	0	1299
14	Władysława Sikorskiego II	17,21	21	2	0	2	1067
15	Stoczniewców I	6,57	8	0	0	0	1084
16	Stoczniewców II	7,5	6	0	0	0	1327
17	Stoczniewców III	6,6	3	0	0	0	1345
18	Glińczańska	5,54	13	0	0	0	1276
19	Biskupa Burschego I	5,23	7	0	0	0	784
20	Biskupa Burschego II	4,7	2	0	0	0	864
21	Budowlanych I	11,36	15	0	0	0	1086
22	Gen. Władysława Andersa	6,63	8	0	0	1	707
23	Ks. Augusta Hłonda	7,34	8	0	0	0	494
24	Boczna, Sienkiewicza	5,2	8	0	0	0	494
25	Innocentego Bocheńskiego	3,69	11	0	0	0	591
26	Begonii	3,19	8	1	0	0	843
27	Budowlanych II	8,25	9	0	0	0	778
28	Budowlanych III	4,38	8	0	0	0	1053
29	Edukacji I	7,07	12	1	1	0	1039
30	Edukacji II	9,68	6	1	0	0	915
31	Edukacji III	3,92	3	0	0	0	849
32	Kardynała Wyszyńskiego	9,41	20	0	0	0	1062
33	Armii Krajowej I	4,94	12	0	0	0	1062

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

Lp.	Lokalizacja	Dł. odcinka [km]	L. Kolizji	L. lekko rannych	L. ciężko rannych	L. zabitych	Śr. natężenie ruchu [poj.]
34	Armii Krajowej II	6,14	9	1	0	1	1062
35	Jaśkowicka	6,15	4	0	0	0	1256
36	Al. Józefa Piłsudskiego I	14,23	28	0	0	0	1251
37	Al. Józefa Piłsudskiego II	7,59	19	1	0	0	2044
38	Towarowa	16,8	52	4	0	0	2391
39	al. Jana Pawła II	15,52	16	0	0	0	1032
40	al. Niepodległości I	17,36	28	2	0	0	974
41	al. Niepodległości II	3,97	6	0	0	0	1257
42	al. Bielska I	9,59	44	4	0	0	1731
43	al. Bielska II	10,32	16	0	0	0	1292
44	al. Bielska III	5,28	11	2	0	0	813
45	al. Bielska IV	5,96	6	0	0	0	813
46	al. Bielska V	8,59	10	0	0	0	1111

Źródło: opracowanie własne

Tabela 15 Wartości cząstkowe składowej wypadkowości dla odcinków drogowych

Lp.	Odcinek	$\sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{oij}^b$	$L_i \cdot \sqrt{q_i^b}$
1	Mikołowska I	0,53	172
2	Mikołowska II	0,16	44
3	Oświęcimska I	0,9	94
4	Oświęcimska II	0,34	77
5	Turyńska	0,15	94
6	Katowicka	0,33	143
7	Beskidzka I	0,95	205
8	Wschodnia Obwodnica GOP	0,18	50
9	Oświęcimska III	0,11	10
10	Beskidzka II	0,28	71
11	Beskidzka III	0,49	43
12	Beskidzka IV	0,7	91
13	Władysława Sikorskiego I	0,16	54
14	Władysława Sikorskiego II	1,05	56
15	Stoczniewców I	0,08	22

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

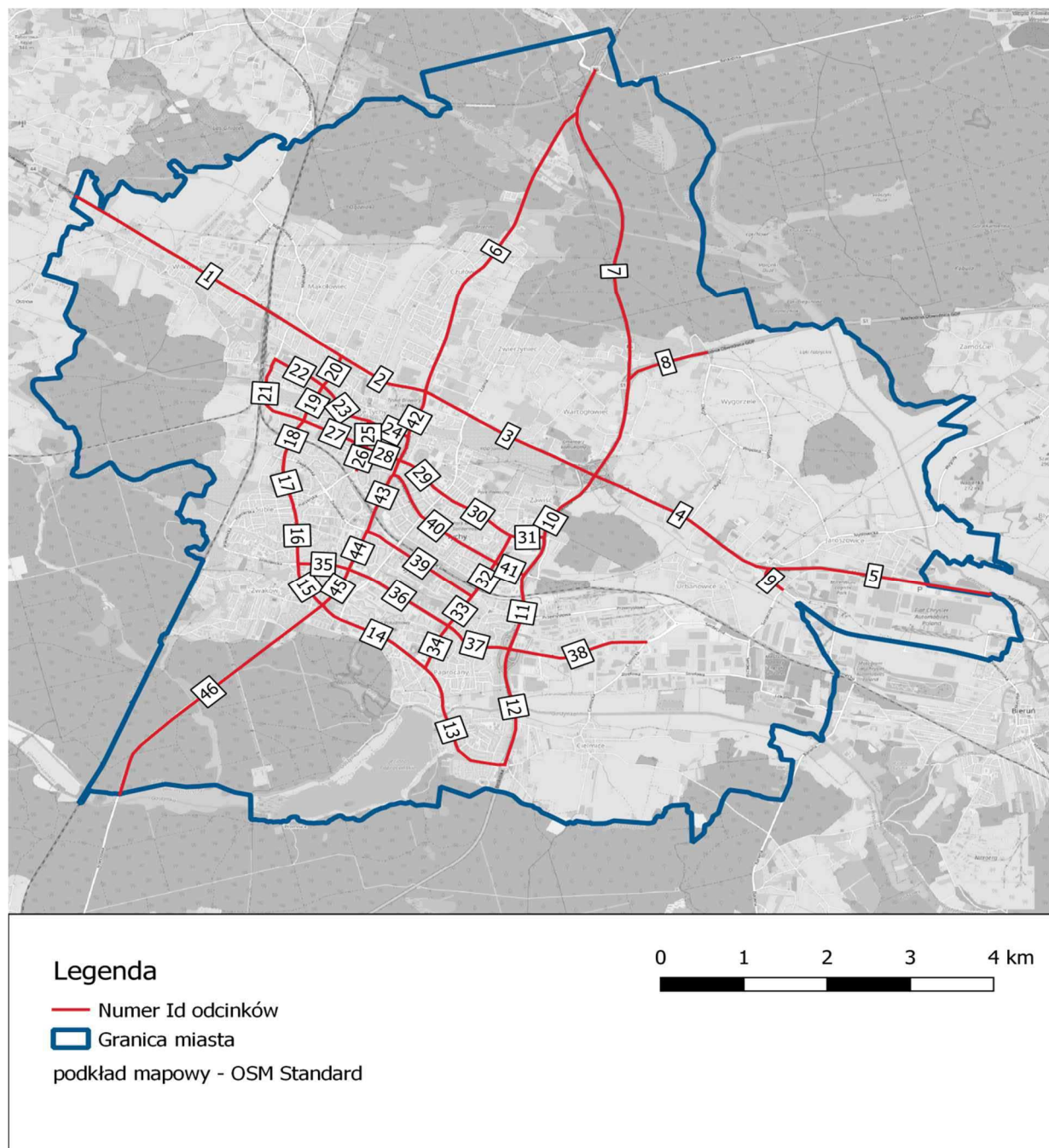
Lp.	Odcinek	$\sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{oij}^b$	$L_i \cdot \sqrt{q_i^b}$
16	Stoczniovców II	0,06	27
17	Stoczniovców III	0,03	24
18	Glińczańska	0,13	20
19	Biskupa Burschego I	0,07	15
20	Biskupa Burschego II	0,02	14
21	Budowlanych I	0,15	37
22	Gen. Władysława Andersa	0,49	18
23	Ks. Augusta Hlonda	0,08	16
24	Boczna, Sienkiewicza	0,08	12
25	Innocentego Bocheńskiego	0,11	9
26	Begonii	0,09	9
27	Budowlanych II	0,09	23
28	Budowlanych III	0,08	14
29	Edukacji I	0,7	23
30	Edukacji II	0,07	29
31	Edukacji III	0,03	11
32	Kardynała Wyszyńskiego	0,2	31
33	Armii Krajowej I	0,12	16
34	Armii Krajowej II	0,51	20
35	Jaśkowicka	0,04	22
36	Al. Józefa Piłsudskiego I	0,28	50
37	Al. Józefa Piłsudskiego II	0,2	34
38	Towarowa	0,56	82
39	al. Jana Pawła II	0,16	50
40	al. Niepodległości I	0,3	54
41	al. Niepodległości II	0,06	14
42	al. Bielska I	0,48	40
43	al. Bielska II	0,16	37
44	al. Bielska III	0,13	15
45	al. Bielska IV	0,06	17
46	al. Bielska V	0,1	29

Źródło: opracowanie własne

Lokalizacje przyjętych do analizy odcinków drogowych przedstawia Rysunek 6.

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

Rysunek 6 Lokalizacja odcinków drogowych objętych analizą



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 wartość cząstkowa składowej dla odcinków drogowych dla stanu przed inwestycyjnego wynosi:

$$S_{w_o}^b = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{oij}^b}{\sum_{i=1}^I L_i \cdot \sqrt{q_i^b}} = \frac{12,05}{2038} = 0,00591$$

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 po inwestycyjnym,

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

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

k_{max} – maksymalna ocena stanu nawierzchni,

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

Na podstawie przeprowadzonej oceny stanu nawierzchni analizowanych odcinków drogowych zgodnie z przyjętą metodyką projektu uzyskano wartości cząstkowe składowej przedstawione w tabeli 16.

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

Tabela 16 Punktowa ocena rozpatrywanych odcinków drogowych

Lp.	Odcinek	Dł. odcinka [km]	Punktowa ocena stanu nawierzchni (k)	$k_i^b L_i$
1	Mikołowska I	3,844	3	11,53
2	Mikołowska II	1,109	4	4,44
3	Oświęcimska I	2,324	3	6,97
4	Oświęcimska II	2,243	3	6,73
5	Turyńska	2,747	3	8,24
6	Katowicka	4,197	4	16,79
7	Beskidzka I	6,025	4	24,1
8	Wschodnia Obwodnica GOP	1,459	5	7,3
9	Oświęcimska III	0,315	5	1,58
10	Beskidzka II	1,639	4	6,56
11	Beskidzka III	0,9	3	2,7
12	Beskidzka IV	1,909	5	9,55
13	Władysława Sikorskiego I	1,508	2	3,02
14	Władysława Sikorskiego II	1,721	3	5,16
15	Stoczniowców I	0,657	3	1,97
16	Stoczniowców II	0,75	2	1,5
17	Stoczniowców III	0,66	4	2,64
18	Glińczańska	0,554	3	1,66
19	Biskupa Burschego I	0,523	3	1,57
20	Biskupa Burschego II	0,47	2	0,94
21	Budowlanych I	1,136	3	3,41
22	Gen. Władysława Andersa	0,663	2	1,33
23	Ks. Augusta Hłonda	0,734	2	1,47
24	Boczna, Sienkiewicza	0,52	4	2,08
25	Innocentego Bocheńskiego	0,369	3	1,11
26	Begonii	0,319	3	0,96
27	Budowlanych II	0,825	3	2,48
28	Budowlanych III	0,438	3	1,31
29	Edukacji I	0,707	2	1,41
30	Edukacji II	0,968	3	2,9
31	Edukacji III	0,392	4	1,57
32	Kardynała Wyszyńskiego	0,941	3	2,82
33	Armii Krajowej I	0,494	5	2,47
34	Armii Krajowej II	0,614	4	2,46

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

Lp.	Odcinek	Dł. odcinka [km]	Punktowa ocena stanu nawierzchni (k)	$k_i^b L_i$
35	Jaśkowicka	0,615	3	1,85
36	Al. Józefa Piłsudskiego I	1,423	3	4,27
37	Al. Józefa Piłsudskiego II	0,759	4	3,04
38	Towarowa	1,68	4	6,72
39	al. Jana Pawła II	1,552	2	3,1
40	al. Niepodległości I	1,736	2	3,47
41	al. Niepodległości II	0,397	3	1,19
42	al. Bielska I	0,959	3	2,88
43	al. Bielska II	1,032	2	2,06
44	al. Bielska III	0,528	3	1,58
45	al. Bielska IV	0,596	2	1,19
46	al. Bielska V	0,859	2	1,72

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie danych z tabeli 16 wartość cząstkowa składowej opisującej stan nawierzchni w okresie przed inwestycyjnym jest równa:

$$S_{k_o}^b = \frac{\sum_{i=1}^I k_i^b L_i}{k_{max} \cdot \sum_{i=1}^I L_i} = \frac{185,8}{284,05} = 0,65411$$

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

$$W_s = \frac{S_{pk}^a}{S_{pk}^b} + \frac{S_{ws}^a}{S_{ws}^b} + \frac{S_{Lcz}^a}{S_{Lcz}^b} + \frac{S_{to}^a}{S_{to}^b}$$

Gdzie:

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

S_{ws}^a, S_{ws}^b – składnik opisujący wypadkowość dla skrzyżowań odpowiednio w okresie po inwestycyjnym oraz przed inwestycyjnym,

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

S_{Lcz}^b, S_{Lcz}^a — składnik opisujący liczbę przejazdów na świetle 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 po inwestycyjnym oraz przed inwestycyjnym.

Wykaz skrzyżowań drogowych oraz skrzyżowań z ruchem pieszym objętych analizą wraz z wymaganymi parametrami niezbędnymi do wyznaczenia składowych wskaźnika przedstawia Tabela 17. Analogicznie jak w przypadku odcinków drogowych okres analizy obejmował rok 2019. Analiza wypadkowości obejmowała kategorie zdarzeń drogowych tożsame z przyjętymi dla odcinków drogowych wraz z odpowiadającymi im wagami korygującymi.

Tabela 17 Wykaz rozpatrywanych skrzyżowań oraz wartości cząstkowe składowej wskaźnika

ID	Opis	L. Kolizji	L. lekko rannych	L. ciężko rannych	L. zabitych	pk_m^b	t_{om}^b	$\sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{smj}^b$
1	Mikołowska, Wierzbowa	1	0	0	0	4	4	0,01
46	Mikołowska, Dojazdowa	3	0	0	0	3	1	0,03
2	Mikołowska, Leśna	4	0	0	0	4	4	0,04
3	Mikołowska, Podleska	2	1	0	0	3	-	0,03
4	Mikołowska, Wałowa	5	0	0	0	4	1	0,05
52	Mikołowska, A . Asnyka	1	0	0	0	3	4	0,01
5	Mikołowska - Tyskie Browary Książęce	2	0	0	0	5	4	0,02
6	Mikołowska, Burschego	6	1	0	0	4	4	0,07
7	Mikołowska, Powstańców	0	0	0	0	2	1	0
8	Mikołowska, Fiołków	0	0	0	0	11	4	0
9	Mikołowska, Katowicka	3	0	0	0	2	4	0,03
45	Katowicka, Tulipanów	1	0	0	0	8	2	0,01
17	Katowicka, Zwierzyniecka	1	0	0	0	3	4	0,01
16	Katowicka, Grabowa	0	0	0	0	4	1	0
10	Oświęcimska, Sadowa	3	1	1	0	3	4	0,61
49	Oświęcimska, Marzanny	2	1	0	0	3	2	0,03

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

ID	Opis	L. Kolizji	L. lekko rannych	L. ciężko rannych	L. zabitych	pk_m^b	t_{om}^b	$\sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{s_{mj}}^b$
11	Oświęcimska, Długa	3	0	0	0	12	2	0,03
12	Oświęcimska, Urbanowicka	2	0	0	0	4	-	0,02
13	Oświęcimska, Pogodna	1	0	0	0	4	1	0,01
14	Turyńska Oświęcimska	0	0	0	0	4	-	0
15	Turyńska, Samochodowa	2	0	0	0	2	-	0,02
44	Dworcowa, Browarowa	0	0	0	0	6	-	0
43	Burschego, Andersa	1	0	0	0	5	4	0,01
42	Budowlanych, Glinczańska	1	0	0	0	8	4	0,01
41	Budowlanych, Begonii	2	0	0	0	3	4	0,02
18	Budowlanych, al. Bielska, (Edukacji)	1	0	0	0	8	4	0,01
40	Edukacji, Stefana Grota Roweckiego	6	0	0	0	3	4	0,06
39	Edukacji, Filaretów	0	0	0	0	4	2	0
38	Edukacji, Wejhertów	1	0	0	0	2	2	0,01
38	Edukacji, Wyszyńskiego	1	0	0	0	4	2	0,01
19	Cienista, al. Bielska, (Niepodległości)	4	0	0	0	6	4	0,04
35	Al. Niepodległości, Stefana Grota Roweckiego	7	0	0	0	2	4	0,07
33	Al. Niepodległości, Fitelberga	0	0	0	0	3	1	0
36	Al. Niepodległości, Wyszyńskiego	5	0	0	0	4	4	0,05
34	Żwakowska, Kopernika	4	0	0	0	4	2	0,04
48	Al. Bielska, Hierowskiego	4	0	0	0	3	4	0,04
23	Stoczniowców, Reymonta	1	0	0	0	2	1	0,01
31	Al. Piłsudskiego, Tishnera	2	0	0	0	3	4	0,02
29	Al. Piłsudskiego, Paprocańska	0	0	0	0	8	1	0
30	Al. Piłsudskiego, Jordana	2	0	0	0	2	2	0,02
32	Towarowa	2	0	0	0	3	2	0,02
51	Bielska, Wjazd do Obi	2	0	0	0	4	2	0,02
22	Stoczniowców, Legionów Polskich	6	0	0	0	2	4	0,06
21	Al. Bielska, W. Sikorskiego	12	0	0	0	10	4	0,12
24	Sikorskiego, Wodny park Tychy	1	0	0	0	8	1	0,01

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

ID	Opis	L. Kolizji	L. lekko rannych	L. ciężko rannych	L. zabitych	pk_m^b	t_{om}^b	$\sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{smj}^b$
25	Sikorskiego, Uczniowska	0	0	0	0	6	2	0
26	Sikorskiego, Wieniawskiego	0	0	0	0	4	4	0
27	Sikorskiego Paprocańska	0	0	0	0	6	4	0
50	Sikorskiego, Hotel Piramida	1	0	0	0	2	4	0,01
28	Sikorskiego, Zacisze,	1	0	0	0	10	1	0,01
20	Al. Bielska, S. Czarnieckiego	11	0	0	0	4	1	0,11
53	Katowicka, Sadowa	6	1	0	0	2	1	0,07

Źródło: opracowanie własne

Wyznaczenie wartości składnika opisującego liczbę relacji realizowanych bezkolizyjnie na skrzyżowaniach

$$S_{pk}^b = \sum_{m=1}^M pk_m^b = 233$$

Wyznaczenie wartości składnika opisującego wypadkowość dla skrzyżowań

$$S_{ws}^b = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J c_j \cdot w_{smj}^b = 1,88$$

Wyznaczenie wartości składnika opisującego rodzaj oświetlenia oraz dodatkowe wyposażenie w elementy infrastruktury brd na skrzyżowaniach z ruchem pieszym i przejściach dla pieszych

$$S_{to}^b = 1 - \frac{\sum_{m=1}^M t_{om}^b}{\sum_{m=1}^M t_{o_max}} = 1 - \frac{130}{260} = 1 - 0,5 = 0,5$$

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

Wyznaczenie wartości składnika opisującego liczbę przejazdów na sygnale czerwonym

Wartości składowe składnika opisującego liczbę przejazdów na sygnale czerwonym zostały wyznaczone dla wybranych skrzyżowań w okresie przed inwestycyjnym. Wartości przedstawione w tabeli 18 obejmują łączną liczbę przejazdów na czerwonym świetle w okresie szczytu porannego i popołudniowego.

Tabela 18 Liczba przejazdów na czerwonym świetle dla wybranych skrzyżowań

ID	Opis	L_{czk}^b
9	Mikołowska, Katowicka, Oświęcimska	252
16	Katowicka, Grabowa	40
27	Sikorskiego, Paprociańska	23

Źródło: opracowanie własne

$$S_{Lcz}^b = \sum_{k=1}^K L_{czk}^b = 315$$

Wyznaczenie wartości elementów składowej wskaźnika dla skrzyżowań z przejazdami kolejowymi

$$W_{p_{kol}} = \frac{(\varphi * S_{rp}^a)}{S_{rp}^b}$$

Gdzie:

S_{rp}^b, S_{rp}^a – składnik opisujący typ przejazdu kolejowego odpowiednio w okresie przed inwestycyjnym oraz po inwestycyjnym,

φ – współczynnik poprawy bezpieczeństwa w ramach tej samej kategorii przejazdu kolejowo-drogowego.

$$0,1 \leq \varphi \leq 1$$

$$\varphi \in R_+$$

$$S_{rp}^b = 1 - \frac{\sum_{h=1}^H r_{ph}^b}{\sum_{h=1}^H r_{pmax}^b}$$

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

$$S_{r_p}^a = 1 - \frac{\sum_{h=1}^H r_{p_h}^a}{\sum_{h=1}^H r_{p_{max}}}$$

$r_{p_h}^b, r_{p_h}^a$ – ocena punktowa h-tego przejazdu kolejowego odpowiednio w okresie przed inwestycyjnym oraz po inwestycyjnym,

$r_{p_{max}}$ – maksymalna wartość oceny przejazdu kolejowego,

$(h = 1, 2, 3, \dots, H)$ – indeks opisujący numer analizowanego przejazdu kolejowego.

Ocena punktowa rozpatrywanych przejazdów kolejowych została wyznaczona na podstawie wzoru:

$$r_{p_h} = 1 - (IZW_{\Omega} + IZ\acute{S}_{\Omega} + IZP_{\Omega})$$

Gdzie:

$(\Omega = A, B, C, D)$ – indeks opisujący kategorię przejazdu kolejowego,

IZW_{Ω} – Indywidualne zagrożenie wypadkiem dla Ω kategorii przejazdu,

$IZ\acute{S}_{\Omega}$ – Indywidualne zagrożenie śmiercią dla Ω kategorii przejazdu,

IZP_{Ω} – Indywidualne zagrożenie poranieniem dla Ω kategorii przejazdu.

Wartości $IZW_{\Omega}, IZ\acute{S}_{\Omega}, IZP_{\Omega}$, zostały przyjęte zgodnie z metodyką przedstawioną w opracowaniu³.

$$IZW_A = 1,44 \cdot 10^{-9} \frac{W}{OPPK}$$

$$IZW_B = 1,06 \cdot 10^{-8} \frac{W}{OPPK}$$

$$IZW_C = 3,36 \cdot 10^{-8} \frac{W}{OPPK}$$

$$IZW_D = 2,76 \cdot 10^{-8} \frac{W}{OPPK}$$

$$IZ\acute{S}_A = 3 \cdot 10^{-10} \frac{O\acute{S}}{OPPK}$$

³ Cieślakowski S., *Ocena bezpieczeństwa na przejazdach kolejowych w Polsce*, Technika Transportu Szynowego 3/2009

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

$$IZ\dot{S}_B = 10,86 \cdot 10^{-10} \frac{O\dot{S}}{OPPK}$$

$$IZ\dot{S}_C = 78,8 \cdot 10^{-10} \frac{O\dot{S}}{OPPK}$$

$$IZ\dot{S}_D = 44,38 \cdot 10^{-10} \frac{O\dot{S}}{OPPK}$$

$$IZP_A = 2,9 \cdot 10^{-10} \frac{OR}{OPPK}$$

$$IZP_B = 3,26 \cdot 10^{-9} \frac{OR}{OPPK}$$

$$IZP_C = 2,26 \cdot 10^{-8} \frac{OR}{OPPK}$$

$$IZP_D = 7,73 \cdot 10^{-9} \frac{OR}{OPPK}$$

Jednostki poszczególnych zagrożeń podawane są w wypadkach (W), ofiarach śmiertelnych (OŚ) i ofiarach rannych (OR) na osobę przejeżdżającą przez przejazd kolejowy pojazdem kołowym (OPPK) w ciągu roku. Wykaz rozpatrywanych przejazdów kolejowych przedstawia tabela 19.

Tabela 19 Wykaz rozpatrywanych przejazdów kolejowych

Lp.	Lokalizacja	Klasa przejazdu
1	ul. Asnyka, Mikołowska	D
2	ul. Mikołowska, Burschego	D

Źródło: opracowanie własne

W związku z powyższym cząstkowe wartości składowej wskaźnika dla przejazdów kolejowych w okresie przed inwestycyjnym dla obydwu przejazdów są równe:

$$\begin{aligned} r_{ph}^b &= 1 - (IZW_D + IZ\dot{S}_D + IZP_D) = 1 - (2,76 \cdot 10^{-8} + 44,38 \cdot 10^{-10} + 7,73 \cdot 10^{-9}) \\ &= 1 - 3,98 \cdot 10^{-8} = 0,99999996 \end{aligned}$$

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

$$S_{r_p}^b = 1 - \frac{\sum_{h=1}^H r_{p_h}^b}{\sum_{h=1}^H r_{p_{max}}^b} = 1 - \frac{1,99999992}{1,999999996} = 3,77 \cdot 10^{-8}$$

Wyznaczenie składowej wskaźnika na podstawie danych statystycznych

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

Gdzie:

zd^a, zd^b – współczynnik zdarzeń drogowych w stanie po inwestycyjnym oraz przed inwestycyjnym.

Wyznaczone wartości współczynników zdarzeń drogowych w okresie przed inwestycyjnym przedstawia tabela 20.

Tabela 20 Wartości cząstkowe współczynnika zdarzeń drogowych

				Liczba zdarzeń drogowych							
				Stan przed inwestycyjny (zd^b)				Stan po 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	384	10	0	2				
		lato	2	371	11	1	0				
		jesień	3	478	16	2	2				
		zima	4	369	4	1	2				
Warunki	C_{stat_2}	Światło dzienne	5	1397	35	3	2				

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 przed inwestycyjny (zd ^b)				Stan po inwestycyjny (zd ^a)			
				A	B	C	D	A	B	C	D
				kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity	kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity
Warunki atmosferyczne		Noc - droga oświetlona	6	328	9	2	5				
		Noc - droga nieoświetlona	7	57	1	0	1				
		Świt, zmrok	8	92	5	0	0				
	C _{stat2}	Dobre warunki atmosferyczne	9	1296	36	5	2				
		Opady deszczu	10	210	8	0	2				
		Opady śniegu, gradu	11	43	0	0	0				
		Silny wiatr	12	6	0	0	0				
		Mgła, dym	13	14	0	0	0				
		pozostałe	14	315	6	0	4				
	C _{stat3}	Mokra	15	384	9	0	4				
		Sucha	16	1414	41	5	3				
		Obłodzenie, zaśnieżenie	17	63	0	0	0				
		Kałuże, rozlewiska	18	7	0	0	1				
		Koleiny, garby	19	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 przed inwestycyjny (zd ^b)				Stan po inwestycyjny (zd ^a)			
				A	B	C	D	A	B	C	D
				kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity	kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity
		Dziury, wyboje	20	3	0	0	0				
		Mokra; Dziury, wyboje	21	1	0	0	0				
		pozostałe	22	0	0	0	0				
Miejsce zdarzenia	C _{stat3}	Skrzyżowanie	23	410	12	1	1				
		Odcinek prosty	24	1432	21	2	4				
		Przejście dla pieszych	25	22	14	2	3				
		Przejazd dla rowerzystów	26	10	3	0	0				
Ograniczenie prędkości	C _{stat4}	do 50 km/h	27	1678	49	4	6				
		51 do 70 km/h	28	81	1	1	0				
		powyżej 70 km/h	29	115	0	0	2				
Występowanie sygnalizacji świetlnej	C _{stat5}	tak	30	103	1	0	0				
		nie	31	1763	49	5	8				
		sygnalizacja ostrzegawcza	32	8	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 przed inwestycyjny (zd ^b)				Stan po inwestycyjny (zd ^a)				
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity	kolizja	lekko ranny	ciężko ranny	zabity	
Występowanie oznakowania poziomego	C _{stat6}	tak	33	1533	46	4	7					
		nie	34	341	4	1	1					
	$\sum_{c_{stat6}=1}^U \sum_{n=1}^N lzd_{un}$			14730	391	39	62					
	c _j			0,01	0,01	0,57	0,41					
	$q_j = \frac{lzd_j * c_j}{\sum l_y}$			0,0096768	0,0002569	0,0014604	0,00167					
				zd ^b = q _{j=A} + q _{j=B} + q _{j=C} + q _{j=D}				0,013064	zd ^a = q _{j=A} + q _{j=B} + q _{j=C} + q _{j=D}			

Źródło: opracowanie własne

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

Zgodnie z przyjętą metodyką 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 było możliwe dzięki wykorzystaniu stworzonego modelu symulacyjnego systemu transportowego miasta Tychy oraz danych uzyskanych od miasta Tychy oraz Siemens Mobility Sp. z o.o.

Model symulacyjny

Model symulacyjny systemu transportowego miasta Tychy został wykonany w programie Aimsun Next 20.

Stworzony został w skali mikro. W ramach modelu bardzo dokładnie odwzorowano:

- infrastrukturę transportową,
- organizację ruchu,
- ruch drogowy,
- linie miejskiego transportu zbiorowego.

W modelu wykorzystano dane na temat ruchu drogowego z pomiarów zrealizowanych w ramach projektu. Na ich podstawie w programie przygotowane zostały macierze ruchu dla każdej z klas pojazdów

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

(samochody osobowe, samochody dostawcze, samochody ciężarowe, samochody ciężarowe z przyczepą oraz autobusy). Symulacje zostały przygotowane dla godziny szczytu porannego i popołudniowego w godzinach 7:15-8:15 oraz 15:15-16:15. Dla obu przedziałów czasu opracowane zostały odrębne scenariusze dla symulacji uwzględniające różnice w liczbie i strukturze rodzajowej pojazdów. Model został skalibrowany z wykorzystaniem danych z pomiarów przekrojowych. Uzyskano wskaźniki R^2 dla modeli symulacyjnych o wartości: 0,933 dla szczytu porannego i 0,883 dla szczytu popołudniowego.

Dzięki wykonaniu modelu symulacyjnego w skali mikro możliwe było bardzo szczegółowe odwzorowanie geometrii odcinków drogowych. Uwzględnione zostały klasy dróg, szerokości pasów ruchu oraz rozmiary skrzyżowań. W ramach modelu odwzorowane zostały skrzyżowania wielopoziomowe, ronda, lokalizacja przystanków autobusowych i trolejbusowych oraz infrastruktura kolejowa. Odwzorowana infrastruktura transportowa obejmuje obszar uzgodniony z Zamawiającym. Model infrastruktury został przedstawiony na rysunku 7.

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



Rysunek 7 Model sieci transportowej dla miasta Tychy

Źródło: opracowanie własne

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

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

Wskaźnik pośredni dla zużycia paliw płynnych

Wykonany model symulacyjny w programie Aimsun wykorzystano do uzyskania wyników na temat zużycia paliw płynnych w systemie transportowym miasta Tychy. 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). Charakterystyki te zostały zaprezentowane w tabeli 21.

Tabela 21 Przyjęte charakterystyki dla pojazdów ekwiwalentnych dla każdej klasy pojazdów

	Samochód osobowy	Samochody dostawcze	Samochody ciężarowe	Samochody ciężarowe z przyczepą	Autobus miejski
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

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

Po wprowadzeniu charakterystyk do programu oraz wykonaniu symulacji dla godziny szczytu porannego i popołudniowego dla każdej z klas pojazdów uzyskano wyniki, będące łącznym zużyciem paliw płynnych w godzinie symulacji. Uzyskane wyniki zostały zaprezentowane w tabeli 22.

Tabela 22 Uzyskane wyniki zużycia paliw płynnych dla klas pojazdów dla szczytu porannego i popołudniowego

	Samochód osobowy	Samochody dostawcze	Samochody ciężarowe	Samochody ciężarowe z przyczepą	Autobus miejski
Zużycie paliw płynnych dla godziny szczytu porannego [litry]	7 261,41	459,36	284,39	494,15	53,19
Zużycie paliw płynnych dla godziny szczytu popołudniowego [litry]	11 570,18	382,72	134,91	406,09	25,65

Źródło: opracowanie własne

Wskaźnik pośredni dla zużycia energii elektrycznej

Wskaźnik pośredni dla energii elektrycznej został obliczony dwóch zbiorów danych:

- liczby zużytych kilowatogodzin przez kursujące po mieście trolejbusy,
- liczby zużytych kilowatogodzin przez infrastrukturę drogową objętą inwestycją.

Dane na temat zużycia energii elektrycznej przez trolejbusy w całym 2019 roku uzyskano od Tyskich Linii Trolejbusowych Spółka z o.o. Zostały one opracowane pod kątem zużycia dobowego. Po ich przekształceniu uzyskano wartość średniego dobowego zużycia energii elektrycznej dla trolejbusów o wartości 6 657,59 kWh.

Zużycie energii elektrycznej przez infrastrukturę transportową objętą inwestycją zostało wyznaczone na podstawie odczytów z liczników udostępnionych przez miasto Tychy. Pozyskane dane ze względu na różne terminy odczytów przeprowadzanych przez miasto w 2019 obejmują cały lub prawie cały rok. Dzięki znajomości liczby dni, przez jaki przeprowadzany był odczyt, możliwe było przekształcenie danych w sposób analogiczny, jak w przypadku trolejbusów do postaci średniego dobowego zużycia energii elektrycznej przez infrastrukturę transportową. Uzyskane wartości średniego zużycia energii elektrycznej dla trolejbusów i infrastruktury transportowej przedstawiono w tabeli 23.

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

Tabela 23 Średnie dobowe zużycie energii elektrycznej dla trolejbusów i infrastruktury objętej inwestycją

Zużycie energii elektrycznej – infrastruktura [kWh]	515,82
Zużycie energii elektrycznej – trolejbusy [kWh]	6 657,59

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie uzyskanych wyników (tabele 22 i 23) obliczono wartości następujących wskaźników pośrednich:

1. $SF_p = 21\,072,05$ – sumaryczne zużycie paliw płynnych dla stanu przed realizacją inwestycji [litry],
2. $SE_p = 7\,173,41$ – sumaryczne zużycie energii elektrycznej dla stanu przed realizacją inwestycji [kWh].

Obliczenie wskaźnika bezpośredniego WBZEP wraz z wagami w_1 i w_2 będzie możliwe po uzyskaniu wyników dla stanu po realizacji inwestycji.

Ze względu na dalsze prace nad modelem symulacyjnym, wartości oszacowane na podstawie modelu zostaną zaktualizowane po jego ostatecznym zatwierdzeniu przez Zamawiającego, a co za tym idzie aktualizacji ulegną również wartości wskaźnika pośredniego dla zużycia paliw płynnych, wskaźników efektywności zużycia energii elektrycznej i paliw płynnych.

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

5. Spis rysunków

RYSUNEK 1 LOKALIZACJA PUNKTÓW POMIAROWYCH	6
RYSUNEK 2 ROZKŁAD PRAWDOPODOBIENSTWA CZASU PRZEJAZDU (PO LEWEJ) ORAZ SKUMULOWANE PRAWDOPODOBIENSTWO (PO PRAWEJ) DLA CAŁEJ SIECI BEZ PODZIAŁU NA PORĘ DNIA	15
RYSUNEK 3 ROZKŁAD PRAWDOPODOBIENSTWA PRĘDKOŚCI (PO LEWEJ) ORAZ SKUMULOWANE PRAWDOPODOBIENSTWO (PO PRAWEJ) DLA CAŁEJ SIECI BEZ PODZIAŁU NA PORĘ DNIA	15
RYSUNEK 4 KLASYFIKACJA ODCINKÓW DROGOWYCH	19
RYSUNEK 5 ZBIÓR WYKRESÓW PREZENTUJĄCYCH ZALEŻNOŚĆ EMPIRYCZNEGO CZASU Z TEORETYCZNYM CZASEM PRZEJAZDU	28
RYSUNEK 6 LOKALIZACJA ODCINKÓW DROGOWYCH OBJĘTYCH ANALIZĄ	47
RYSUNEK 7 MODEL SIECI TRANSPORTOWEJ DLA MIASTA TYCHY	63

6. Spis tabel

TABELA 1 STATYSTYKA OPISOWA DLA POMIARU CZASU PRZEJAZDU DLA SZCZYTU PORANNEGO	8
TABELA 2 STATYSTYKA OPISOWA DLA POMIARU CZASU PRZEJAZDU DLA SZCZYTU POPOŁUDNIOWEGO	9
TABELA 3 STATYSTYKA OPISOWA DLA POMIARU CZASU PRZEJAZDU W KWARTALE MIASTA DLA SZCZYTU PORANNEGO	11
TABELA 4 STATYSTYKA OPISOWA DLA POMIARU CZASU PRZEJAZDU W KWARTALE MIASTA DLA SZCZYTU POPOŁUDNIOWEGO	12
TABELA 5 LICZBA POJAZDÓW PODDANA ANALIZIE W UJĘCIU NA RELACJĘ I W ZALEŻNOŚCI OD PORY DOBY	13
TABELA 6 KATEGORIE DRÓG W SIECI DROGOWEJ MIASTA TYCHY	18
TABELA 7 WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA DETERMINACJI R^2 DLA WYBRANYCH POSTACI FUNKCYJNYCH DLA CZASU PRZEJAZDU	23
TABELA 8 PARAMETRY FUNKCJI OPORU BPR DLA POSZCZEGÓLNYCH RELACJI POMIAROWYCH	25
TABELA 9 PARAMETRY FUNKCJI OPORU OVERGAARD'A DLA POSZCZEGÓLNYCH RELACJI POMIAROWYCH	25
TABELA 10 PARAMETRY FUNKCJI OPORU UNDERWOOD'A DLA POSZCZEGÓLNYCH RELACJI POMIAROWYCH	26
TABELA 11 PARAMETRY MODELU QVK DLA FUNKCJI VANAERDE DLA POSZCZEGÓLNYCH RELACJI POMIAROWYCH	26
TABELA 12 PARAMETRY MODELU QVK DLA FUNKCJI PROF. KRYSKA DLA POSZCZEGÓLNYCH RELACJI POMIAROWYCH	27
TABELA 13 KATEGORIE ROZPATRYWANYCH ZDARZEŃ DROGOWYCH	43
TABELA 14 WYKAZ ODCINKÓW DROGOWYCH OBJĘTYCH ANALIZĄ	44
TABELA 15 WARTOŚCI CZĄSTKOWE SKŁADOWEJ WYPADKOWOŚCI DLA ODCINKÓW DROGOWYCH	45
TABELA 16 PUNKTOWA OCENA ROZPATRYWANYCH ODCINKÓW DROGOWYCH	49
TABELA 17 WYKAZ ROZPATRYWANYCH SKRZYŻOWAŃ ORAZ WARTOŚCI CZĄSTKOWE SKŁADOWEJ WSKAŹNIKA	51
TABELA 18 LICZBA PRZEJAZDÓW NA CZERWONYM ŚWIECIE DLA WYBRANYCH SKRZYŻOWAŃ	54
TABELA 19 WYKAZ ROZPATRYWANYCH PRZEJAZDÓW KOLEJOWYCH	56
TABELA 20 WARTOŚCI CZĄSTKOWE WSPÓŁCZYNNIKA ZDARZEŃ DROGOWYCH	57
TABELA 21 PRZYJĘTE CHARAKTERYSTYKI DLA POJAZDÓW EKWIWALENTNYCH DLA KAŻDEJ KLASY POJAZDÓW	64
TABELA 22 UZYSKANE WYNIKI ŻUŻYCIA PALIW PŁYNNYCH DLA KLAS POJAZDÓW DLA SZCZYTU PORANNEGO I POPOŁUDNIOWEGO	65

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

TABELA 23 ŚREDNIE DOBOWE ZUŻYCIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ DLA TROLEJBUSÓW I INFRASTRUKTURY OBJĘTEJ INWESTYCJĄ.....	66
---	----

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

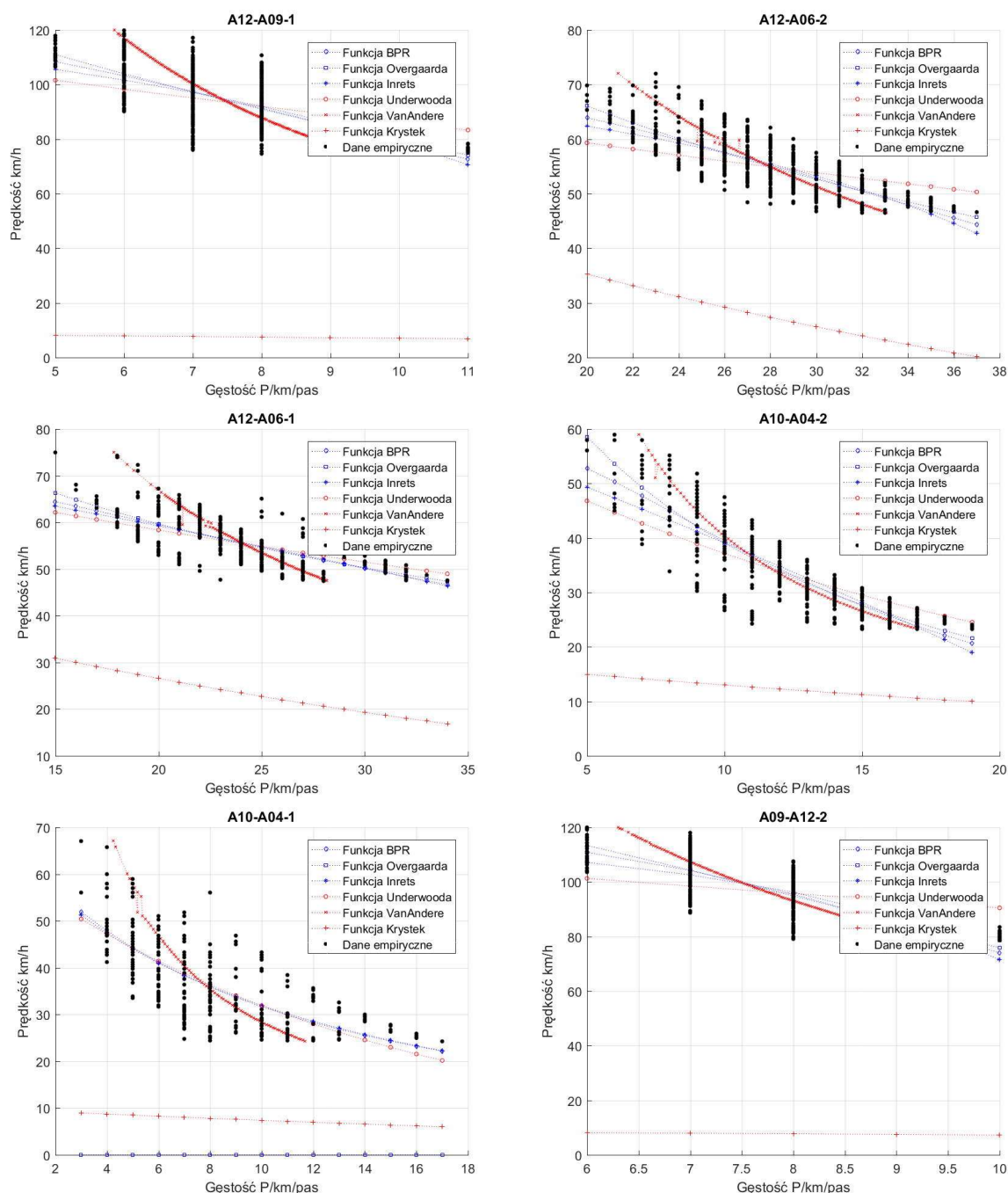
7. Wykaz literatury

- [1] Cieślakowski S., *Ocena bezpieczeństwa na przejazdach kolejowych w Polsce*, Technika Transportu Szynowego 3/2009;
- [2] Jażdżik-Osmólska A., Korneć R., *Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2018, z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych wypadków na transeuropejskiej sieci transportowej*, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, Warszawa 2019;
- [3] Kucharski R., Drabicki A., *Estimating Macroscopic Volume Delay Functions with the Traffic Density Derived from Measured Speeds and Flows*, Journal of Advanced Transportation Volume 2017, Article ID 4629792, <https://doi.org/10.1155/2017/4629792>;
- [4] Matusz P., Rudecki G., Oskarbski J., Jamroz K., *Problematyka modelowania zależności prędkość – gęstość – natężenie w warunkach ruchu miejskiego*. Transport Miejski i Regionalny 07/2016;
- [5] Zawisza M., Maciasz K., Birr K., Jamroz K., Budziszewski T., *Wybrane problemy modelowania rozkładu przestrzennego i czasu podróży na przykładzie Gdańska*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału SITK w Krakowie, nr 1 (97), 2012;
- [6] Żochowska R., *Modelowanie wyboru trasy w gęstych sieciach miejskich*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, TRANSPORT z. 71, 2011.

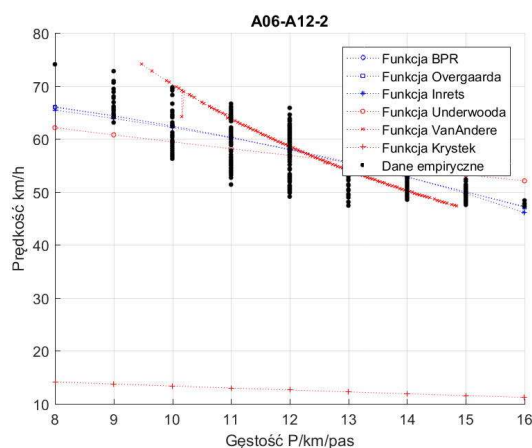
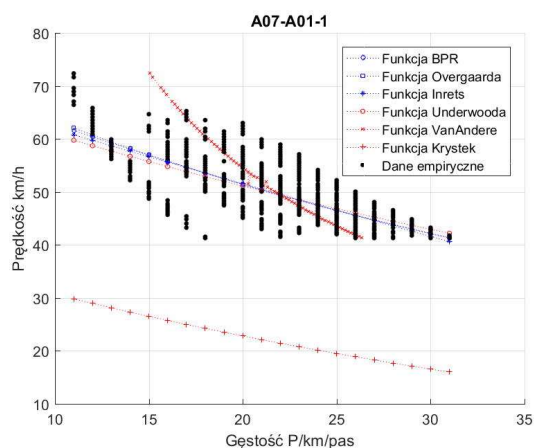
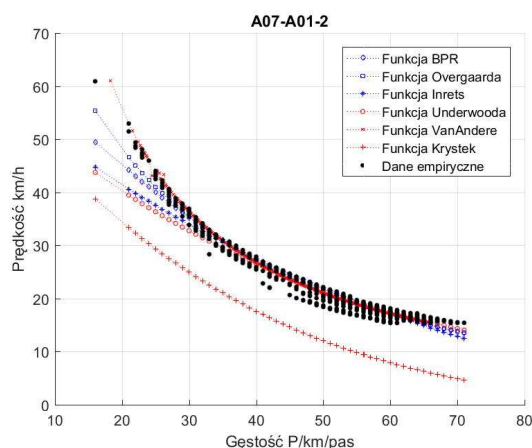
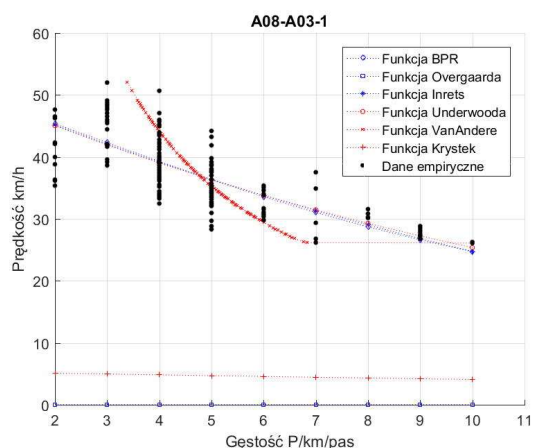
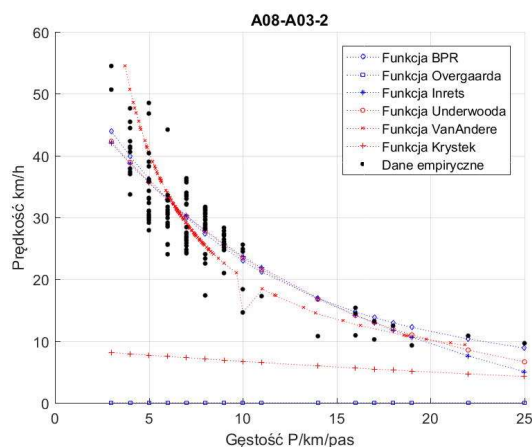
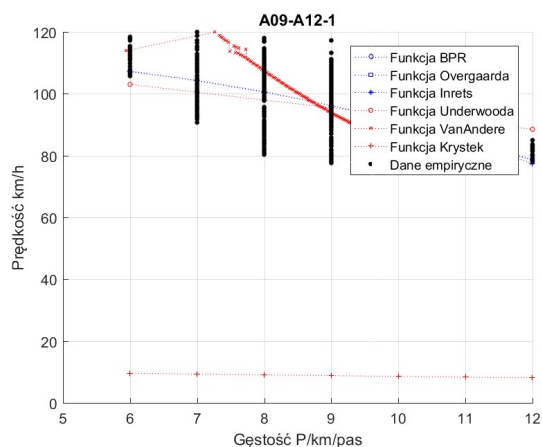
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

Załącznik 1.

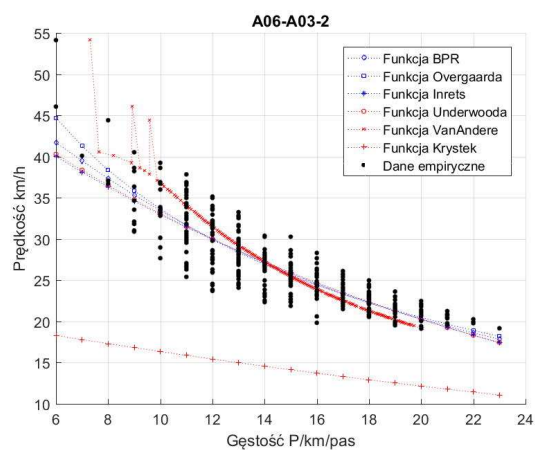
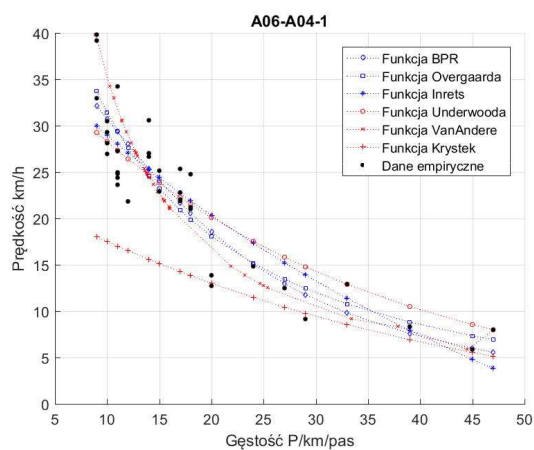
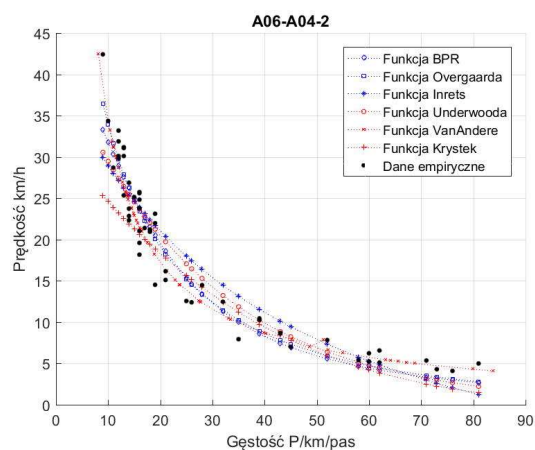
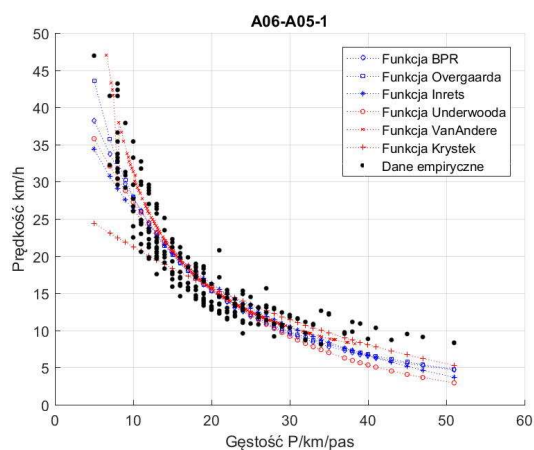
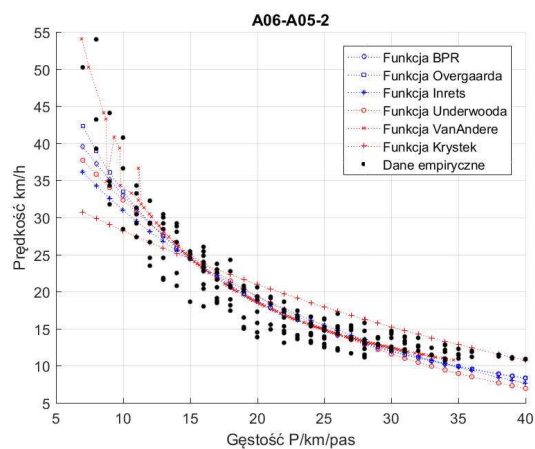
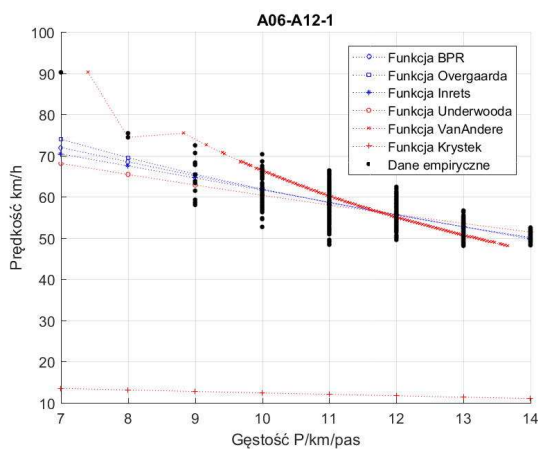
Wykresy dopasowania modeli do danych empirycznych



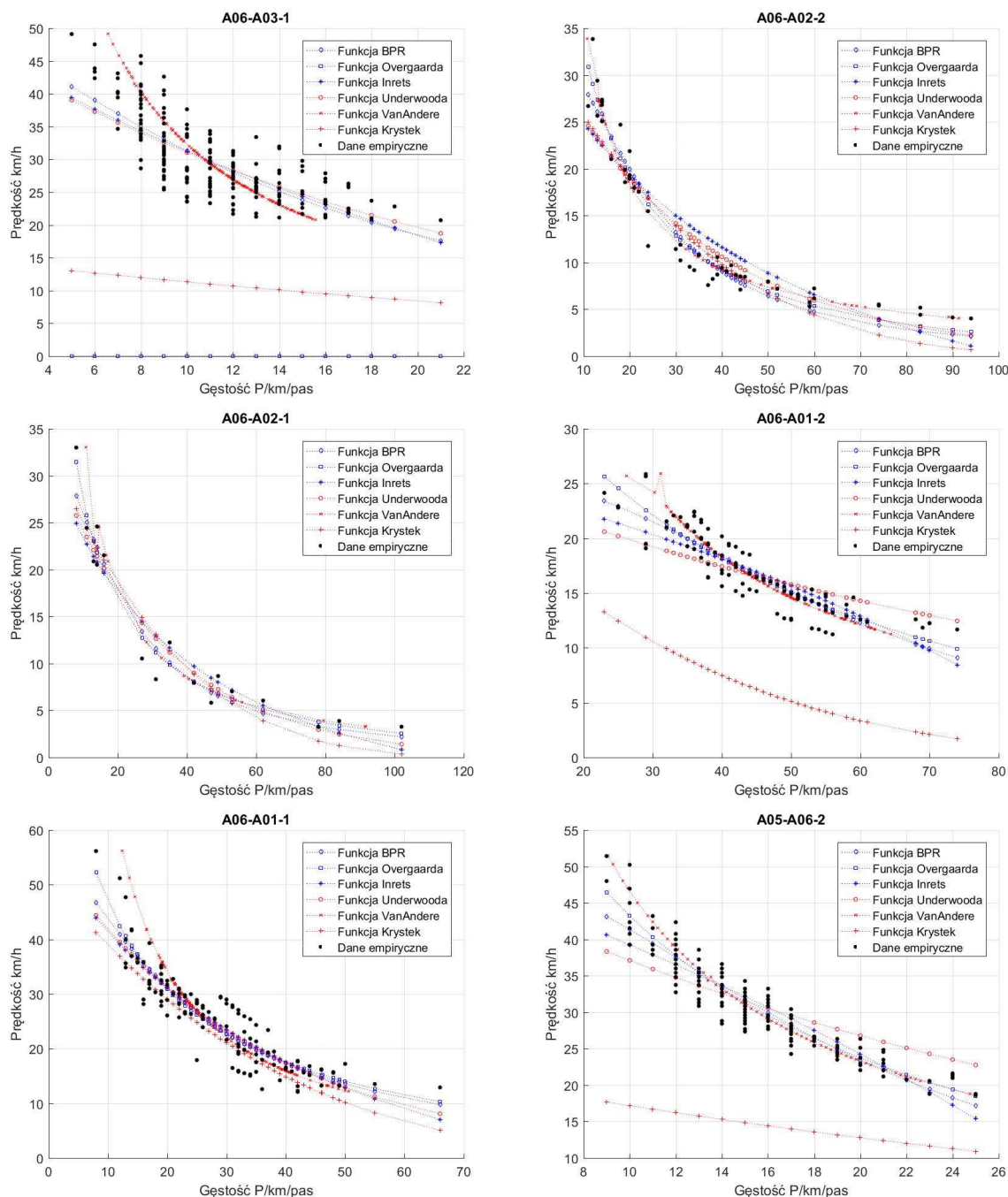
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



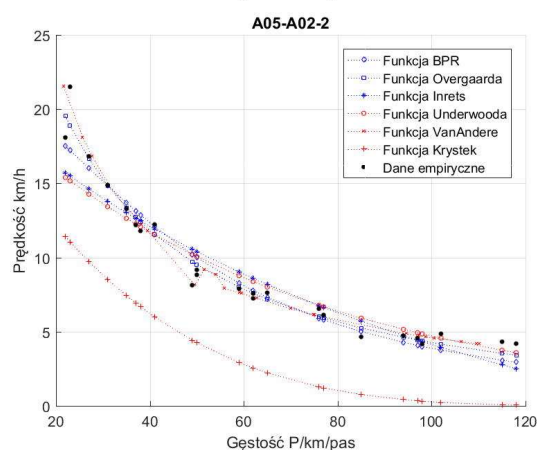
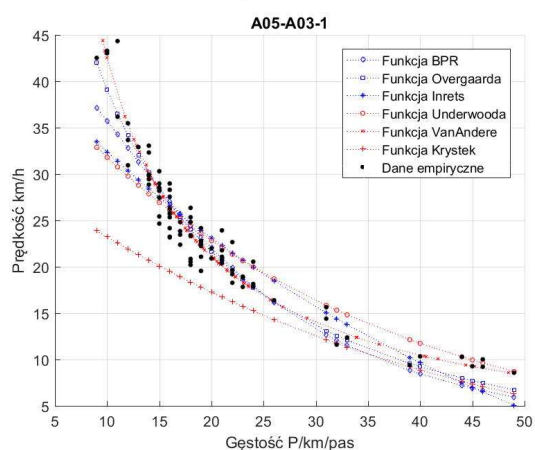
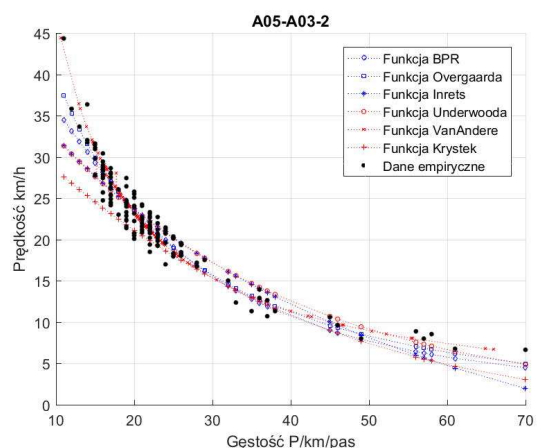
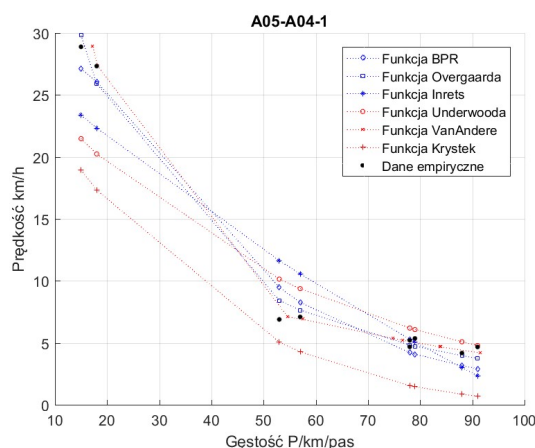
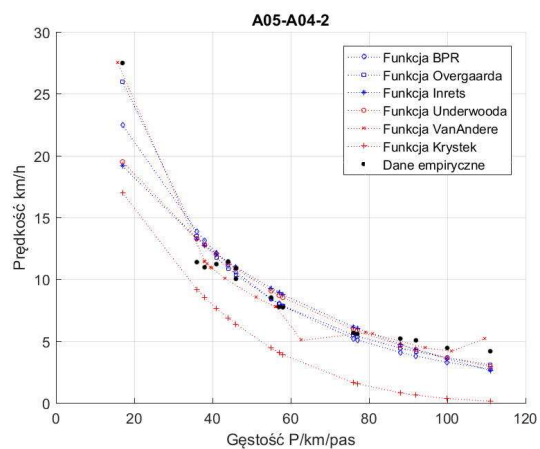
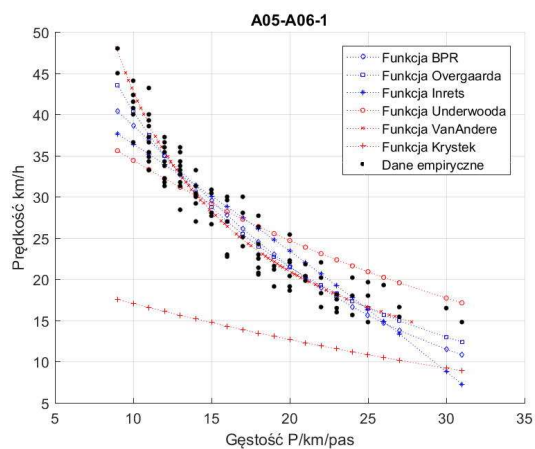
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



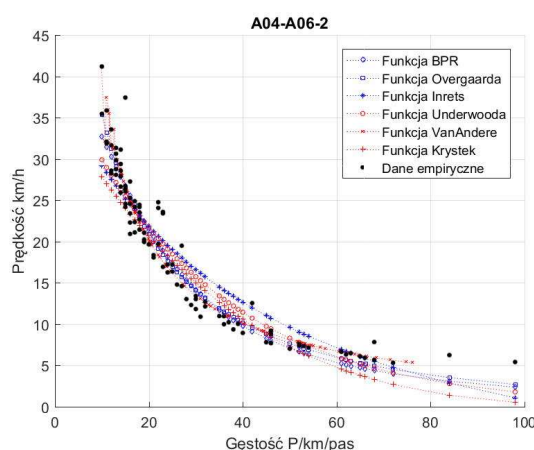
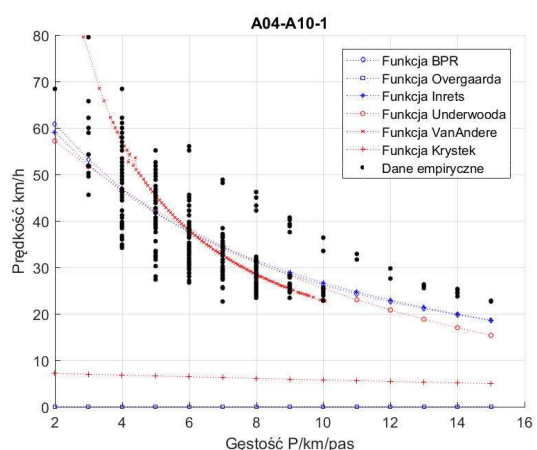
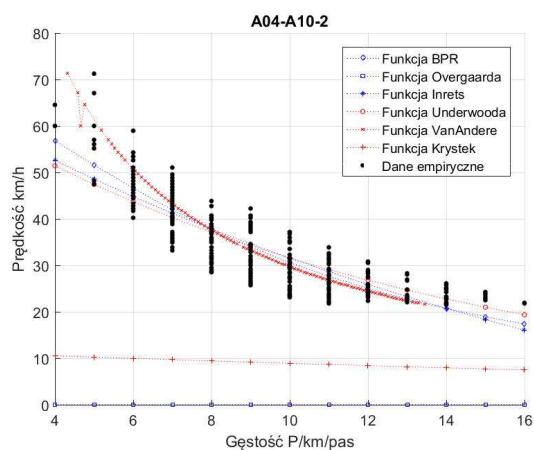
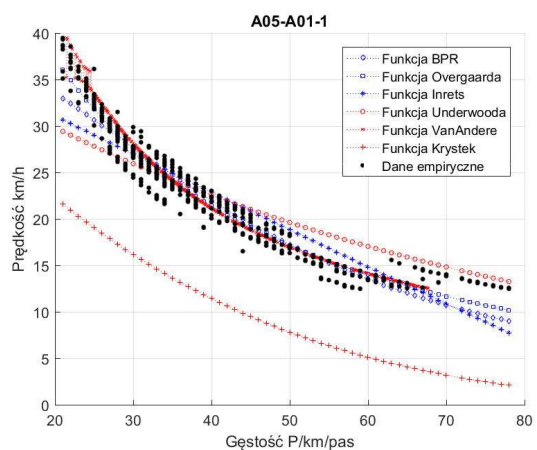
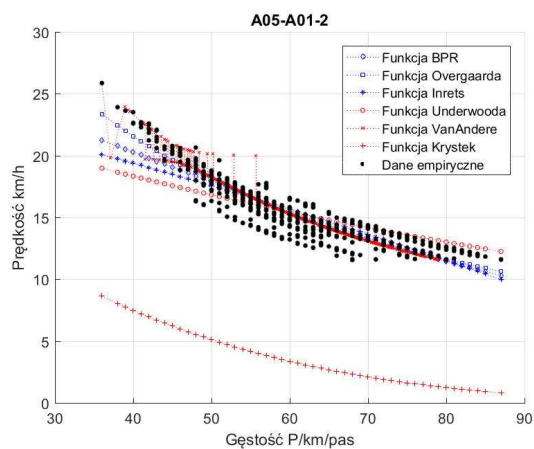
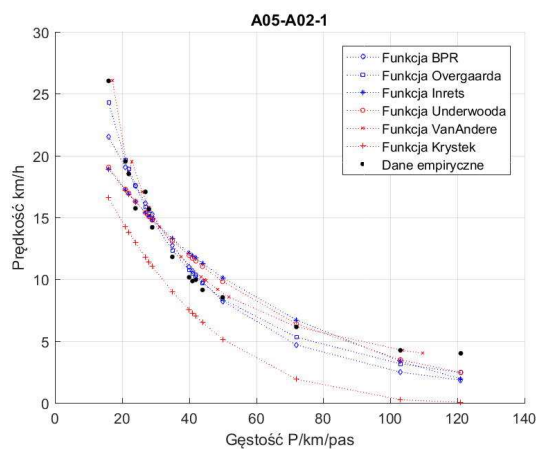
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



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

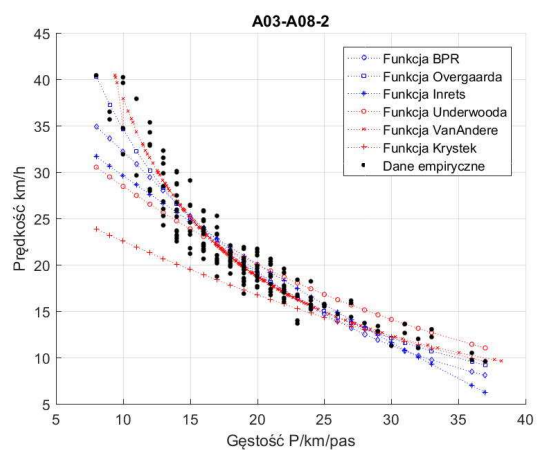
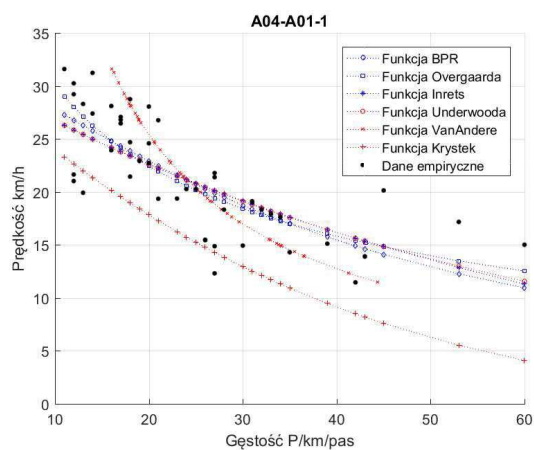
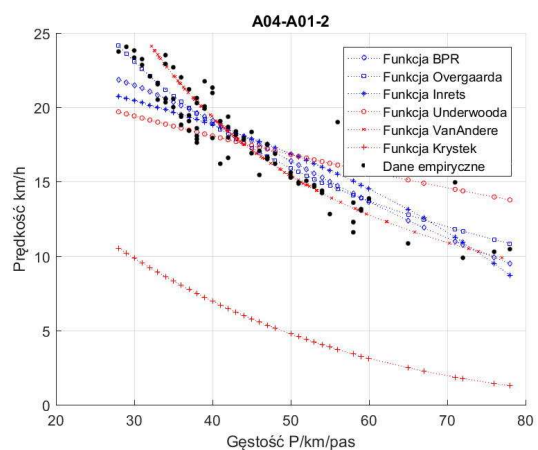
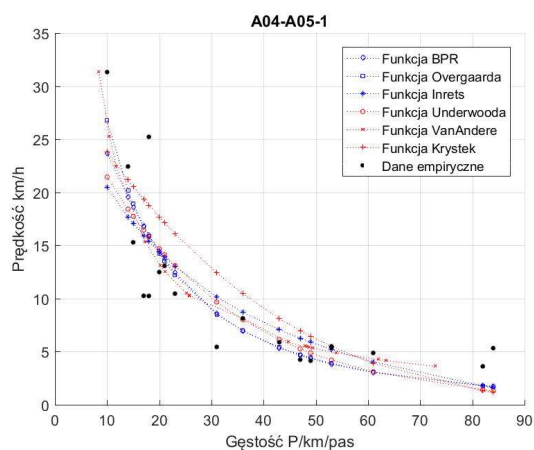
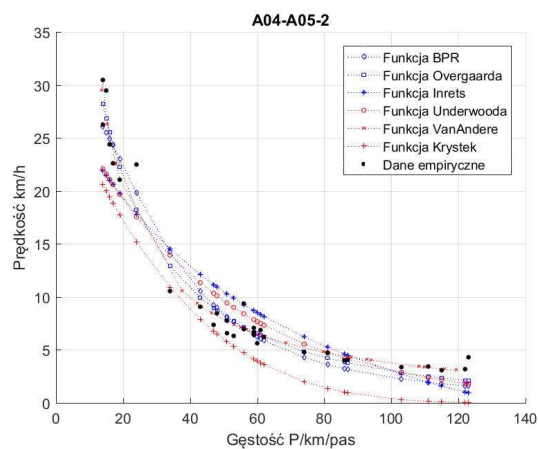
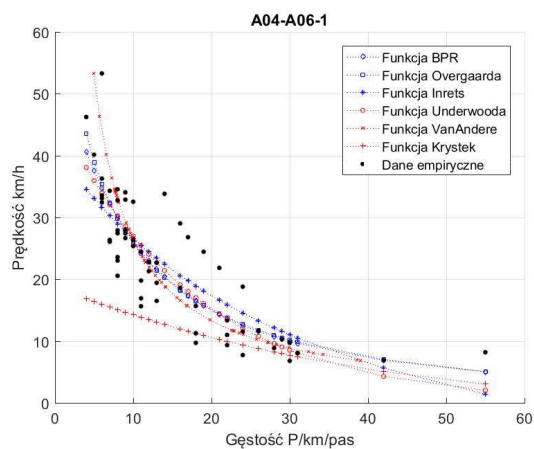


Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020

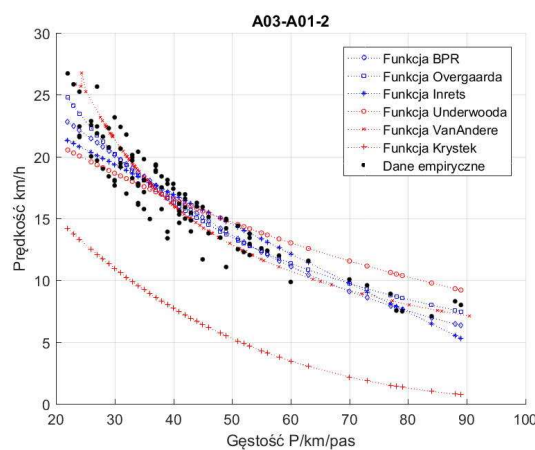
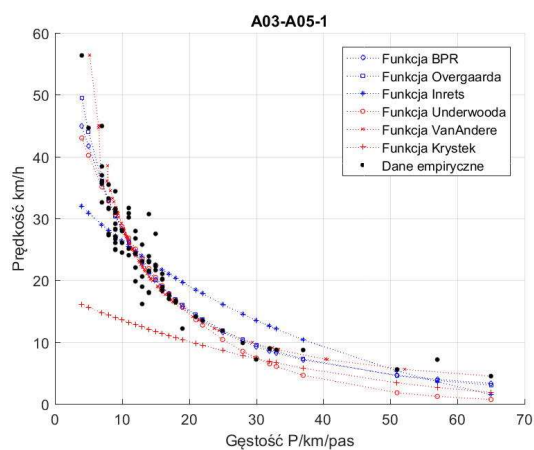
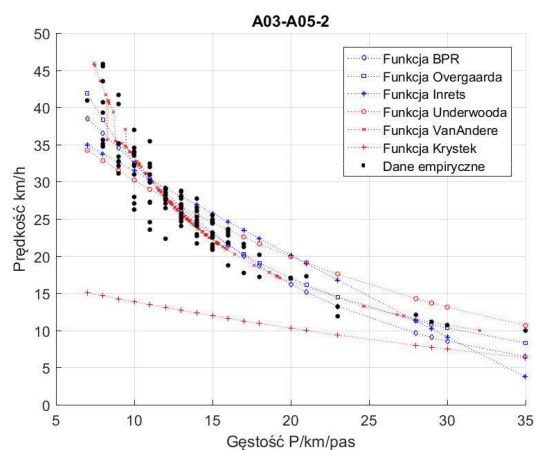
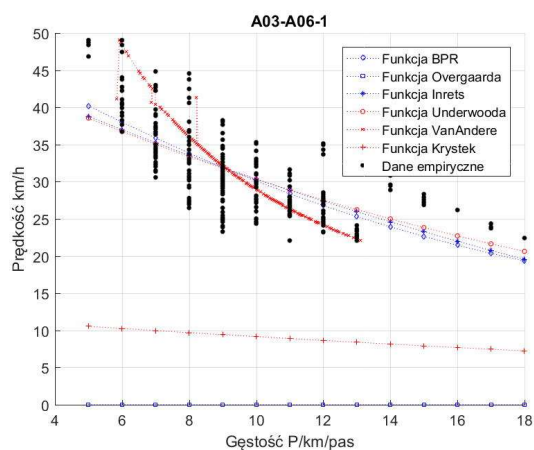
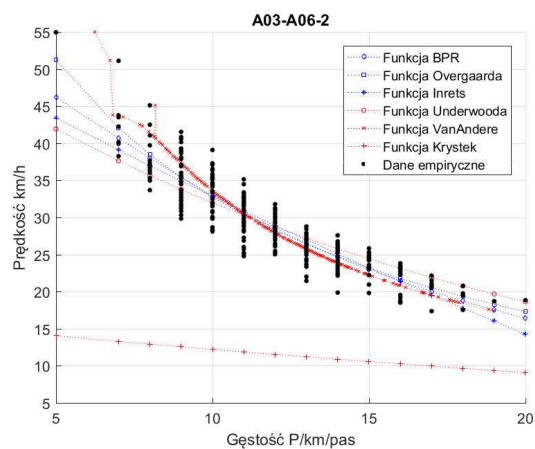
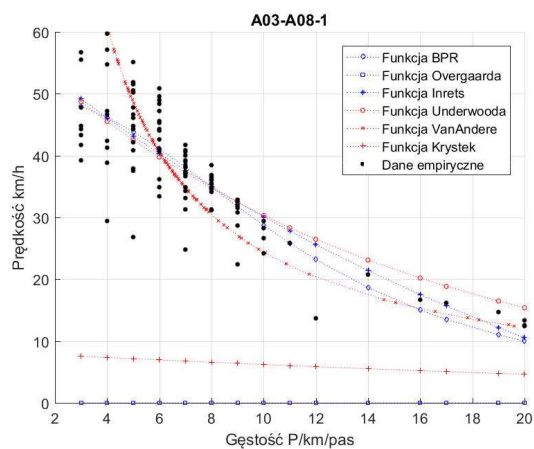


8

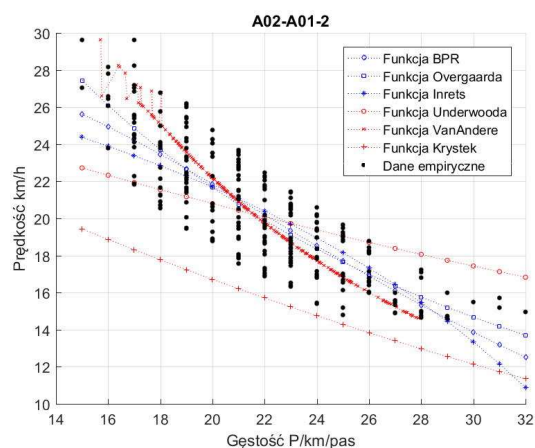
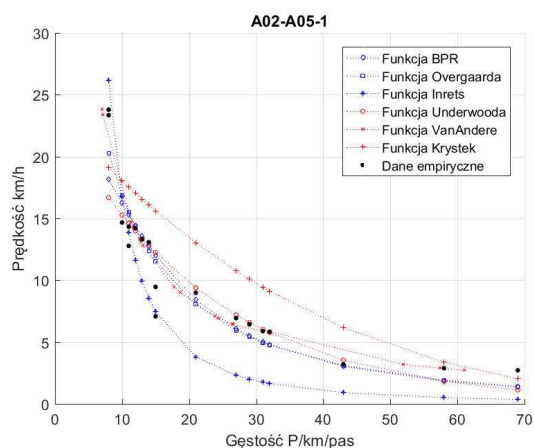
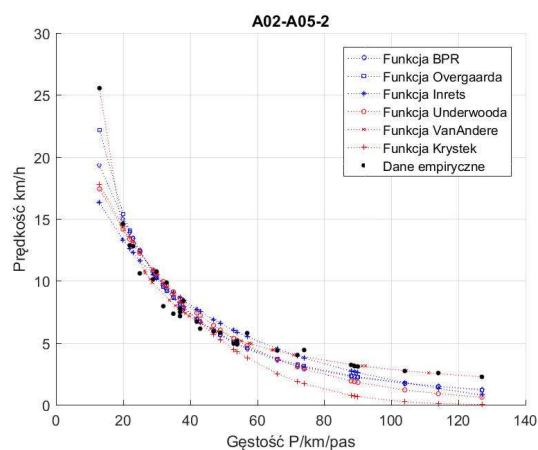
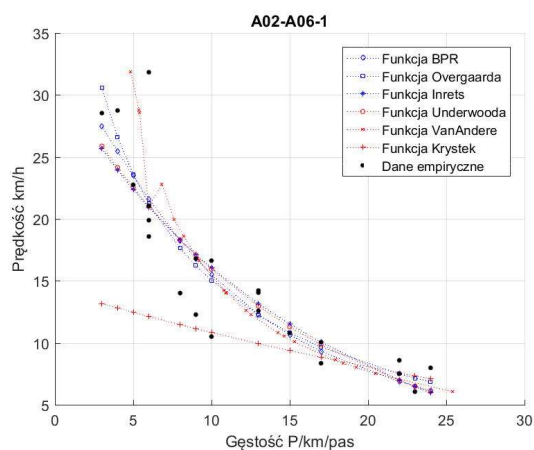
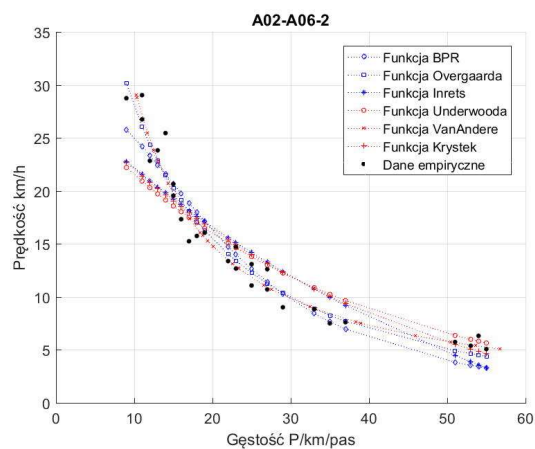
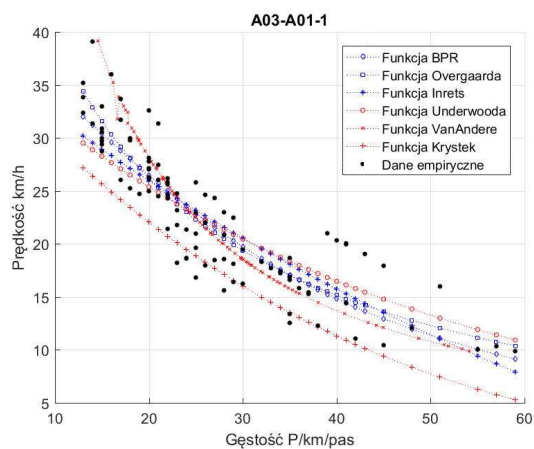
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



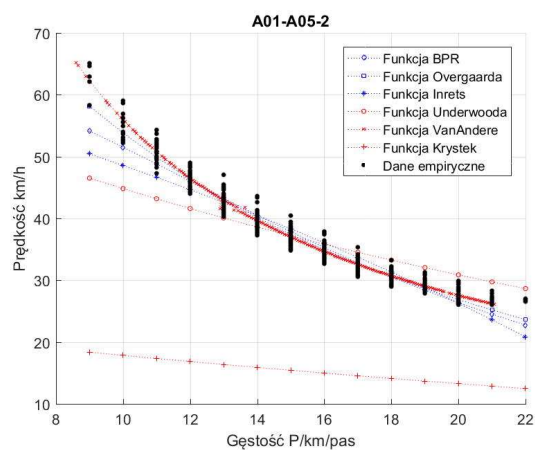
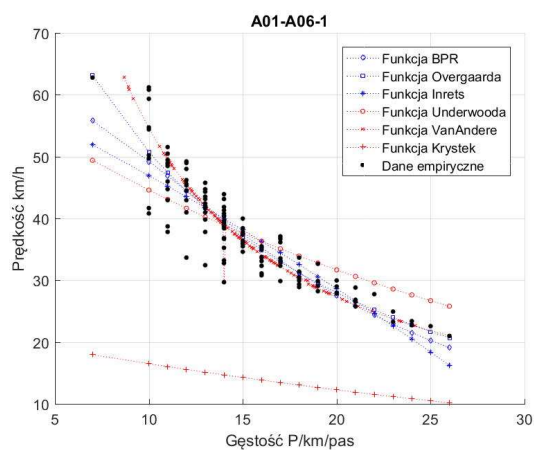
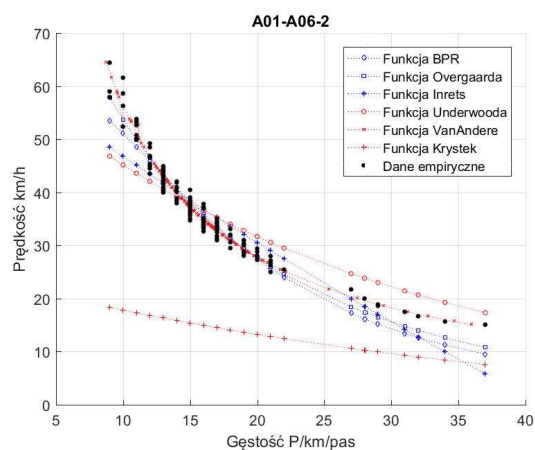
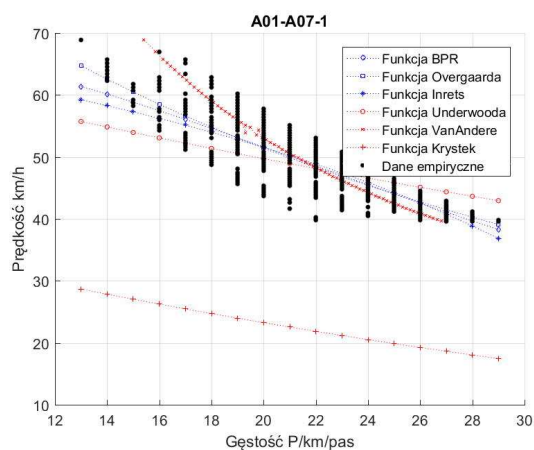
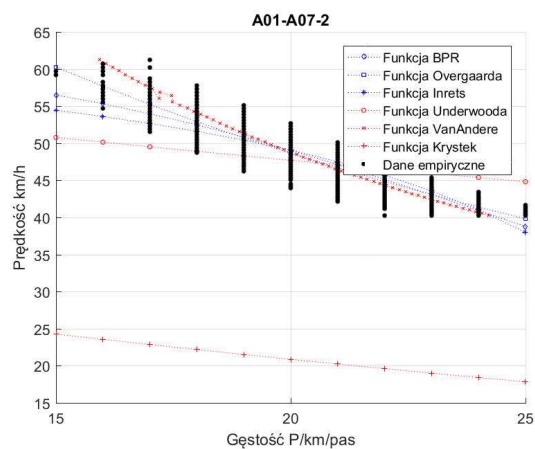
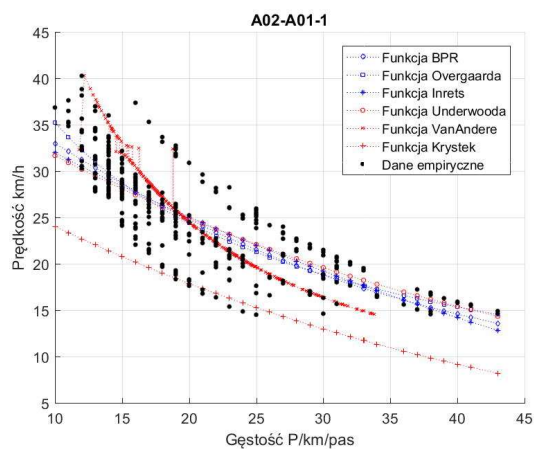
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



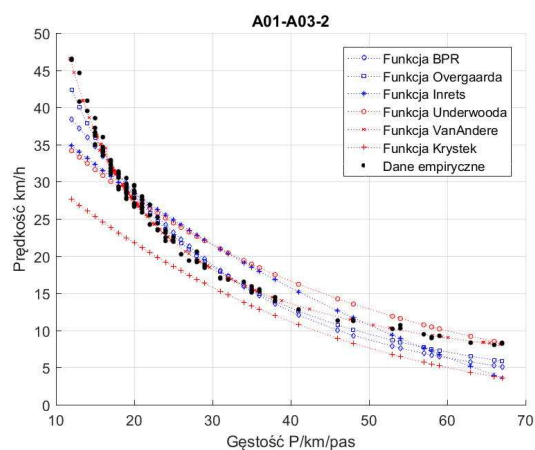
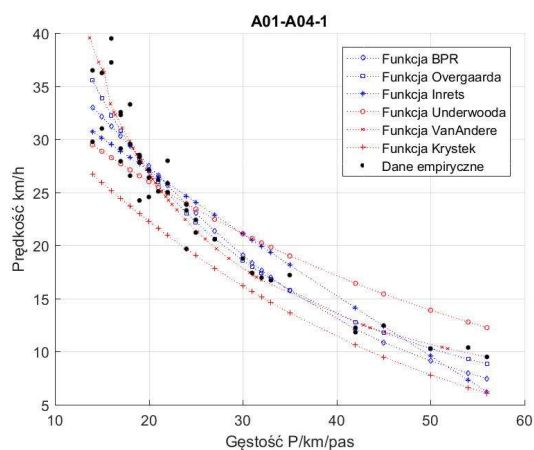
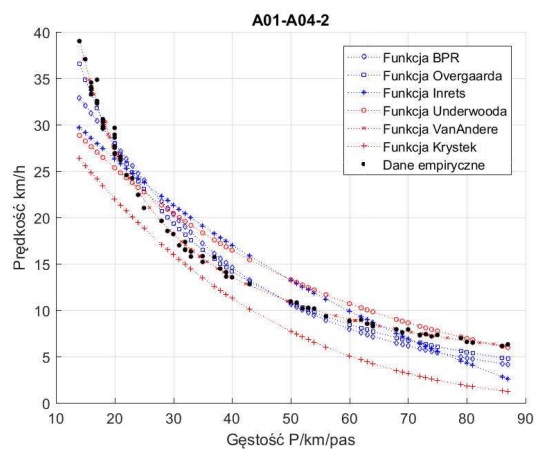
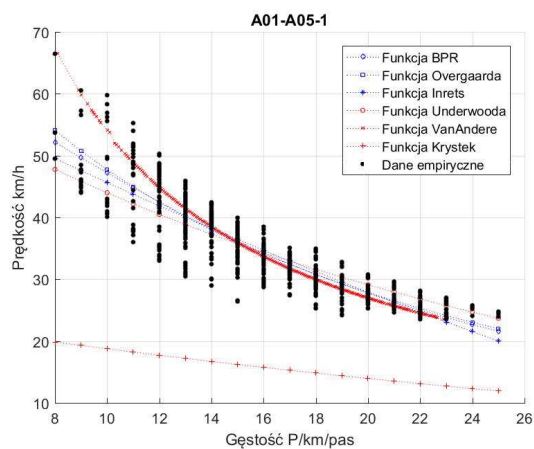
Projekt „Inteligentny System Zarządzania i Sterowania Ruchem w Tychach” realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014 – 2020



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



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



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

