

Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu

modelling

Zastosowanie danych z sondowania pojazdów do modelowania
prędkości ruchu na ulicach z sygnalizacją świetlną

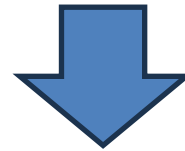
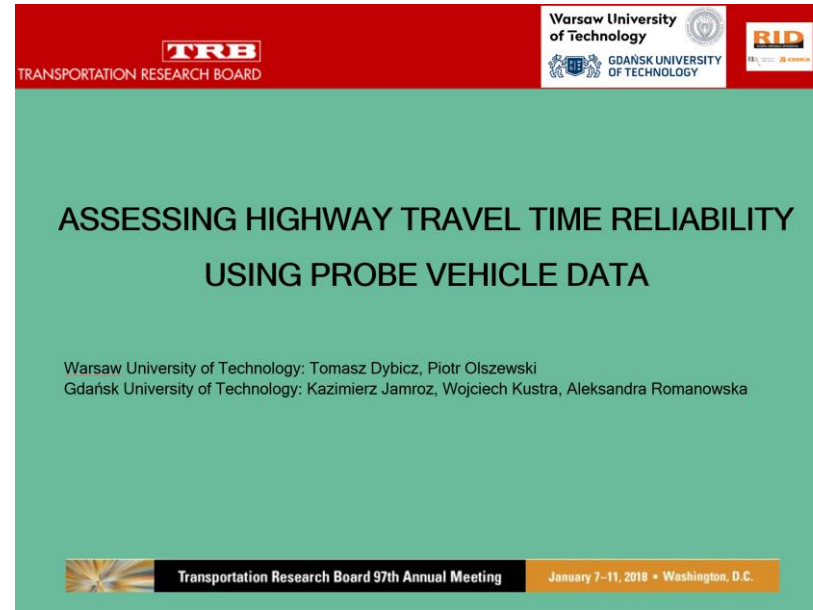


dr inż. Tomasz Dybicz
Prof. hab. dr inż. Piotr Olszewski

KRAKÓW | 06-07 czerwca 2024



Nowoczesne metody obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu Projekt zrealizowany w ramach Inicjatywy RID przez GDDKiA i NCBiR



GRANT RND

Opracowanie wskaźników niezawodności czasów podróży dla dróg miejskich i zamiejskich

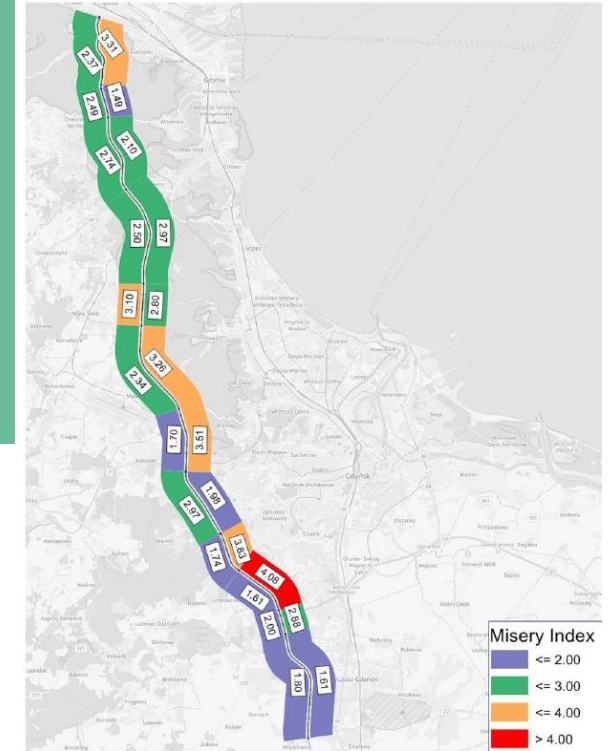


FIGURE 6 Misery Index values for S6 Expressway sections

Rada Naukowa Dyscypliny
Inżynieria Lądowa i Transport



Politechnika
Warszawska

Analiza niezawodności czasów podróży

Podstawowe miary wykorzystywane w analizie niezawodności czasów podróży

- Planning time - wymagany czas, który zagwarantuje dotarcie do celu podróży z pewnością 95%;
- Misery time – średni czas podróży obliczony z 5% przedziału najdłuższych pomierzonych czasów, odzwierciedla występujące najgorsze przypadki;
- Udział podróży zrealizowanych „On-time”, udział podróży zrealizowanych w zakładanym czasie podróży (target travel time);
- Udział podróży, których czas podróży przekroczył długość zakładaną, miara niepowodzenia (measure of failure);
- Odchylenie standardowe, statystyczna miara zróżnicowania czasów podróży od wartości średniej;
- Pochodna odchylenia standardowego (Semi-standard deviation) - statystyczna miara zróżnicowania czasów podróży w stosunku do podróży w warunkach ruchu swobodnego.

Podstawowe wskaźniki

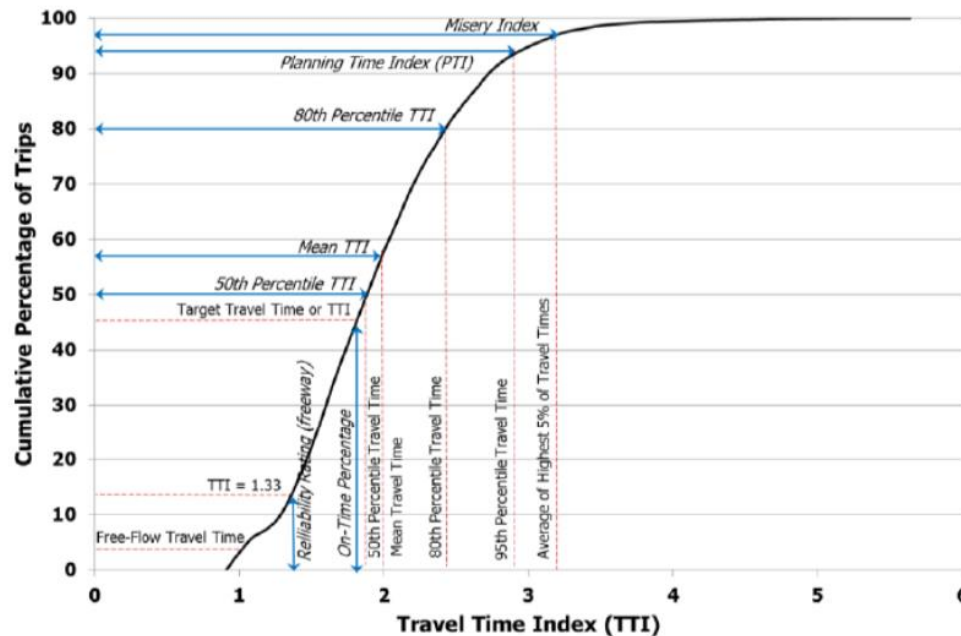
Travel time index (**TTI**), średni czas podróży podzielony przez czas podróży w warunkach ruchu swobodnego w analizowanym przedziale czasu (indywidualny przejazd, średnia dla 15min / 1h);

$$TTI_i = \frac{t_i}{t_0} \quad [-]$$

gdzie:

t_i – średni czas podróży w interwale pomiarowym „i”

t_0 – średni czas podróży w warunkach ruchu swobodnego

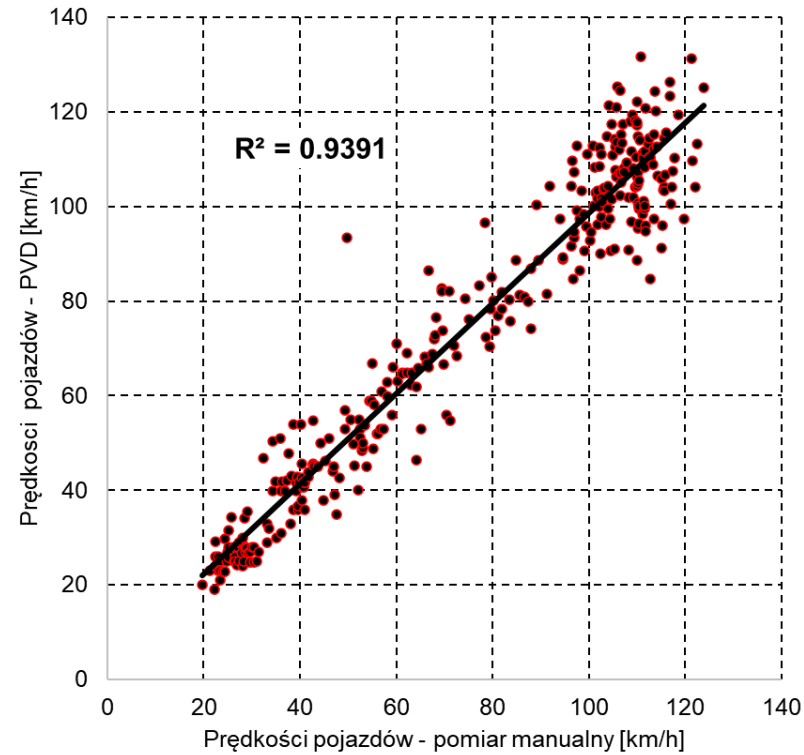


Z rozkładu TTI dla badanego okresu czasu (od 1h do 1 roku) otrzymywane są

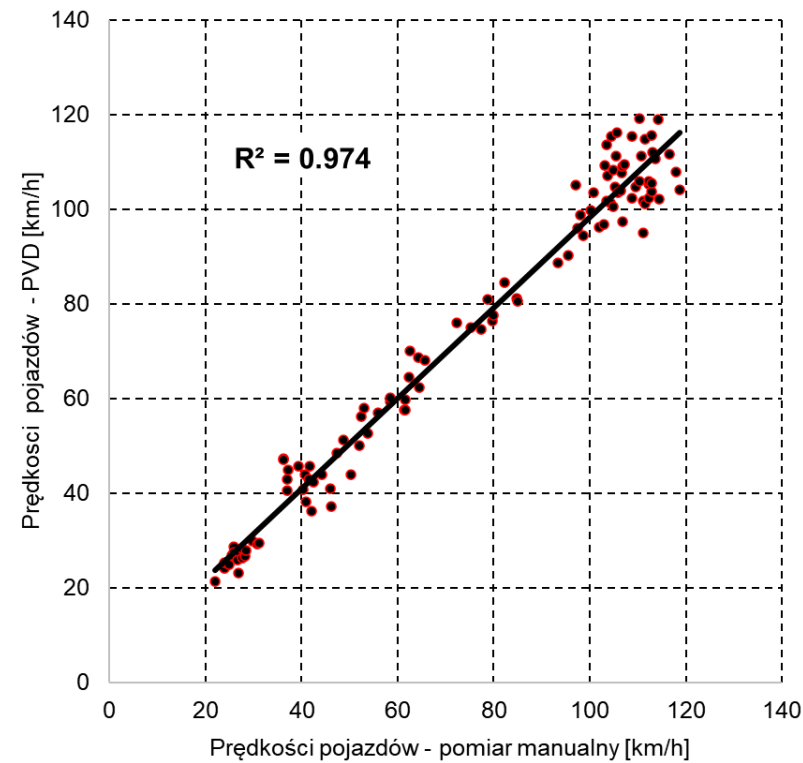
- Planning time index (PTI) – wartość TTI w 95 kwantylu;
- Kwantyl 80 TTI, - rekomendowana wartość do wykonywania porównań i ustalania priorytetów;
- Kwantyl 50 TTI
- Misery index, średnia wartość TTI z przedziału 5% najwyższych wartości TTI
- **Ranking niezawodności odcinków dróg**, udział podróży (poj/km) przez analizowany odcinek/**udział godzin**, dla których TTI było poniżej **1.33** na drogach zamiejskich / **2.50** w miastach; przekroczenie tych limitów wynika z występowaniem złych warunków ruchu, które skutkują występowaniem dużego zróżnicowania czasów podróży (stają się zawodne, brak możliwości dokładnego zaplanowania czasu dojazdu)

Dokładność danych o prędkości pojazdów z PVD

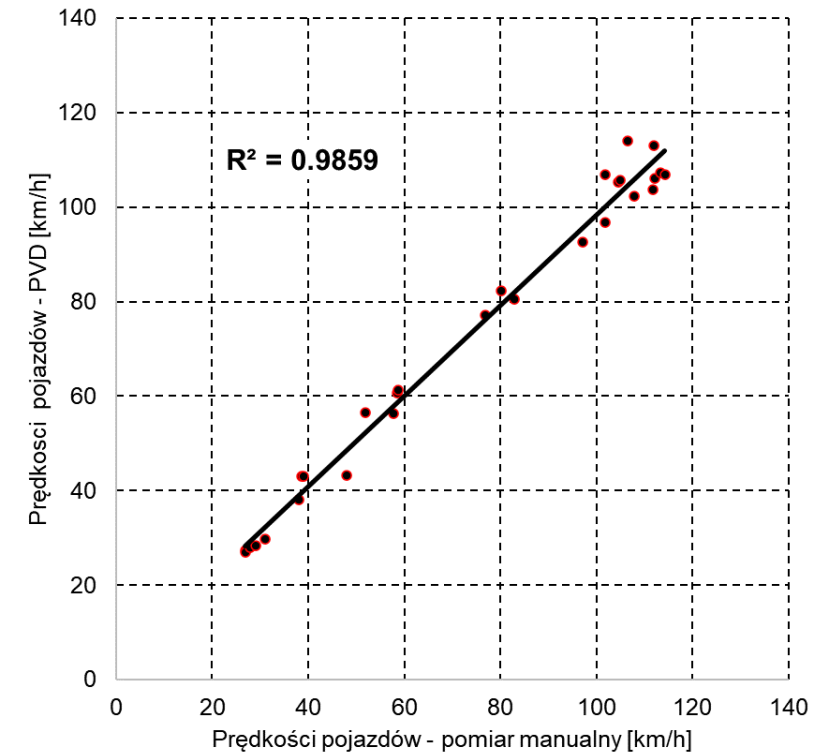
Interwał 5 min



Interwał 15 min



Interwał 60 min



Określenie prędkości swobodnej z danych PVD

ID	vtype	roadic	length	speed	v_cour	datetime	Pora dni	Hour2
1	1	27	66	50.1	-1	2019-10-01 06:00	DAY	6
2	1	27	66	41.8	-1	2019-10-01 06:15	DAY	6
3	1	27	66	50.1	-1	2019-10-01 06:30	DAY	6
4	1	27	66	54	-1	2019-10-01 06:45	DAY	6
5	1	27	66	54	-1	2019-10-01 07:00	DAY	7
6	1	27	66	50.3	-1	2019-10-01 07:15	DAY	7
7	1	27	66	42.2	3	2019-10-01 07:30	DAY	7
8	1	27	66	45.4	-1	2019-10-01 07:45	DAY	7
9	1	27	66	42.2	-1	2019-10-01 08:00	DAY	8
10	1	27	66	38.8	-1	2019-10-01 08:15	DAY	8
11	1	27	66	28.1	-1	2019-10-01 08:30	DAY	8
12	1	27	66	20.9	-1	2019-10-01 08:45	DAY	8
13	1	27	66	28.2	-1	2019-10-01 09:00	DAY	9
14	1	27	66	32.2	-1	2019-10-01 09:15	DAY	9
15	1	27	66	43.3	-1	2019-10-01 09:30	DAY	9
16	1	27	66	46.5	-1	2019-10-01 09:45	DAY	9
17	1	27	66	47.5	-1	2019-10-01 10:00	DAY	10
18	1	27	66	50.4	4	2019-10-01 10:15	DAY	10
19	1	27	66	34.5	-1	2019-10-01 10:30	DAY	10
20	1	27	66	34.6	-1	2019-10-01 10:45	DAY	10
21	1	27	66	36.5	-1	2019-10-01 11:00	DAY	11
22	1	27	66	38.4	-1	2019-10-01 11:15	DAY	11
23	1	27	66	43.4	-1	2019-10-01 11:30	DAY	11
24	1	27	66	39.4	3	2019-10-01 11:45	DAY	11

26034	2	122	549	80	-1	2019-10-31 19:15	DAY	19
26035	2	122	549	83.1	-1	2019-10-31 19:30	DAY	19
26036	2	122	549	81.3	-1	2019-10-31 19:45	DAY	19
26037	2	122	549	83.3	-1	2019-10-31 20:00	DAY	20
26038	2	122	549	83.3	-1	2019-10-31 20:15	DAY	20
26039	2	122	549	83.3	-1	2019-10-31 20:30	DAY	20
26040	2	122	549	83.3	-1	2019-10-31 20:45	DAY	20

Metoda iteracyjna

Ze zbioru danych dla danego odcinka obliczane są:

1) Iteracja I

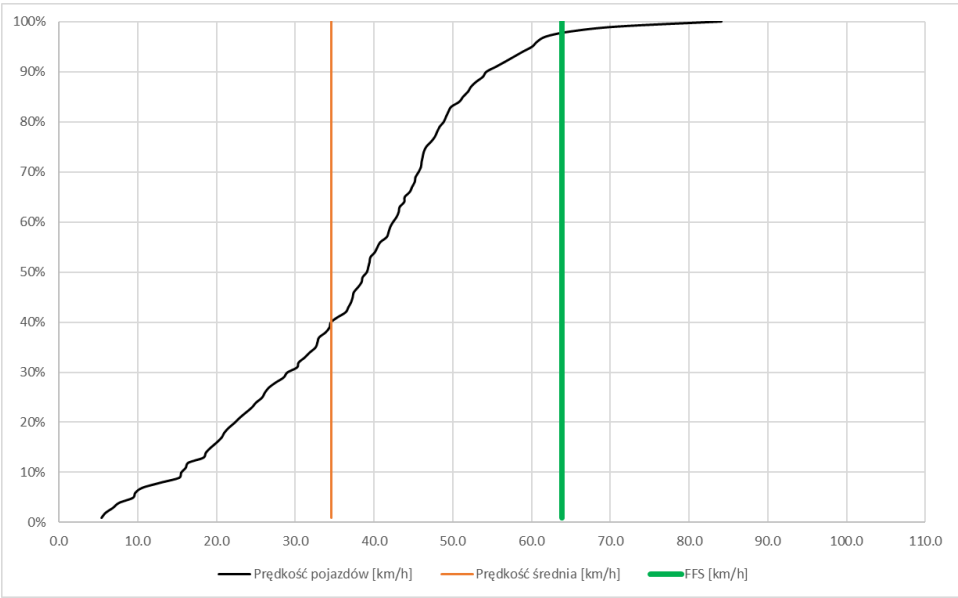
- Obliczenie prędkości swobodna (**FFS**) - ustala się jako wartość kwantyla 85%
- Odrzucenie wartości poniżej kwantyla 80%

2) Iteracja II

- Obliczenie prędkości swobodna (**FFS**) - ustala się jako wartość kwantyla 85%
- Odrzucenie wartości poniżej kwantyla 80%

3 - Kolejne iteracje do osiągnięcia zbieżności FFS w kolejnych iteracjach

Iteracja	FFS	Próg	t [s]
I	51.3	41.1	12.5
II	58.2	46.6	11.0
III	60.9	48.7	10.5
IV	61.8	49.5	10.4
V	62.7	50.1	10.2
VI	63.8	51.1	10.0
VII	64.3	51.5	10.0
VIII	64.6	51.7	9.9
IX	64.7	51.8	9.9
X	64.7	51.8	9.9



Metoda iteracyjna

W przypadku skrzyżowań z sygnalizacją okazało się, że w metodzie tej usuwane są również przypadki, kiedy występowały swobodne warunki ruchu, ale pojazdy zatrzymały się na sygnale czerwonym. W efekcie uzyskano jedynie **prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego, które dojeżdżały w czasie wyświetlania sygnału zielonego** i tym samym nie zatrzymywały się na sygnale czerwonym.

Metoda iteracyjna

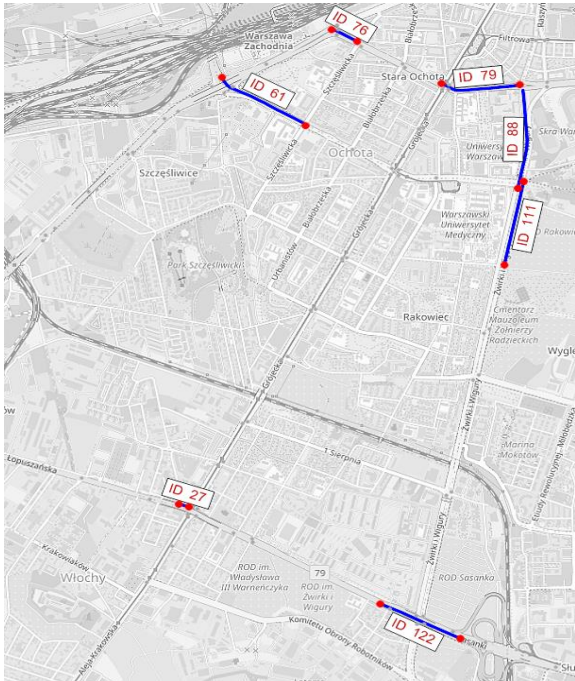
W przypadku skrzyżowań z sygnalizacją okazało się, że w metodzie tej usuwane są również przypadki, kiedy występowały swobodne warunki ruchu, ale pojazdy zatrzymały się na sygnale czerwonym. W efekcie uzyskano jedynie **prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego, które dojeżdżały w czasie wyświetlania sygnału zielonego i tym samym nie zatrzymywały się na sygnale czerwonym**.

Rozwiązanie

Policzenie strat czasu i dodanie ich do czas podróży uzyskanych przy zastosowaniu metody iteracyjnej.

Badanie pilotowe

Pomiar strat czasu na wybranych odcinkach (**od wylotu do wylotu**).



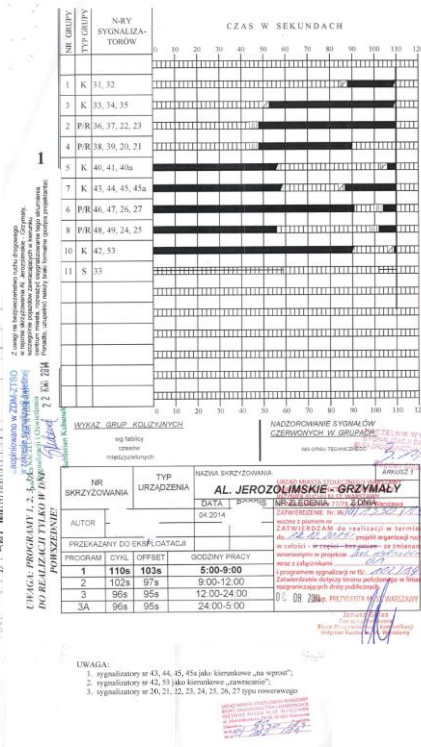
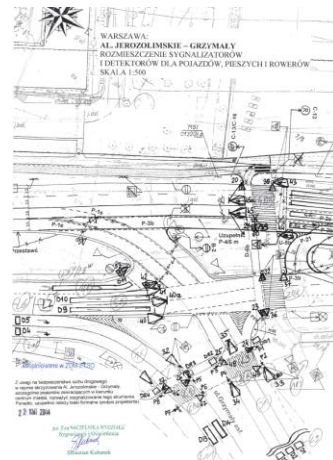
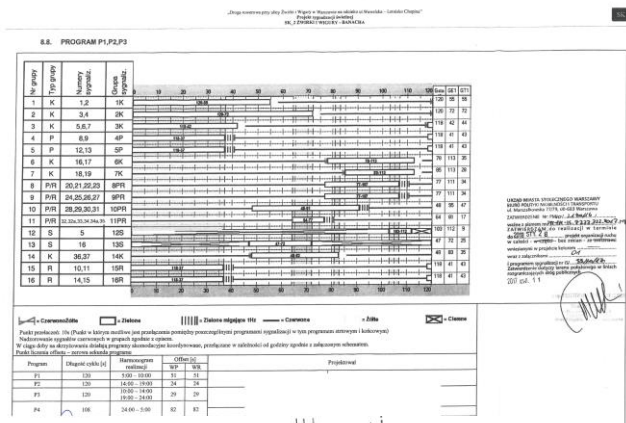
Określenie prędkości swobodnej z danych PVD

Metoda iteracyjna

W przypadku skrzyżowań z sygnalizacją okazało się, że w metodzie tej usuwane są również przypadki, kiedy występowały swobodne warunki ruchu, ale pojazdy zatrzymały się na sygnale czerwonym. W efekcie uzyskano jedynie **prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego, które dojeżdżały w czasie wyświetlania sygnału zielonego** i tym samym nie zatrzymywały się na sygnale czerwonym.

Rozwiązanie

Policzenie strat czasu i dodanie ich do czas podróży uzyskanych przy zastosowaniu metody iteracyjnej



Tyle że

Nawet przy założeniu, że w warunkach ruchu swobodnego $d_2 = 0$, policzenie d_1 wymaga danych o programach sygnalizacji świetlnej i wykonania czasochłonnych obliczeń i precyzyjnych danych o współczynniku koordynacji o f_k

$$d_{gr} = f_k \cdot d_1 + d_2 \quad [s/P] \quad (6.1)$$

$$d_1 = \frac{T}{2} \cdot \frac{(1-\lambda)^2}{1 - [\min\{1, X\} \cdot \lambda]} \quad [s/P] \quad (6.2)$$

$$d_2 = 900 \cdot t_a \cdot \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{7 \cdot r_s \cdot w_s \cdot X^2}{C \cdot t_a}} \right] \quad [s/P] \quad (6.3)$$

$$f_k = \frac{(1 - PG) \cdot f_{PG}}{1 - \frac{G_e}{T}} \quad (6.4)$$

gdzie:

- f_k – współczynnik koordynacji (tab. 6.4),
- PG – udział pojazdów dojeżdżających podczas sygnału zielonego ($PG < 1,0$);
 $PG = R_p \cdot \lambda$,
- R_p – wskaźnik rozproszenia kolumny pojazdów dojeżdżających do wlotu,
- λ – udział efektywnego sygnału zielonego G_e w cyklu T ,
- f_{PG} – dodatkowy współczynnik uwzględniający dojazd kolumny pojazdów w czasie sygnału zielonego.

Tab. 6.3. Zależność pomiędzy typem dopływu a wskaźnikiem rozproszenia kolumn pojazdów dojeżdżających do wlotu R_p

Typ dopływu	Zakres wartości wskaźnika rozproszenia R_p	Zalecane wartości R_p	Jakość koordynacji
1	$\leq 0,50$	0,333	bardzo słaba
2	$> 0,50 \div 0,85$	0,667	słaba
3	$> 0,85 \div 1,15$	1,000	dopływy losowe
4	$> 1,15 \div 1,50$	1,333	dobra
5	$> 1,50 \div 2,00$	1,667	bardzo dobra
6	$> 2,00$	2,000	znakomita

Tab. 6.4. Współczynnik koordynacji f_k dla regularnych strat czasu d_1 (wartości bazują na zalecanych wartościach R_p i f_{PG})

$\lambda = G_e / T$	Typ dopływu					
	1	2	3	4	5	6
0,2	1,167	1,007	1,000	1,000	0,833	0,750
0,3	1,286	1,063	1,000	0,986	0,714	0,571
0,4	1,445	1,136	1,000	0,895	0,555	0,333
0,5	1,667	1,240	1,000	0,767	0,333	0,000
0,6	2,001	1,395	1,000	0,576	0,000	0,000
0,7	2,556	1,653	1,000	0,256	0,000	0,000
f_{PG}	1,00	0,93	1,00	1,15	1,00	1,00

Niestety sposoby wyznaczenia f_k są mało precyzyjne i obarczone błędem, a zwłaszcza wyliczanie PG (udziału pojazdów dojeżdżających na zielonym).

$$f_k = \frac{(1 - PG) \cdot f_{PG}}{1 - \frac{G_e}{T}} \quad (6.4)$$

gdzie:

- f_k – współczynnik koordynacji (tab. 6.4),
- PG – udział pojazdów dojeżdżających podczas sygnału zielonego ($PG < 1,0$);
 $PG = R_p \cdot \lambda$,
- R_p – wskaźnik rozproszenia kolumny pojazdów dojeżdżających do wlotu,
- λ – udział efektywnego sygnału zielonego G_e w cyklu T ,
- f_{PG} – dodatkowy współczynnik uwzględniający dojazd kolumny pojazdów w czasie sygnału zielonego.

Tab. 6.3. Zależność pomiędzy typem dopływu a wskaźnikiem rozproszenia kolumn pojazdów dojeżdżających do wlotu R_p

Typ dopływu	Zakres wartości wskaźnika rozproszenia R_p	Zalecane wartości R_p	Jakość koordynacji
1	$\leq 0,50$	0,333	bardzo słaba
2	$> 0,50 \div 0,85$	0,667	słaba
3	$> 0,85 \div 1,15$	1,000	dopływy losowe
4	$> 1,15 \div 1,50$	1,333	dobra
5	$> 1,50 \div 2,00$	1,667	bardzo dobra
6	$> 2,00$	2,000	znakomita

Tab. 6.4. Współczynnik koordynacji f_k dla regularnych strat czasu d_1 (wartości bazują na zalecanych wartościach R_p i f_{PG})

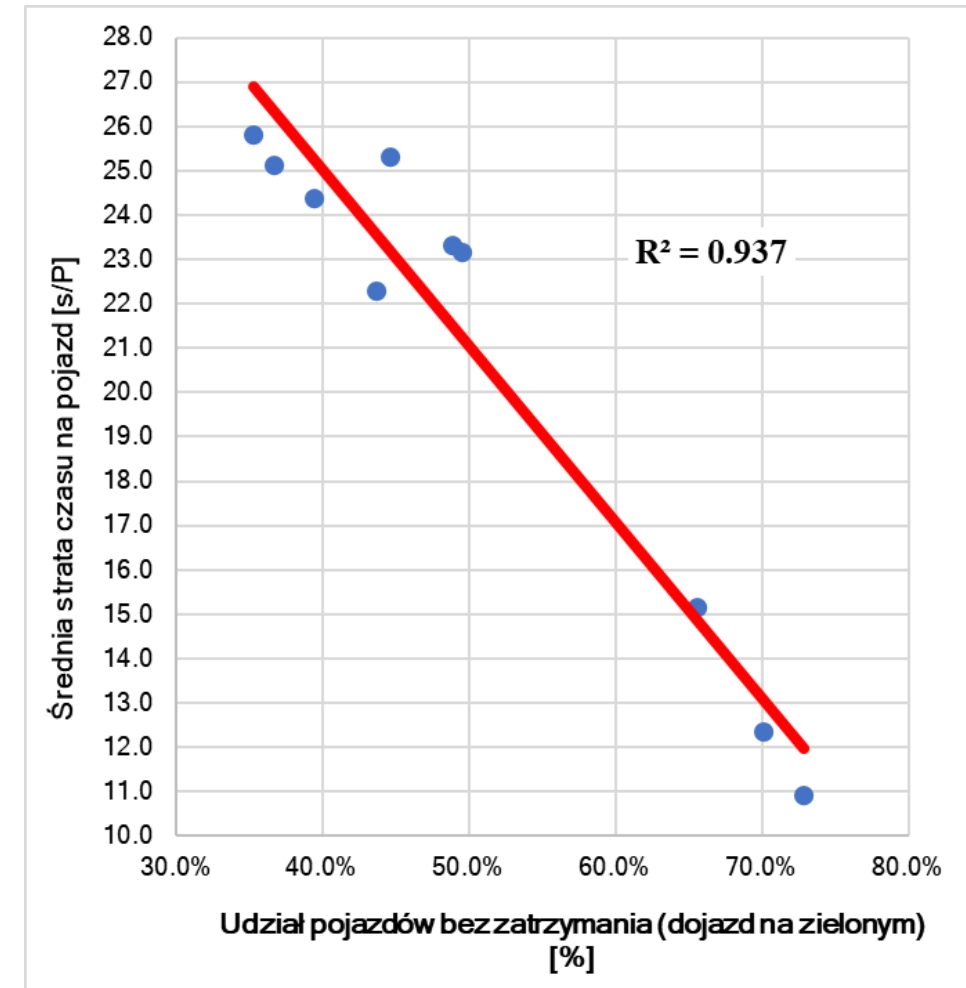
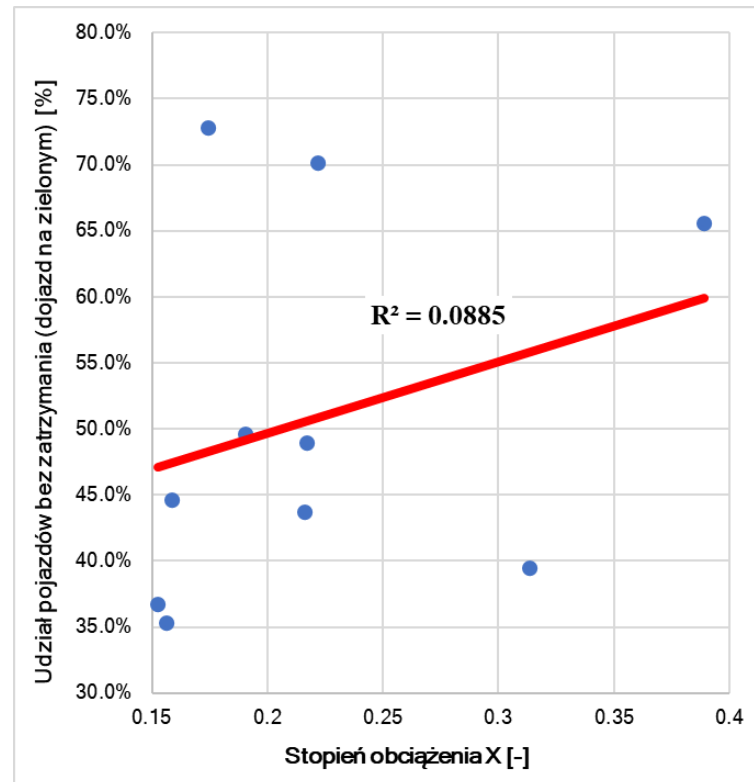
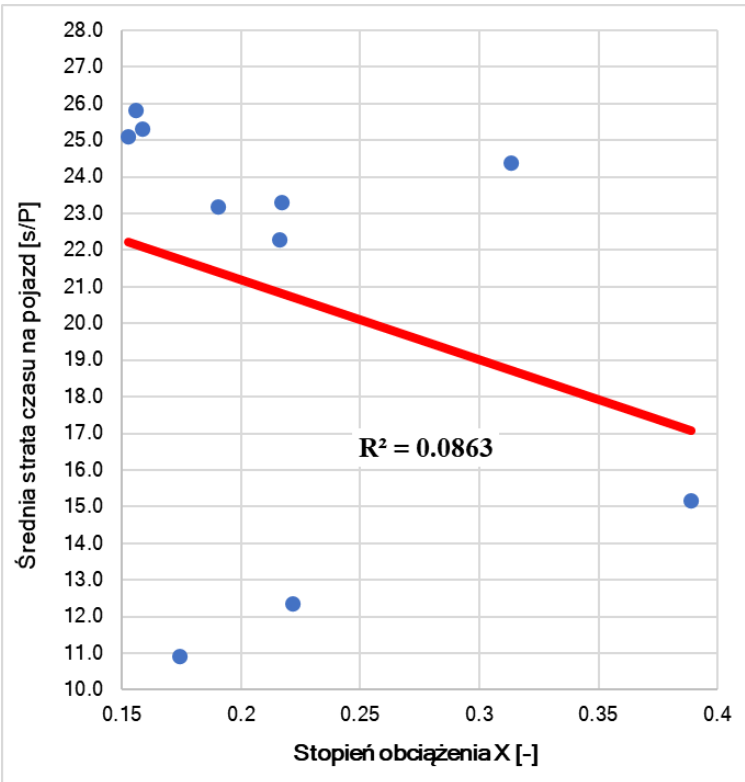
$\lambda = G_e / T$	Typ dopływu					
	1	2	3	4	5	6
0,2	1,167	1,007	1,000	1,000	0,833	0,750
0,3	1,286	1,063	1,000	0,986	0,714	0,571
0,4	1,445	1,136	1,000	0,895	0,555	0,333
0,5	1,667	1,240	1,000	0,767	0,333	0,000
0,6	2,001	1,395	1,000	0,576	0,000	0,000
0,7	2,556	1,653	1,000	0,256	0,000	0,000
f_{PG}	1,00	0,93	1,00	1,15	1,00	1,00

Niestety sposoby wyznaczenia f_k są mało precyzyjne i obarczone błędem, a zwłaszcza wyliczanie **PG** (udziału pojazdów dojeżdżających na zielonym).

Rozwiązanie

Wnioski z przeprowadzonych badań pilotowych wskazują, że poprawne wyznaczenie f_k wymaga wykonania pomiarów **PG**.

Zbadane korelacje dla warunków ruchu swobodnego

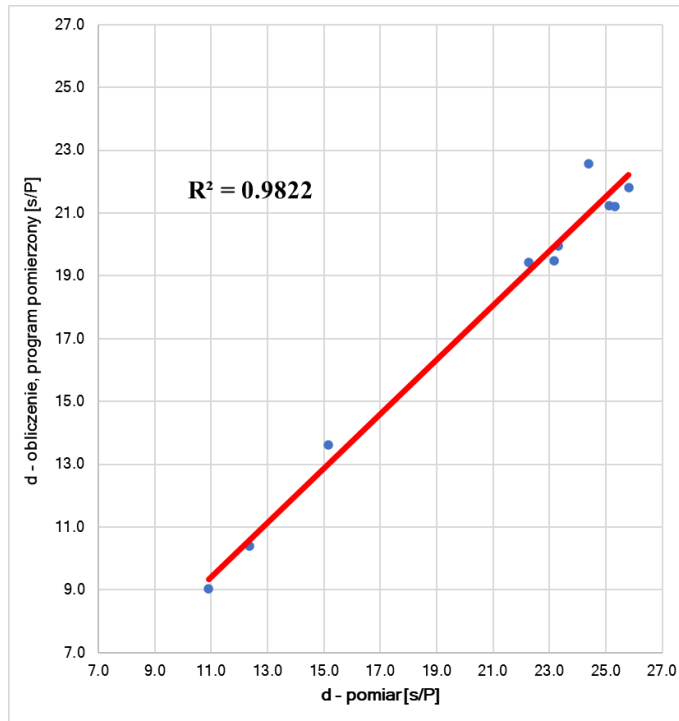


Wnioski

Dla prawidłowego określenia strat czasu kluczowe jest prawidłowe określenie wartości PG

Pomierzone i obliczone straty czasu

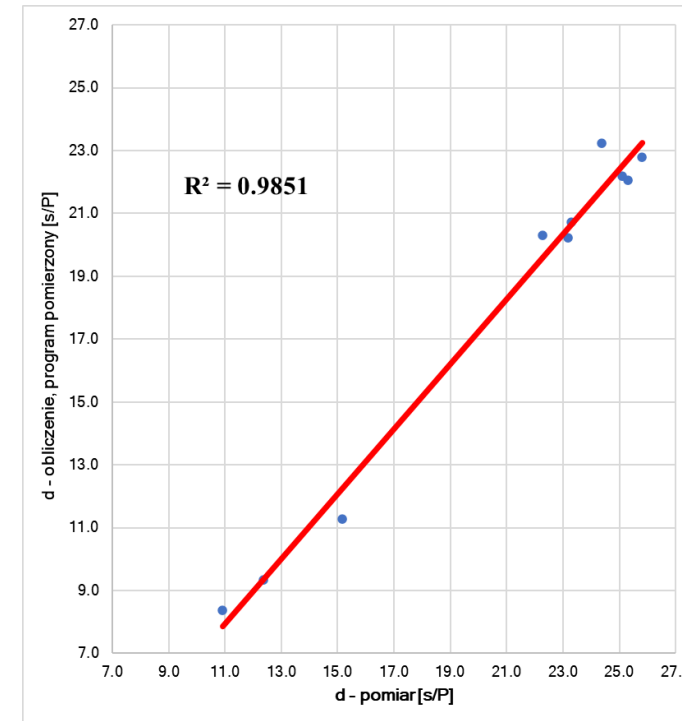
	S_ID111				N_ID88			N_ID76		
	2022-03-31	2022-04-23	2022-04-24	2022-04-24	2022-04-23	2022-04-24	2022-04-24	2022-04-23	2022-04-24	2022-04-24
	21:00-22:00	7:00-8:00	6:00-7:00	7:00-8:00	7:00-8:00	6:00-7:00	7:00-8:00	7:00-8:00	6:00-7:00	7:00-8:00
Długość cyklu T [s] - pomiar	119	120	120	120	120	120	120	110	110	110
Długość cyklu T [s] - program bazowy	120	120	120	120	120	120	120	110	110	110
G _e [s] - pomiar	58	60	60	60	49	49	49	39	47	45
G _e [s] - program bazowy	56	56	56	56	45	45	45	51	51	51
X [-] - program pomierzony	0.31	0.22	0.16	0.15	0.22	0.19	0.16	0.39	0.17	0.22
X [-] - program bazowy	0.33	0.23	0.17	0.16	0.24	0.21	0.17	0.30	0.16	0.20
PG [%] pomiar	39%	44%	35%	37%	49%	50%	45%	66%	73%	70%
d [s/P] - pomiar	24.4	22.3	25.8	25.1	23.3	23.2	25.3	15.2	10.9	12.4
d [s/P] - obliczenie, program pomierzony	22.6	19.4	21.8	21.2	19.9	19.5	21.2	13.6	9.0	10.4
d [s/P] - obliczenie, program bazowy	23.2	20.3	22.8	22.2	20.7	20.2	22.1	11.3	8.4	9.3



Korelacje dla pomierzonych i obliczonych strat czasu

Przy zastosowaniu wartości PG z wykonanych pomiarów ruchu !!!!

Obliczenie dla **pomierzonego** programu sygnalizacji



Obliczenie dla **bazowego** programu sygnalizacji

Kierunki dalszych badań

1. Znalezienie sposobu na wyłuskanie z danych PVD prędkości swobodnej FFS z uwzględnieniem strat czasu związanych z zatrzymaniem na czerwonym bez konieczności żmudnych obliczeń, które wymagają pozyskania danych o programach sygnalizacji i przeprowadzeniu dodatkowych pomiarów udziału samochodów dojeżdżających na zielonym PG / weryfikacja limitu dla TTI 2.50 dla warunku niezawodności.
2. Wykonanie pilotowych analiz niezawodności czasów podróży dla skrzyżowań z sygnalizacją świetlną.
3. Opracowanie metody wykonywania analiz niezawodności czasów podróży w ujęciu systemu transportowego z uwzględnieniem pasażerów transportu zbiorowego.