

Efektywność pasów autobusowych w obrębie skrzyżowań



Marek Bauer



Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki

KONGRES MOBILNOŚCI 2023

Kraków, 4-6 października

VIII SYGNALIZACJA ŚWIETLNA 2023

V INNOWACYJNY TRAMWAJ 2023

IV BUSPASY 2023

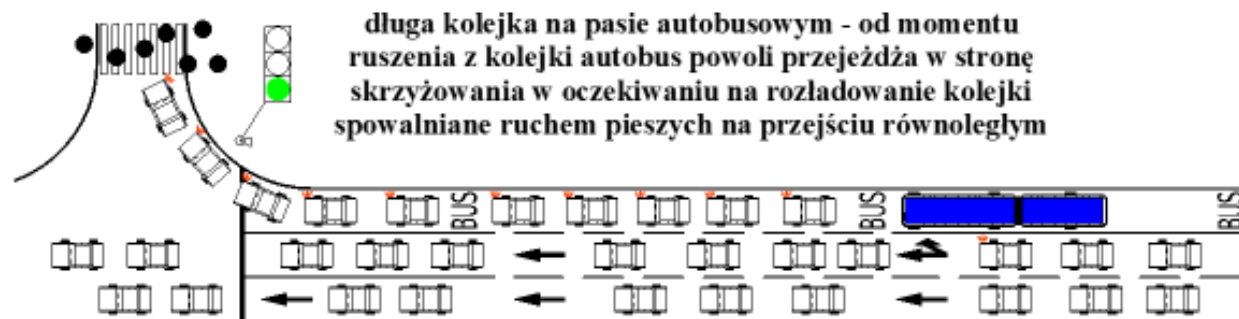
PARKOWANIE 2023

www.konferencjespecjalistyczne.pl

GŁÓWNE PROBLEMY Z FUNKCJONOWANIEM PASÓW AUTOBUSOWYCH NA WLOTACH SKRZYŻOWAŃ – Z CZEGO MOGĄ WYNIKAĆ?

- ☐ Lokalizacja przystanku w sąsiedztwie skrzyżowania
- ☐ Zbyt duża liczba pojazdów dopuszczonych na pasy autobusowe (kongestia i autokongestia)
- ☐ Blokowanie tarczy skrzyżowania
- ☐ Struktura rodzajowa pojazdów
- ☐ Struktura kierunkowa ruchu
- ☐ Relacja dławiąca – piesi na przejściu równoległym
- ☐ Ruch pojazdów nieuprawnionych
- ☐ Niedostosowanie sygnalizacji świetlnej do potrzeb autobusów
- ☐ Nieczytelne rozwiązania (oznakowanie)
- ☐ Brak zielonej strzałki

PRZYKŁAD CZYNNIKÓW POGARSZAJĄCYCH WARUNKI RUCHU AUTOBUSÓW PO PA



Z czego wynikają problemy na pasie autobusowym zlokalizowanym na wlocie skrzyżowania z sygnalizacją

- ☐ Lokalizacja przystanku?
- ☐ Zbyt duża liczba dopuszczonych pojazdów?
- ☐ Struktura rodzajowa pojazdów?
- ☐ Struktura kierunkowa ruchu?
- ☐ Ruch pojazdów nieuprawnionych?
- ☐ Niedostosowanie sygnalizacji świetlnej do potrzeb autobusów?
- ☐ Nieczytelne rozwiązania?
- ☐ Czynniki lokalne?

PRZYKŁAD CZYNNIKÓW POGARSZAJĄCYCH WARUNKI RUCHU AUTOBUSÓW PO PA





MOŻLIWOŚCI SZCZEGÓŁOWEJ IDENTYFIKACJI MIEJSC WYSTĘPOWANIA PROBLEMÓW Z FUNKCJONOWANIEM PASÓW AUTOBUSOWYCH

- ☐ Pomiar prowadzony przez obserwatorów znajdujących się w pojazdach, z wykorzystaniem odbiorników GPS – możliwa rejestracja:
 - moment zatrzymania przed przystankiem (w wyniku zajęcia stanowisk przystankowych przez inne pojazdy)
 - **moment zatrzymania na stanowisku przystankowym**
 - moment rozpoczęcia otwierania drzwi pojazdu
 - moment rozpoczęcia wysiadania i wsiadania pasażerów
 - moment zakończenia wysiadania i wsiadania pasażerów – określony jako chwila zakończenia wysiadania i wsiadania zasadniczej grupy pasażerów
 - moment zamknięcia drzwi pojazdu
 - **moment odjazdu z przystanku** (fizycznego ruszenia ze stanowiska przystankowego)
- ☐ Automatyczna rejestracja śladu pojazdu – próbkowanie co 2 sekundy (umożliwiająca określenie charakterystyk czasu przejazdu poza przystankami)



METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PASÓW AUTOBUSOWYCH

- ☐ Rozdzielenie czasów przejazdu odcinków międzyprzystankowych i postoju na przystankach
- ☐ Określenie normatywnego czasu przejazdu (przejazd bez zakłóceń)
- ☐ Określenie punktów charakterystycznych odcinka międzyprzystankowego
- ☐ Wstępna ocena zarejestrowanych czasów przejazdu (momenty występowania zdarzeń, ślad pojazdu) pod kątem ewentualnej eliminacji skrajnych wartości
- ☐ Analiza śladu przejazdu
 - wszystkie zarejestrowane przejazdy
 - przejazdy pogrupowane według rodzajów występujących zakłóceń
- ☐ Analiza porównawcza
- ☐ Określenie prawdopodobieństw występowania zakłóceń

METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PASÓW AUTOBUSOWYCH

□ Określenie normatywnego czasu przejazdu
– zależności fizyczne (skala mezo)

- Długości odcinków przyspieszania i hamowania
- Długości odcinków – przejazd ze stałą prędkością
- Długości krytyczne długości odcinków, przy których możliwe jest osiągnięcie zakładanych prędkości jazdy
- Czasy przyspieszania, zwalniania, przejazdu ze stałą prędkością

$$L_a = \frac{(\Delta V)^2}{25,92 \cdot a} \quad L_b = \frac{(\Delta V)^2}{25,92 \cdot b}$$

$$L_c = L - L_a - L_b$$

$$L_0 = \frac{V_{\max}}{25,92} \cdot \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

$$t_a = \frac{V_{\max}}{3,6 \cdot a} \quad t_b = \frac{V_{\max}}{3,6 \cdot b} \quad t_c = \frac{3,6 \cdot L_c}{V_{\max}}$$

METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PASÓW AUTOBUSOWYCH

□ Obliczenie normatywnego czasu przejazdu (niezakłóconego)

- przejazd ze stałą prędkością
- przejazd z jednostajnym zwalnianiem

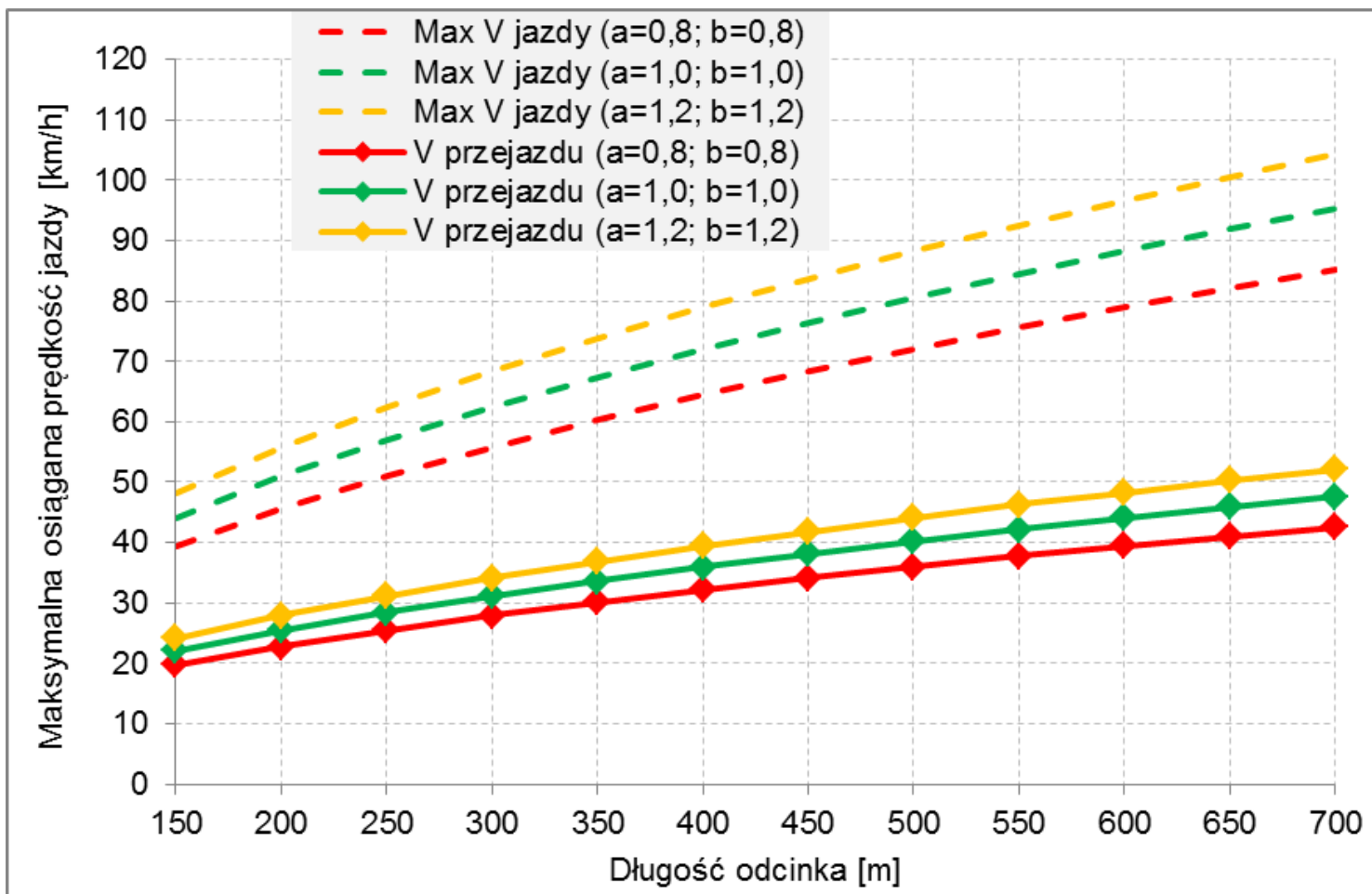
$$T_r = \frac{S}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

$$T_r = v_{\max} \cdot \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) + v_c \cdot \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{c} \right)$$

S	– długość odcinka międzyprzystankowego [m]
$v_{\max}$	– prędkość maksymalna na odcinku [m/s]
a	– średnie przyspieszenie [m/s ²]
b	– średnie opóźnienie [m/s ²]
v_c	– prędkość na końcu jednostajnego zwalniania [m/s]
c	– szybkość jednostajnego zwalniania [m/s ²]

METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PASÓW AUTOBUSOWYCH

- ❑ Określenie maksymalnej prędkości przejazdu możliwej do osiągnięcia na odcinku o zadanej długości



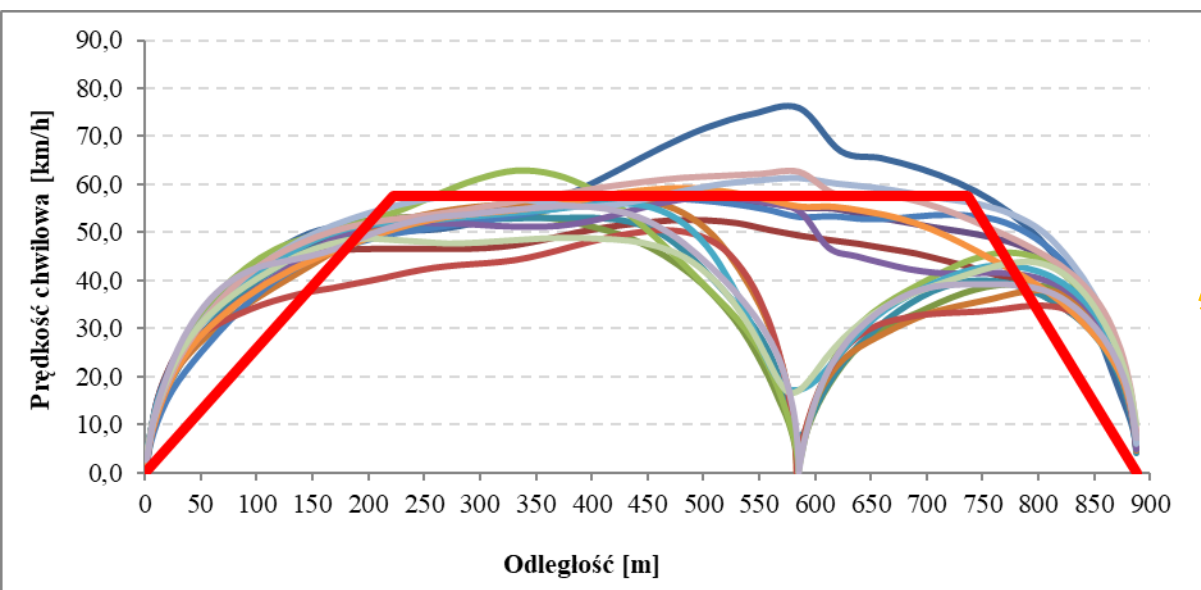
METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PASÓW AUTOBUSOWYCH

- ☐ Określenie punktów charakterystycznych odcinka międzyprzystankowego (indywidualnie dla każdego odcinka)
 - linia zatrzymań na przystanku zlokalizowanym na początku analizowanego odcinka (przyjęta umownie – zgodnie z kilometrażem)
 - linie zatrzymań na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną, znajdujących się na odcinku
 - linie zatrzymań na skrzyżowaniach bez sygnalizacji świetlnej, znajdujących się na odcinku
 - miejsca zmian oznakowania poziomego pasa autobusowego (P-2b, P-c)
 - miejsca przerwania ciągłości pasa autobusowego
 - linia zatrzymań na przystanku zlokalizowanym na końcu analizowanego odcinka (przyjęta umownie – zgodnie z kilometrażem)

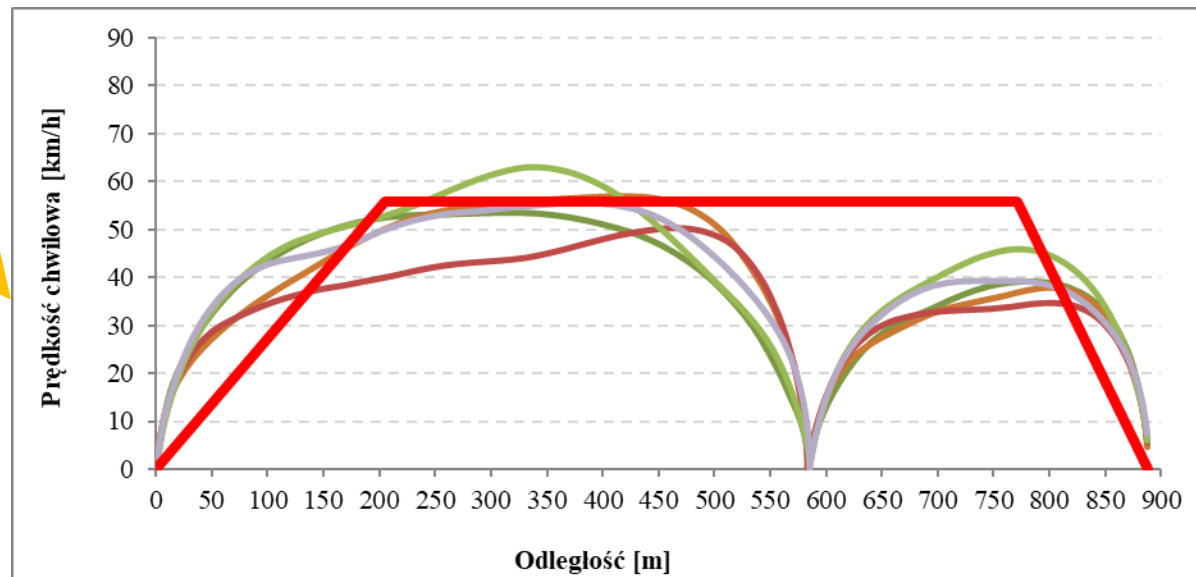
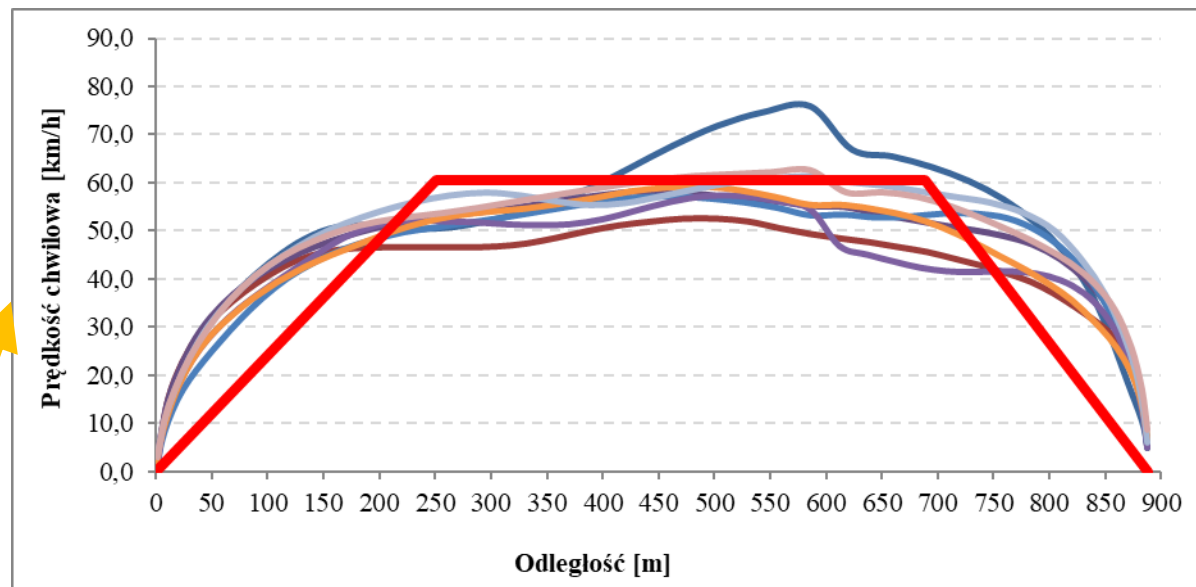


METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PASÓW AUTOBUSOWYCH

- Analiza śladu przejazdu z rozbiem na rodzaje występujących zakłóceń



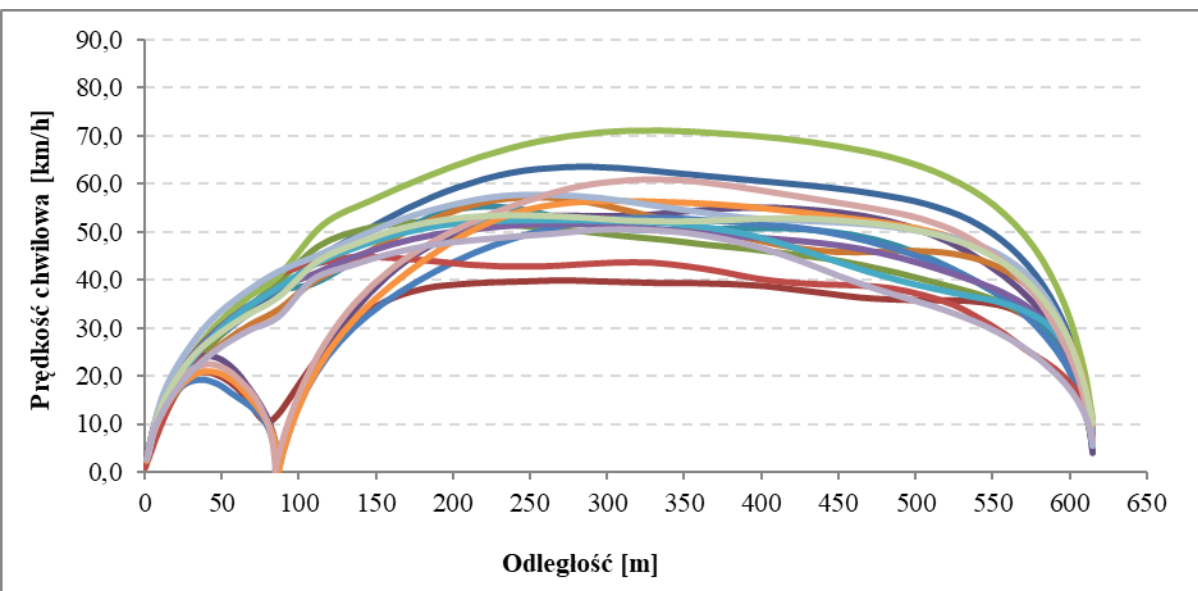
wszystkie przejazdy



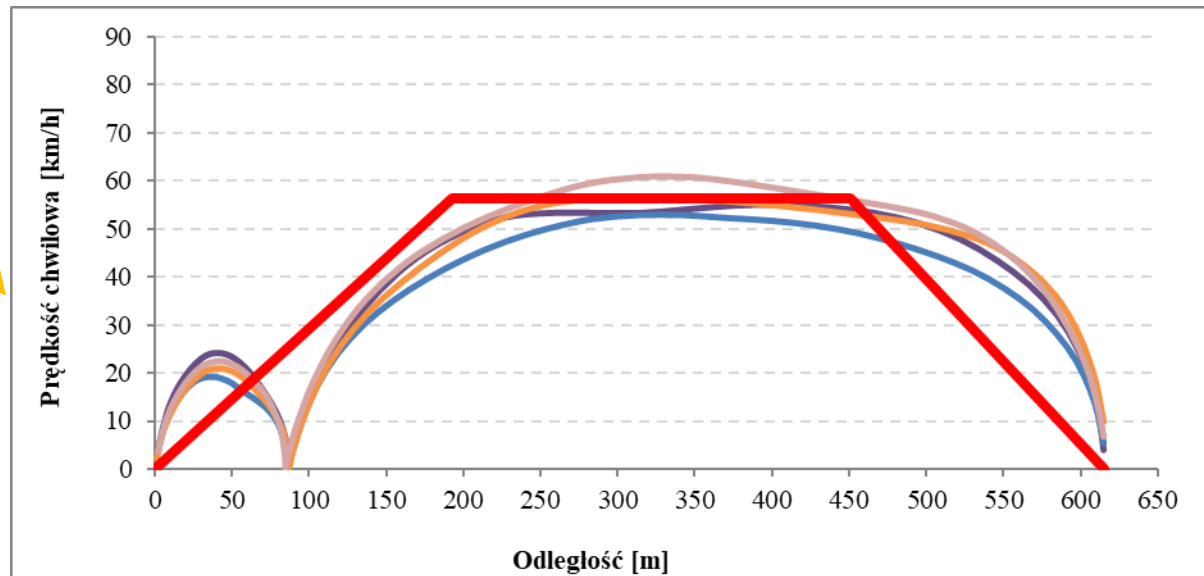
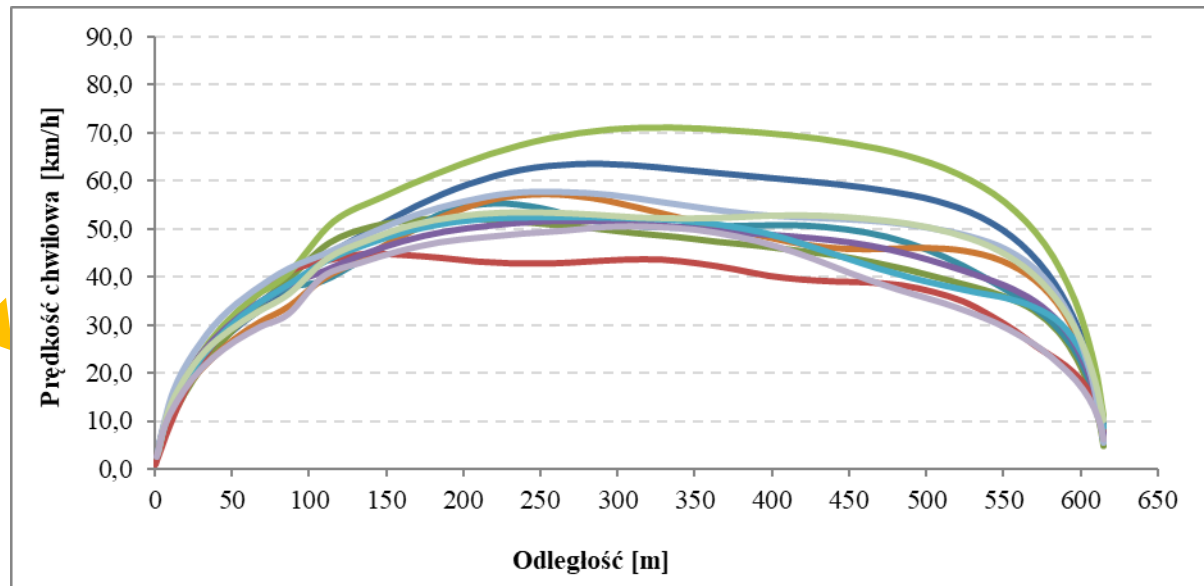


METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PASÓW AUTOBUSOWYCH

- Analiza śladu przejazdu z rozbiem na rodzaje występujących zakłóceń

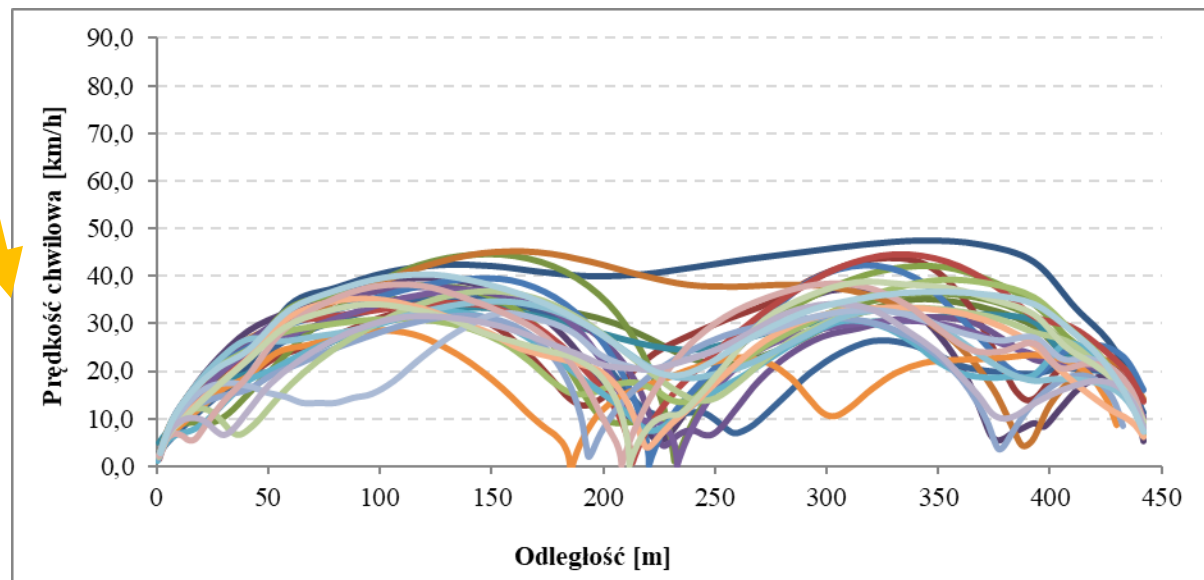
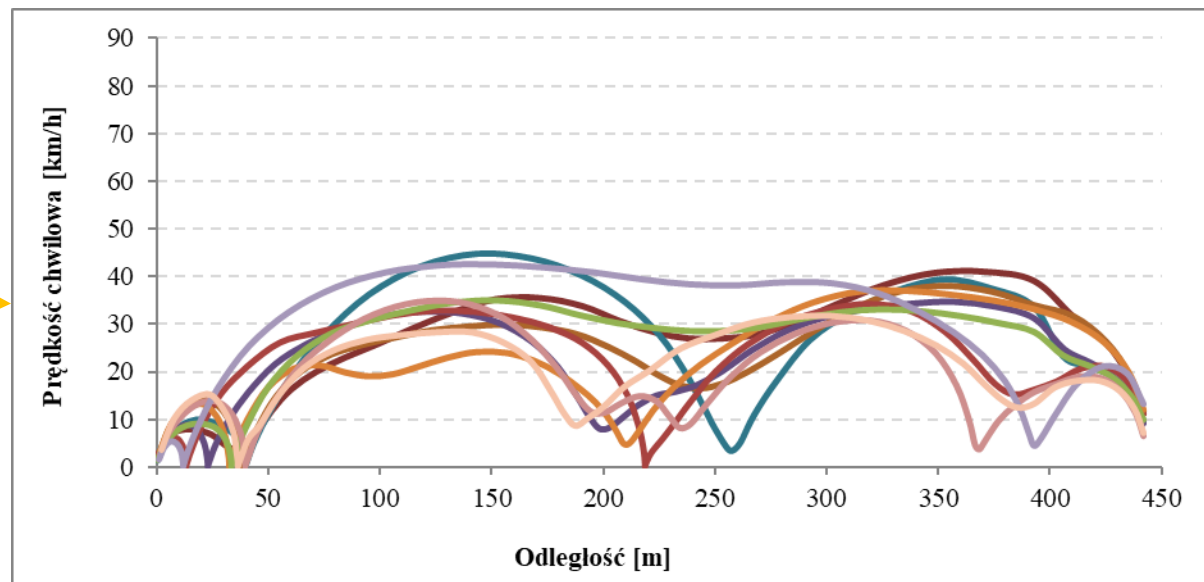
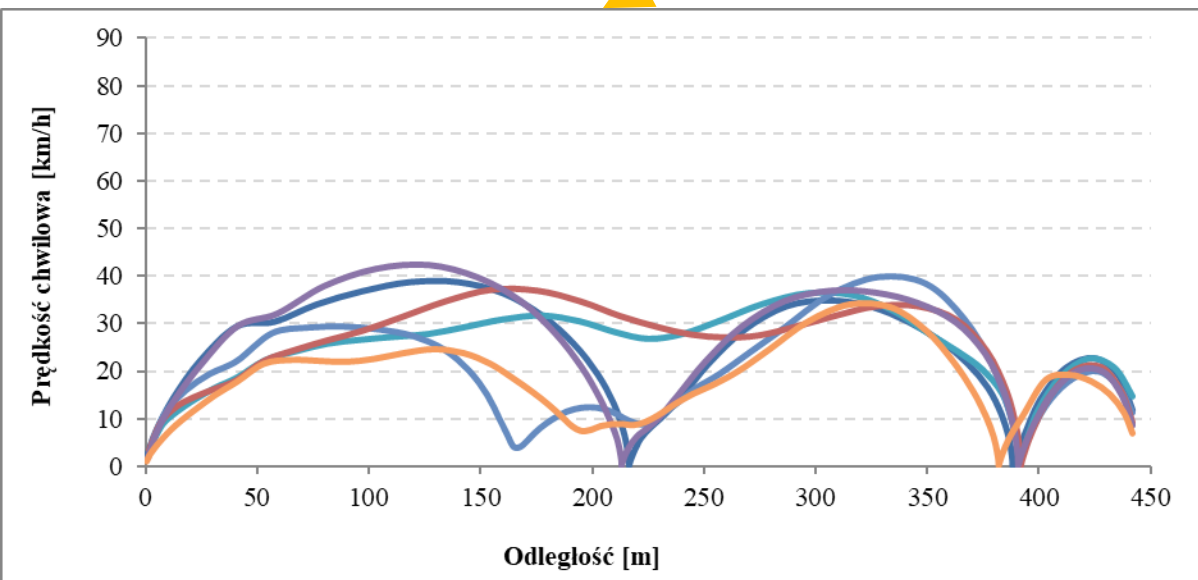
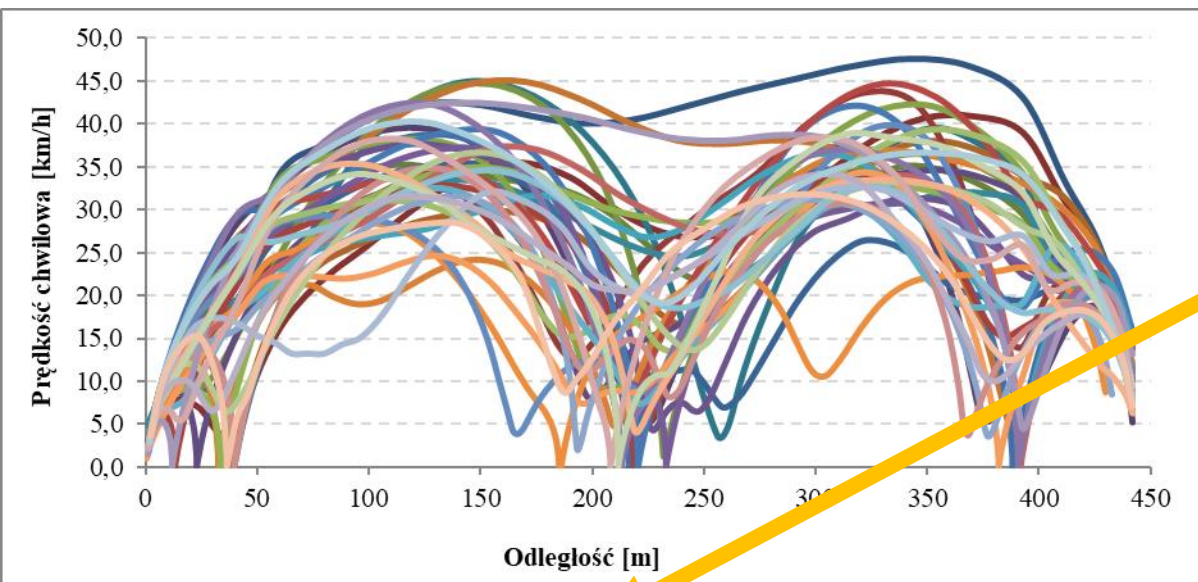


wszystkie przejazdy





METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PA





METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PASÓW AUTOBUSOWYCH

☐ Analiza porównawcza czasów przejazdu dla odcinków o różnych rodzajów występujących zakłóceń

Odcinek: Prokocim Szpital - Włotowa	Wszystkie przejazdy			Przejazdy bez zatrzymania na wlocie skrzyżowania			Przejazdy z zatrzymaniem na wlocie skrzyżowania		
	Skumulowany czas przejazdu [s]	Czas etapu [s]	Czas zatrzyma nia [s]	Skumulowany czas przejazdu [s]	Czas etapu [s]	Czas zatrzyma nia [s]	Skumulowany czas przejazdu [s]	Czas etapu [s]	Czas zatrzyma nia [s]
LZ przystanku PROKOCIM SZPITAL	0	0		0	0		0	0	
początek P-2b Prokocim Szpital	6	6		7	7		6	6	
LZ SS Facimiech	58	52	7	48	41		75	69	14
LZ przystanku WLOTOWA	92	34		77	29		114	40	

Normatywny czas przejazdu: **79 [s]**

L = 888 [m]

Vp = 34,8 [km/h]



METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PASÓW AUTOBUSOWYCH

☐ Analiza porównawcza czasów przejazdu dla odcinków o różnych rodzajów występujących zakłóceń

Odcinek: Prokocim Szpital - Wlotowa	Wszystkie przejazdy		Przejazdy bez zatrzymania na wlocie skrzyżowania		Przejazdy z zatrzymaniem na wlocie skrzyżowania	
	Czas etapu [s]	Prędkość przejazdu [km/h]	Czas etapu [s]	Prędkość przejazdu [km/h]	Czas etapu [s]	Prędkość przejazdu [km/h]
LZ przystanku PROKOCIM SZPITAL	0		0		0	
początek P-2b Prokocim Szpital	6	10,5	7	10,0	6	10,5
LZ SS Facimiech	52	36,3	41	44,0	69	36,3
LZ przystanku WLOTOWA	34	34,8	29	41,7	40	34,8

Normatywny czas przejazdu: **79 [s]**

L = 888 [m]

Vp = 34,8 [km/h]



METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PASÓW AUTOBUSOWYCH

❑ Analiza porównawcza czasów przejazdu dla odcinków o różnych rodzajów występujących zakłóceń

Odcinek: Wlotowa - Bieżanowska	Wszystkie przejazdy			Przejazdy bez zatrzymania na wlocie skrzyżowania			Przejazdy z zatrzymaniem na wlocie skrzyżowania		
	Skumulowany czas przejazdu [s]	Czas etapu [s]	Czas zatrzyma nia [s]	Skumulowany czas przejazdu [s]	Czas etapu [s]	Czas zatrzyma nia [s]	Skumulowany czas przejazdu [s]	Czas etapu [s]	Czas zatrzyma nia [s]
przystanek WLOTOWA	0	0		0	0		0	0	
początek P-1c	5	5		6	6		5	5	
początek P-2b	13	8		13	7		15	9	
LZ SS Wlotowa	23	10	5	15	2		46	31	20
początek P-2b	28	6		19	4		56	10	
początek P-1c	63	34		52	34		89	33	
przystanek BIEŻANOWSKA	70	7		59	7		96	7	

Normatywny czas przejazdu: 62 [s] L = 615 [m]

Vp = 31,7 [km/h]



METODYKA ANALIZY OCENY EFEKTYWNOŚCI PASÓW AUTOBUSOWYCH

☐ Analiza porównawcza czasów przejazdu dla odcinków o różnych rodzajów występujących zakłóceń

Odcinek: Wlotowa - Bieżanowska	Wszystkie przejazdy		Przejazdy bez zatrzymania na wlocie skrzyżowania		Przejazdy z zatrzymaniem na wlocie skrzyżowania	
	Czas etapu [s]	Prędkość przejazdu [km/h]	Czas etapu [s]	Prędkość przejazdu [km/h]	Czas etapu [s]	Prędkość przejazdu [km/h]
przystanek WLOTOWA	0		0		0	
początek P-1c	5	8,5	6	8,3	5	9,0
początek P-2b	8	17,4	7	18,4	9	15,7
LZ SS Wlotowa	10	13,7	2	21,3	31	6,9
początek P-2b	6	17,1	4	26,2	10	8,7
początek P-1c	34	33,5	34	40,1	33	23,7
przystanek BIEŻANOWSKA	7	31,7	7	37,2	7	23,1

Normatywny czas przejazdu: **62 [s]** L = 615 [m]

Vp = 31,7 [km/h]



WNIOSKI

- ☐ Wloty skrzyżowań z sygnalizacją świetlną są miejscami, w których występują największe zakłócenia czasu przejazdu autobusów po pasach autobusowych
- ☐ Systemowa poprawa warunków ruchu autobusów na buspasach, w obrębie wlotów skrzyżowań z sygnalizacją jest wyzwaniem, ale także szansą na realne przyspieszenie komunikacji autobusowej i obniżenie kosztów eksploatacyjnych
- ☐ Zaprezentowana metodyka umożliwia szczegółową analizę słabych punktów pasów autobusowych, w tym określenie konsekwencji ich istnienia
- ☐ Kolejny krok: aktualizacja stochastycznego modelu czasu przejazdu trasy (zmienność warunków ruchu, zmienność interwałów)