

Stanisław GONDEK¹

PRĘDKOŚĆ EWAKUACJI NA SKRZYŻOWANIU Z SYGNALIZACJĄ ŚWIETLĄ

Głównymi czynnikami decydującymi o bezpieczeństwie ruchu na skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną są odpowiedniej długości czasy międzyzielone pomiędzy strumieniami kolizyjnymi. Przy obliczaniu czasów międzyzielonych wykorzystuje się prędkości ewakuacji i dojazdu zgodnie z [1]. W referacie przedstawiono wyniki badań empirycznych prędkości ewakuacji na kilku skrzyżowaniach w Krakowie. Rejestrowano prędkości pojazdów wjeżdżających na skrzyżowanie podczas nadawania sygnału żółtego. Analiza wyników dotyczy zarówno relacji na wprost jak i relacji skrętnych. Badano wpływ prędkości dopuszczalnej na wlocie i promienia skrętu na prędkość ewakuacji.

CLEARANCE SPEED ON SIGNALIZED INTERSECTION

Main factor that determines traffic safety on signalized intersections is the specified intergreen time between the conflicting movements. When calculating intergreen times, clearance and entrance speeds are being used, in accordance with [1]. The paper presents results of empirical measurements of clearance speeds on a number of intersections in Cracow. Speeds of vehicles entering the intersection on yellow signal were registered. The analysis covers both straight through and turn movements. The influence of the limiting approach speed and of the turning radius on the clearance speed was analyzed.

1. WPROWADZENIE

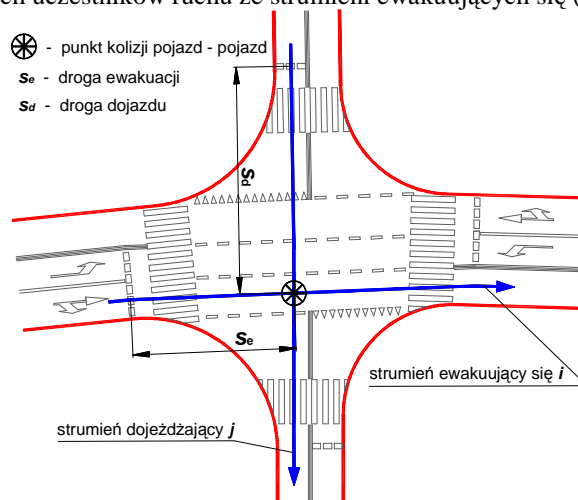
Dla skrzyżowań z sygnalizacją świetlną głównymi czynnikami decydującymi o bezpieczeństwie użytkowników tego skrzyżowania są czasy międzyzielone. Problemem jest prawidłowe obliczenie czasów międzyzielonych pomiędzy konfliktowymi strumieniami ruchu (pojazdów, pieszych, rowerzystów, pojazdów komunikacji zbiorowej) bowiem za małe wartości mogą być przyczyną kolizji na tarczy skrzyżowania a za duże wartości powodują zmniejszenie przepustowości skrzyżowania i rodzą niebezpieczne zachowania (nawyki) użytkowników ruchu (np. wynikające z następującego rozumowania: zdążę jeszcze przejechać/przejechać w początkowym okresie sygnału czerwonego bo pojazdy z następnej fazy jeszcze nie jadą). Decydującą rolę w obliczeniach czasów międzyzielonych odgrywa prawidłowe przyjęcie prędkości ewakuacji i dojazdu dla poszczególnych użytkowników ruchu. W referacie przedstawiono wyniki badań empirycznych prędkości ewakuacji wykonane na kilku skrzyżowaniach w Krakowie oraz wyniki analiz prowadzące

¹ Politechnika Krakowska, Katedra Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. +48 12 628-25-39, fax. +48 12 628-23-28, E-mail: sgondek@pk.edu.pl

do przedstawienia propozycji przyjęcia rzeczywistych wartości prędkości ewakuacji w miejsce wartości normowych przedstawionych w przepisach [1].

2. PRĘDKOŚĆ EWAKUACJI W OBLICZANIU CZASU MIĘDZYZIELONEGO

Obowiązujące obecnie zasady obliczania czasów międzyzielonych zawarte są w załączniku do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla sygnałów drogowych i warunków ich umieszczania na drogach [1]. Zasady te bazują na założeniu, że wszystkie pary strumieni kolizyjnych o niedopuszczalnym jednoczesnym zezwoleniu na ruch powinny mieć tak przyjęte czasy międzyzielone, aby strumienie dojeżdżające osiągały punkt kolizji dopiero po opuszczeniu go przez wszystkich uczestników ruchu ze strumieni ewakuujących się (rys. 1).



Rys. 1. Ilustracja pojęć związanych z obliczaniem czasu międzyzielonego

Dla wszystkich rodzajów strumieni obowiązuje następujący wzór na obliczanie minimalnych czasów międzyzielonych $t_m^{\min}(i, j)$ wyrażonych w [s]:

$$t_m^{\min}(i, j) = t_z + t_e(i, j) - t_d(i, j) \quad (1)$$

gdzie: t_z – czas trwania sygnału żółtego lub jego odpowiedników dla strumienia ewakuującego się i ; w przypadku ewakuacji rowerzystów lub pieszych $t_z = 0$,

$t_e(i, j)$ – czas ewakuacji strumienia i poza punkt kolizji ze strumieniem j ,

$t_d(i, j)$ – czas dojazdu strumienia j do punktu kolizji ze strumieniem i .

Z wzoru (1) wynika, że przyjmuje się wjazdy pojazdów ewakuujących się na skrzyżowanie do końca sygnału żółtego, którego długość jest stała i wynosi $t_z = 3$ s. Czas ewakuacji $t_e(i, j)$ oblicza się z zależności:

$$t_e(i, j) = \frac{s_e(i, j) + l_p}{v_e(i)} \quad (2)$$

gdzie: $s_e(i, j)$ – długość drogi ewakuacji strumienia i od linii zatrzymania do punktu kolizji ze strumieniem j [m],

- l_p – wartość wydłużająca drogę ewakuacji w zależności od rodzaju strumienia:
- 10 m dla strumienia pojazdów,
 - 14 m dla strumienia autobusów,
 - $n \times 13.5$ m dla strumienia tramwajów, gdzie n jest liczbą wagonów w składzie,
 - 0 m dla strumienia pieszych i rowerzystów,
- $v_e(i)$ – **prędkość ewakuacji** [m/s], którą należy przyjąć:
- dla strumienia pojazdów równą prędkości dopuszczalnej na wlocie, **jednak nie większą niż 14 m/s**,
 - dla strumienia autobusów i strumienia tramwajów równą 10 m/s,
 - dla pieszych – 1.4 m/s (1.0 m/s w przypadku przejść dla niepełnosprawnych),
 - dla rowerzystów – 2.8 m/s.

Według przepisów prędkość ewakuacji pojazdów można praktycznie prawie zawsze przyjmować równą 50 km/h (13.9 m/s) dla prędkości dopuszczalnych na wlocie równych lub większych od 50 km/h. Jedynie dla wlotów z ograniczeniami prędkości poniżej 50 km/h prędkość ewakuacji jest niższa, co jednak w rzeczywistości rzadko występuje. Wydaje się, że szczególnie dla relacji skrzyżowanych taka wartość prędkości ewakuacji jest zawyżona, co prowadzi do niedoszacowania czasów międzyzielonych i w konsekwencji prowadzi do zwiększenia niebezpieczeństwa potencjalnych kolizji z pojazdami z następnej fazy.

Poprawność wzoru zastosowanego w przepisach [1] do obliczania czasu dojazdu został szerzej omówiony w [2].

3. POMIAR PRĘDKOŚCI EWAKUACJI POJAZDÓW

W analizach prędkości ewakuacji pojazdów na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną można uwzględniać wiele czynników, w tym m.in.:

- rodzaj relacji (na wprost, skrętu w lewo i skrętu w prawo) i jej kolizyjność,
- prędkość dopuszczalna na wlocie skrzyżowania v_{dop} [km/h],
- natężenie i struktura rodzajowa ruchu pojazdów (zwłaszcza udział pojazdów ciężkich),
- parametry geometryczne (szerokość pasa ruchu, pochylenie wlotu i wielkość tarczy skrzyżowania) oraz rodzaj i stan nawierzchni,
- liczba pasów na wlocie, lokalizacja pasa na wlocie i obecność wysepek dzielących,
- charakterystyka kierowców (motywacja i charakter podróży oraz doświadczenie i znajomość skrzyżowania),
- pora dnia i warunki atmosferyczne.

W referacie przedstawiono wyniki pomiarów prędkości ewakuacji pojazdów z uwzględnieniem rodzaju relacji i prędkości dopuszczalnej na wlocie v_{dop} [3 i 4].

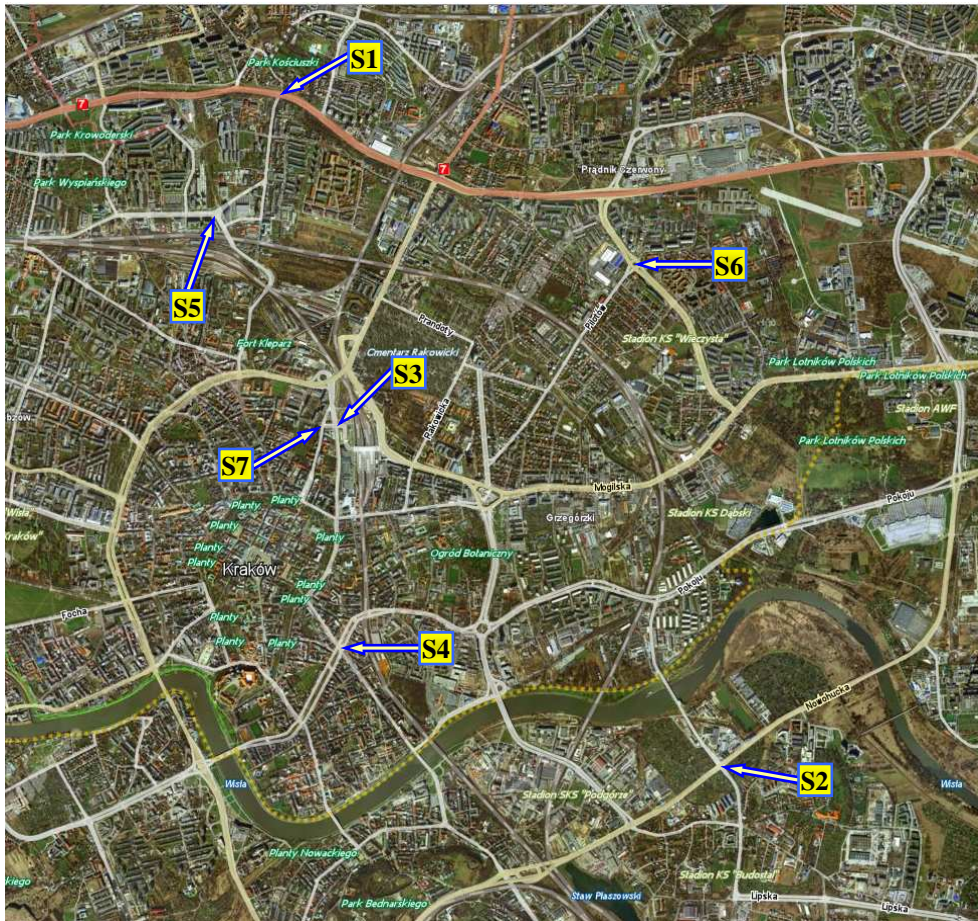
3.1. Charakterystyka poligonów badawczych

Poszukując poligonów badawczych do wykonania badań empirycznych brano pod uwagę następujące kryteria:

- skrzyżowania z sygnalizacją świetlną o zróżnicowanych prędkościach dopuszczalnych na wlotach skrzyżowania v_{dop} [km/h],

- odpowiednie obciążenie wlotów zapewniające występowanie przypadków wjazdu pojazdów na skrzyżowanie w czasie trwania sygnału żółtego i na początku sygnału czerwonego,
- zróżnicowanie skrzyżowań pod względem liczby pasów na wlocie i wielkości tarczy,
- zróżnicowanie organizacji ruchu na pasie (wydzielony lub wspólny) oraz sterowania (relacja kolizyjna lub bezkolizyjna w przypadku relacji skrętnych).

Kierując się powyższymi kryteriami wytypowano 7 skrzyżowań z sygnalizacją świetlną zlokalizowanych w Krakowie (rys. 2) a ich charakterystykę przedstawiono w tabl. 1 – podano liczbę pasów ruchu, na których wykonywano pomiary ruchu dla poszczególnych relacji oraz prędkość dopuszczalną na wlocie v_{dop} [km/h], promień skrętu R [m] w przypadku relacji skrętnych i podporządkowanie relacji (bezkolizyjna lub kolizyjna).



Rys. 2. Lokalizacja poligonów badawczych w Krakowie

Tab. 1. Poligony badawcze w Krakowie, na których realizowano badania prędkości ewakuacji

poli- gon	skrzyżowanie	rela- cja	liczba pasów	v_{dop} [km/h]	promień R [m]	podporząd- kowanie
S1	Opolska (DK Nr 7) – Prądnicka	W	6	70	–	bezkol.
		L	2	50, 70	21, 22	bezkol.
		P	2	50, 70	12, 15	kol.
S2	Powstańców Wielkopolskich – Nowohucka (DW Nr776) – Saska – Stoczniovców	W	8	50, 70	–	bezkol.
		L	3	50, 70	20	bezkol.
		P	4	50, 70	15, 18, 20, 23	kol.
S3	Kalinowskiego – Pawia	W	5	30, 40, 50	–	bezkol.
		L	4	30, 50	11, 18, 23	bezkol.
		P	2	50	11	bezkol., kol.
S4	Dietla – Starowiślna	W	6	50	–	bezkol.
		L	2	50	19, 25	bezkol.
		P	4	50	10, 12, 15	bezkol., kol.
S5	Wybickiego – Bratysławska – Twardego	W	4	50	–	bezkol.
		L	3	50	45	bezkol.
		P	3	50	35, 45, 50	bezkol.
S6	Młyńska – Meissnera – Pilotów (Rondo Młyńskie)	W	8	50	–	bezkol.
		L	2	50	∞	bezkol.
		P	2	50	22, 30	kol.
S7	Warszawska – Szlak	W	3	30	–	bezkol.
		L	1	30	15	bezkol.

Badania empiryczne wykonano w okresie kwiecień ÷ wrzesień 2009 r. na 40 pasach z relacją na wprost, 17 pasach z relacją skrętu w lewo i 17 pasach z relacją skrętu w prawo oraz starano się objąć zarówno godziny szczytów ruchowych jak i godziny pozaszczytowe dni roboczych i weekendowych.

3.2. Technika pomiarów prędkości ewakuacji

Pomiary zostały przeprowadzone przez obserwatorów, którzy rejestrowali czas przejazdu pojazdów ewakuujących się pomiędzy linią zatrzymań a punktami kolizji wyznaczonymi na tarczy skrzyżowania. Pojazdem ewakuującym był pojazd wjeżdżający na tarczę skrzyżowania (przekraczający linię zatrzymań) w czasie nadawania sygnału żółtego i na początku sygnału czerwonego. Fakt wjazdu pojazdu w czasie sygnału czerwonego był notowany przez obserwatora. Na tarczy skrzyżowania wyznaczano dwa skrajne punkty kolizji zlokalizowane najbliżej i najdalej linii zatrzymań. Czas przejazdu mierzono mikrokomputerowym rejestratorem przyciskowym RP-6 pozwalającym zapisać w pamięci czasy naciśnięcia przycisków odpowiadającym przypisanym im zdarzeniom: przejazdom pojazdu lekkiego i ciężkiego przez przyjęte przekroje.

Następnie dane z rejestratora były kopiowane do mikrokomputera, gdzie w arkuszu Excel następowało obliczenie prędkości ewakuacji na odcinkach: od linii zatrzymań do najbliższego punktu kolizji, pomiędzy najbliższym i najdalszym punktem kolizji i

między linią zatrzymań a najdalszym punktem kolizji. Długości odpowiednich dróg ewakuacji były obliczane z wykorzystaniem planów sytuacyjnych skrzyżowań.

Starano się tak realizować pomiary, żeby na każdym pasie ruchu liczebność rejestrowanych pojazdów była statystycznie wystarczająca. Pomiary wykonywano przy dobrych warunkach atmosferycznych (brak opadów deszczu).

3.3. Analizy statystyczne wyników badań

Z pomiarów uzyskano 2065 wartości prędkości ewakuacji, które zostały stabilaryzowane dla poszczególnych pasów i relacji. Dla wszystkich pomiarów sprawdzano i eliminowano błędy grube, sprawdzano wymaganą liczebność próby i zgodność rozkładu prędkości z rozkładem normalnym (przy pomocy testu zgodności λ Kołmogorowa) oraz prowadzono analizy statystyczne obejmujące: miary położenia (średnia arytmetyczna, przedział ufności dla średniej, dominanta, mediana, kwantyle 15 i 85%), miary zmienności (wariancja, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności), miary asymetrii (moment 3-go rzędu, współczynnik asymetrii A, wskaźnik skośności, współczynnik skośności Pearsona) i miarę koncentracji (ekscjes).

Analizy statystyczne prowadzono również dla zagregowanych wyników z poligonów dla poszczególnych relacji przy różnych prędkościach dopuszczalnych na wlotach.

4. WYNIKI BADAŃ PRĘDKOŚCI EWAKUACJI POJAZDÓW

Poniżej przedstawiono wyniki badań dla zagregowanych danych pomiarowych z poszczególnych pasów ruchu dla analizowanych relacji i dla drogi ewakuacji od linii zatrzymań do najdalej położonego punktu kolizji. Uwzględniono różne prędkości dopuszczalne na wlocie $v_{dop} = 30, 50$ i 70 km/h.

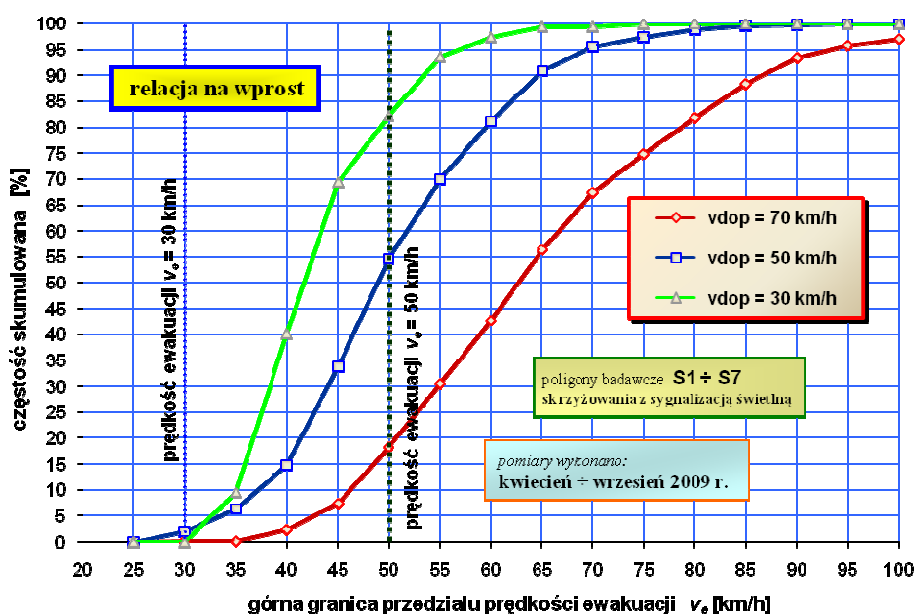
4.1. Prędkość ewakuacji dla relacji na wprost

W tabl. 2 przedstawiono wybrane statystyki dotyczące prędkości ewakuacji pojazdów relacji na wprost. Dystrybuanty prędkości ewakuacji dla poszczególnych prędkości dopuszczalnych na wlocie przedstawiono na rys. 3. Na wykresach dystrybuant zaznaczono normowe prędkości ewakuacji przyjmowane przy projektowaniu sygnalizacji wg [1] (p. 2).

Tab. 2. Statystyki prędkości ewakuacji pojazdów na wprost dla zagregowanych wyników pomiarów na skrzyżowaniach w Krakowie z uwzględnieniem prędkości dopuszczalnej v_{dop}

Statystyka	prędkość dopuszczalna na wlocie v_{dop} [km/h]			całość
	70	50	30	
liczebność	438	439	157	1034
wartość min. $v_{e,min}$ [km/h]	23.2	20.1	25.2	20.1
wartość max. $v_{e,max}$ [km/h]	125.5	88.0	65.3	125.5
wartość średnia $v_{e,śr}$ [km/h]	59.9	45.2	37.9	50.3
odchylenie standard. σ_{ve} [km/h]	16.1	11.0	7.1	15.6
kwantyl 15 % $v_{e,15}$ [km/h] ([m/s])	43.8 (12.2)	35.1 (9.8)	31.3 (8.7)	35.6 (9.9)
kwantyl 85 % $v_{e,85}$ [km/h]	77.3	57.0	45.5	66.2
udział jadących $< v_{e,n}$ [%]	18.1	54.7	0.0	

Dla bezkolizyjnej relacji na wprost uzyskano znaczący wpływ prędkości dopuszczalnych na prędkość ewakuacji. Należy podkreślić, że przy prędkości dopuszczalnej 50 km/h prawie 55 % pojazdów nie przekracza wartości normowej prędkości ewakuacji a dla prędkości podwyższonej ten udział wynosi 18 %. Przy obniżonej prędkości dopuszczalnej wszystkie pojazdy poruszały się z prędkością ewakuacji większą od normowej.



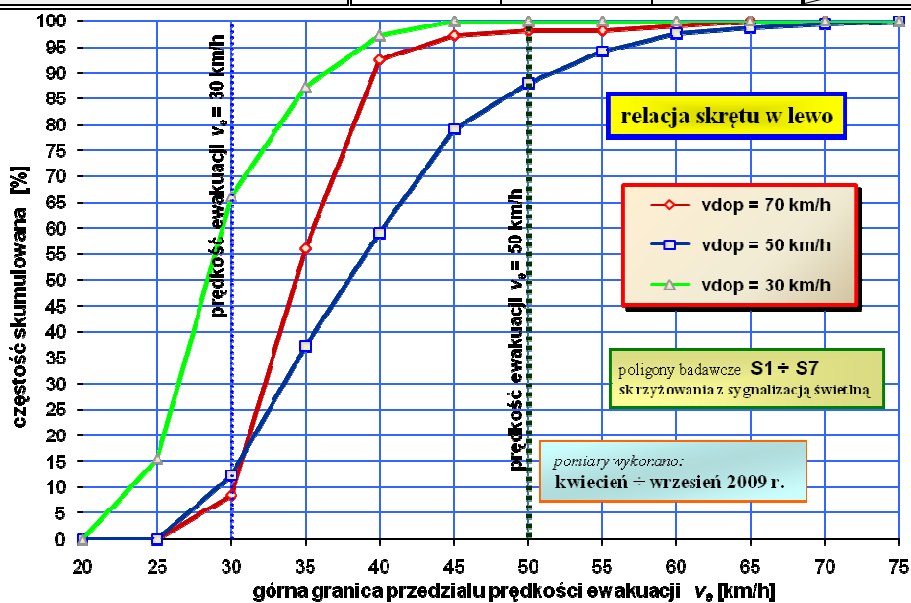
Rys. 3. Dystrybuanty prędkości ewakuacji pojazdów na wprost przy różnych prędkościach dopuszczalnych na wlocie v_{dop}

4.2. Prędkość ewakuacji dla relacji skrzyżowania w lewo

Podobnie jak w p. 4.1. w tabl. 3 przedstawiono wybrane statystyki a na rys. 4 dystrybuanty prędkości ewakuacji pojazdów relacji skrzyżowania w lewo dla poszczególnych prędkości dopuszczalnych na wlocie.

Tab. 3. Statystyki prędkości ewakuacji pojazdów relacji skreću w lewo dla zagregowanych wyników pomiarów na skrzyżowaniach w Krakowie z uwzględnieniem prędkości dopuszczalnej v_{dop}

Statystyka	prędkość dopuszczalna na wlocie v_{dop} [km/h]			całość
	70	50	30	
Liczebność	107	327	71	505
wartość min. $v_{e,min}$ [km/h]	22.3	20.7	18.4	18.4
wartość max. $v_{e,max}$ [km/h]	58.9	67.4	36.0	67.4
wartość średnia $v_{e,śr}$ [km/h]	30.3	34.2	24.2	32.0
odchylenie standard. σ_{ve} [km/h]	4.9	8.6	4.3	8.2
kwantyl 15 % $v_{e,15}$ [km/h] ([m/s])	26.2 (7.3)	25.6 (7.1)	20.0 (5.6)	24.0 (6.7)
kwantyl 85 % $v_{e,85}$ [km/h]	33.1	42.9	28.5	39.7
udział jadących $< v_{e,n}$ [%]	98.2	88.1	66.8	



Rys. 4. Dystrybuanty prędkości ewakuacji pojazdów relacji skreću w lewo przy różnych prędkościach dopuszczalnych na wlocie v_{dop}

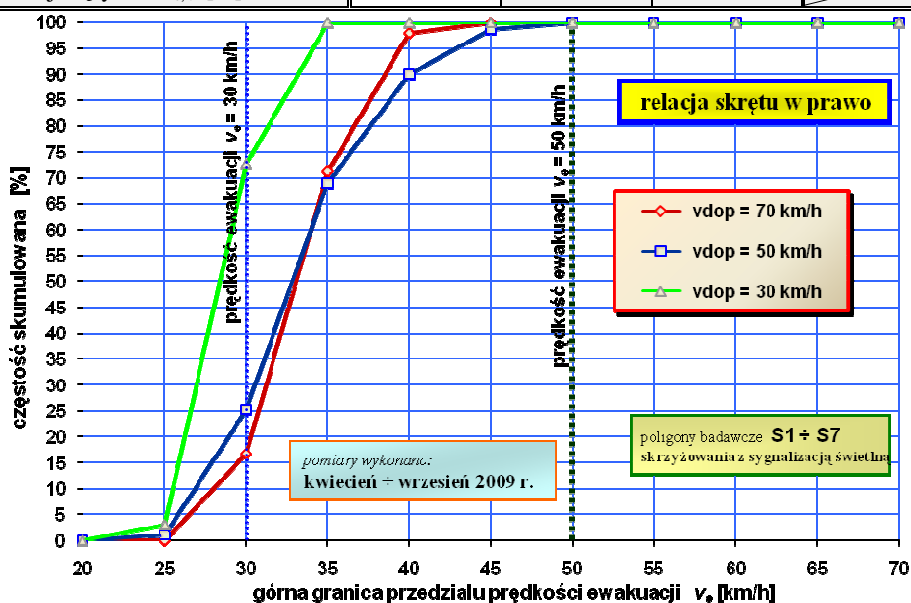
Dla bezkolizyjnej relacji skreću w lewo większość pojazdów porusza się z prędkością ewakuacji mniejszą od normowej a wpływ prędkości dopuszczalnej na wlocie jest niewielki.

4.3. Prędkość ewakuacji dla relacji skreću w prawo

Podobnie jak w p. 4.1 i 4.2. w tabl. 4 przedstawiono wybrane statystyki a na rys. 5 dystrybuanty prędkości ewakuacji pojazdów relacji skreću w prawo dla poszczególnych prędkości dopuszczalnych na wlocie.

Tab. 4. Statystyki prędkości ewakuacji pojazdów relacji skreću w prawo dla zagregowanych wyników pomiarów na skrzyżowaniach w Krakowie z uwzględnieniem prędkości dopuszczalnej v_{dop}

statystyka	prędkość dopuszczalna na wlocie v_{dop} [km/h]			całość
	70	50	30	
Liczebność	101	392	33	526
wartość min. $v_{e,min}$ [km/h]	22.0	19.0	19.7	19.0
wartość max. $v_{e,max}$ [km/h]	37.4	42.7	26.3	42.7
wartość średnia $v_{e,śr}$ [km/h]	28.1	28.4	23.3	28.0
odchylenie standard. σ_{ve} [km/h]	3.2	4.6	2.0	4.4
kwantyl 15 % $v_{e,15}$ [km/h] ([m/s])	24.7 (6.9)	23.8 (6.6)	21.4 (5.9)	23.6 (6.6)
kwantyl 85 % $v_{e,85}$ [km/h]	31.8	33.2	25.7	32.6
udział jadących $< v_{e,n}$ [%]	100.0	100.0	73.3	



Rys. 5. Dystrybuanty prędkości ewakuacji pojazdów relacji skreću w prawo przy różnych prędkościach dopuszczalnych na wlocie v_{dop}

Mniejsze promienie skreću (w stosunku do relacji skreću w lewo) oraz fakt, że większość badanych relacji była kolizyjna z pieszymi sprawiła, że prędkości ewakuacji dla relacji skreću w prawo są najmniejsze a dla prędkości dopuszczalnych na wlocie ≥ 50 km/h wszystkie pojazdy poruszały się z prędkością mniejszą od normowej.

Przyjmując kwantyl 15 % jako wartość reprezentatywną do obliczeń czasów ewakuacji wykonane pomiary ruchu pokazują, że jedynie dla relacji na wprost i ograniczeniu prędkości na wlocie do 30 km/h wartość uzyskana z pomiarów jest większa od wartości normowej. Świadczy to o możliwości niedoszacowania wartości czasów ewakuacji i w konsekwencji również czasów międzyzielonych co skutkuje zwiększeniem zagrożenia kolizjami na tarczy skrzyżowania i przejściach na pieszych.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzone pomiary prędkości ewakuacji pojazdów na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną należy traktować jako wrywkowe i pilotażowe ale wyniki zaprezentowane w referacie oraz dodatkowe bardziej szczegółowe analizy pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- przyjęcie jednej normatywnej wartości prędkości ewakuacji v_e równej prędkości dopuszczalnej na wlocie (ale nie większej od 14 m/s) nie jest zgodne z otrzymanymi wynikami a wykonane pomiary pozwalają zaproponować następujące zależności:
 - *wydzielona relacja na wprost*: $v_e = 0.56 \cdot v_{dop} + 12.2$ [km/h] przy $R^2 = 0.54$,
 - *bezkolizyjna relacja skrętu w lewo*: $v_e = 0.38 \cdot R + 17.4$ [km/h] przy $R^2 = 0.61$,
 - *kolizyjna relacja skrętu w prawo*: $v_e = 0.36 \cdot R + 18.5$ [km/h] przy $R^2 = 0.83$,
 gdzie: v_e – normowa prędkość ewakuacji [km/h], v_{dop} – dopuszczalna prędkość na wlocie [km/h], R – promień skrętu [m] i R^2 – współczynnik determinacji,
- w przypadku relacji na wprost dał się zauważyć wpływ obecności na pasie kolizyjnej relacji skrętu w prawo – na tych pasach prędkość ewakuacji pojazdów relacji na wprost była o około 5 km/h niższa od prędkości ewakuacji na pasach prowadzących jedynie relacje na wprost,
- badania wykonane na skrzyżowaniu **S1**: Opolska – Prądnicka przy różnych stopniach obciążenia wykazały, że przy zwiększaniu natężenia ruchu i tworzeniu się kolumn pojazdów spada prędkość ewakuacji wynikająca z coraz większego ograniczenia swobody poruszania się pojazdów,
- zbyt mała liczebność zarejestrowanych pojazdów ciężkich nie pozwala wyciągnąć statystycznie ufnych wniosków o wpływie struktury rodzajowej na prędkość ewakuacji – otrzymano wyniki dla pojazdów lekkich i ciężkich zarówno zbliżone wartościami do siebie jak i znacznie się różniące (mniejsze wartości dla pojazdów ciężkich),
- porównanie prędkości ewakuacji dla pierwszego (pomiędzy linią zatrzymań i najbliższym punktem kolizji) i drugiego (pomiędzy skrajnymi punktami kolizyjnymi) odcinka ewakuacji nie daje jednoznacznej odpowiedzi o zachowaniach kierowców – uzyskano zarówno podwyższenie jak i zmniejszenie prędkości na tarczy skrzyżowania,
- w czasie pomiarów średnio raz na 8 ÷ 9 cykli następował przypadek wjazdu na sygnale czerwonym,
- obserwacje potwierdziły znaczący wpływ na prędkość ewakuacji stanu nawierzchni – ubytki, koleiny czy nierówności nawierzchni powodowały obniżenie prędkości poruszania się pojazdów po tarczy skrzyżowania,
- kwantyfikacja wpływu różnych czynników przedstawionych w p. 3 wymaga przeprowadzenia dalszych badań empirycznych na odpowiednio dobranych poligonach badawczych pozwalających wyselekcjonować badane czynniki przy podobieństwie pozostałych lub wykorzystać analizy wielokryterialne przy odpowiednio dużym

zakresie badań empirycznych (badania kompleksowe),

- celowym wydaje się wprowadzenie do przepisów zalecenia o potrzebie wykonania pomiarów empirycznych prędkości ewakuacji na skrzyżowaniu po oddaniu go do eksploatacji w celu weryfikacji przyjętych czasów międzyzielonych tak jak to było w poprzednich przepisach.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] *Szczegółowe warunki techniczne dla sygnałów drogowych i warunki ich umieszczenia na drogach*. Załącznik nr 3 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 3.07.2003 r. Dz. U. nr 220, poz. 2181 z dnia 23.12.2003 r.
- [2] Gondek S.: *Problem czasów międzyzielonych na skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną*. Logistyka Nr 4/2007, s. 85 ÷ 88.
- [3] Radwan J.: *Badanie prędkości ewakuacji dla relacji na wprost na skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną*. Politechnika Krakowska, Kraków 2010 (praca dyplomowa).
- [4] Białkowski A.: *Badanie prędkości ewakuacji dla relacji skrętnych na skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną*. Politechnika Krakowska, Kraków 2010 (praca dyplomowa).