

Renata Żochowska, Aleksander Sobota

Politechnika Śląska, Wydział Transportu

OCENA WPŁYWU PRZEJŚĆ DLA PIESZYCH BEZ SYGNALIZACJI ŚWIETLNEJ NA ZAKŁÓCENIA W RUCHU DROGOWYM

Rękopis dostarczono: maj 2017

Streszczenie: Przejście dla pieszych prowadzone w poziomie jezdni stanowi powierzchnię, na której w tym samym czasie może znajdować się zarówno uczestnik ruchu pieszego, jak i kołowego. Ze względu na ustalone prawnie pierwszeństwo przechodniów, ruch kołowy zostaje w tym miejscu zakłócony, a jego uczestnicy doznają strat czasu zależnych głównie od intensywności ruchu pieszych. W artykule przedstawiono sposób analizy zagadnienia oraz zaproponowano wskaźniki wspomagające ocenę wpływu przejść dla pieszych na zakłócenia w ruchu drogowym. Zaprezentowane wyniki badań dotyczą wybranych lokalizacji na terenie aglomeracji górnośląskiej.

Słowa kluczowe: ruch pieszy, przejście dla pieszych, zakłócenia w ruchu drogowym, przepustowość skrzyżowań

1. WPROWADZENIE

Ruch drogowy cechują pewne prawidłowości, które mają istotne znaczenie dla analizy zjawisk w nim zachodzących. Według Szymanka [19] wybrane z nich to:

- zarówno w ruchu samochodowym, kolejowym jak również lotniczym największe straty czasu z powodu kolizyjności mają miejsce w węzłach (skrzyżowania, węzły kolejowe, lotniska),
- procesy ruchu w sieciach są niestacjonarne pod względem czasowym i przestrzennym; oznacza to, że obserwowane na sieci potoki ruchu charakteryzują się zmiennymi w dobie natężeniami, zmienną strukturą rodzajową, a sieć nie jest obciążona ruchem równomiernie,
- stopień gęstości sieci transportowej powoduje określony poziom trudności sterowania ruchem.

Prawidłowości, o których mowa są uwzględniane w procesie planowania i projektowania systemu transportowego, którego główną rolą jest zapewnienie sprawnej realizacji przemieszczenia osób i (lub) ładunków w czasie i przestrzeni [1, 3, 20]. W przypadku ruchu drogowego, który jest ruchem samoregulującym się, do zapewnienia sprawnej realizacji podstawowych zadań systemu transportowego stosowane są różne narzędzia, tj.: prawne

(np. przepisy ruchu drogowego), organizacyjne (np. system oznakowania), techniczne (np. geometria elementów infrastruktury), ekonomiczne (np. koszty realizacji zadań transportowych) i inne. Narzędzia te muszą uwzględnić potrzeby wielu grup użytkowników, którymi są piesi, rowerzyści i kierujący pojazdami. W odniesieniu do uwarunkowań urbanistycznych może to powodować powstawanie miejsc charakteryzujących się wysokim poziomem wypadkowości [4, 18] lub zakłóceń [7, 16, 17, 21, 22] między tymi grupami. W konsekwencji przekłada się to na pogorszenie jakości realizacji procesu transportowego. W publikacji [6] przedstawiono trzy główne grupy przyczyn występowania takich sytuacji: otoczenie (przeszkody), stan techniczny (najczęściej zły) infrastruktury oraz występowanie innych użytkowników. W niniejszej publikacji analizie poddawano trzecią z wymienionych grup, bowiem identyfikowano wpływ ruchu pieszego na zakłócenia w ruchu pojazdów przejeżdżających przez przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej.

2. ANALIZA ZAGADNIENIA

2.1. STAN ZAGADNIENIA W ŚWIETLE LITERATURY

Interakcje między pieszymi a kierującymi pojazdami są nieuchronne. Zależą one zarówno od zachowania kierującego pojazdem, który jest zobowiązany ustąpić pierwszeństwa pieszemu, jak i od zachowania pieszego (jako niechronionego uczestnika ruchu drogowego), który przekraczając jezdnię musi zachować odpowiedni poziom bezpieczeństwa. Szczególnie istotne jest to w miejscach gdzie nie występuje sygnalizacja świetlna. Wówczas proces ten wymaga od pieszego dokonania oceny luki czasowej między pojazdami i podjęcia decyzji o wejściu na jezdnię. Niestety, nie zawsze ocena ta jest dokonywana poprawnie, co prowadzi do występowania sytuacji niebezpiecznych oraz zakłóceń w ruchu pojazdów. Dlatego też miejsca kolizyjne między pieszymi a pojazdami i środowiskiem drogi są przedmiotem badań naukowych. W publikacji [18] scharakteryzowano wady infrastruktury drogowej z punktu widzenia pieszych. Natomiast w publikacjach [5, 12] przedstawiono istniejące i proponowane rozwiązania oznakowania elementów infrastruktury drogowo-ulicznej dla zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa ruchu pieszego.

Jednym z narzędzi, które w sposób pośredni wskazuje wpływ ruchu pieszego na zakłócenia w ruchu pojazdów jest nomogram [2] do wyboru poszczególnych rodzajów urządzeń stosowanych na przejściach dla pieszych. Prezentuje on zależność między natężeniem ruchu pieszego a prędkością dopuszczalną pojazdów, na podstawie której wskazywane jest zalecane rozwiązanie wyboru jednego z siedmiu sposobów wyposażenia przejścia dla pieszych w urządzenia, tj.: brak urządzeń, wyspa azylu, zmiana materiału nawierzchni jezdni w obrębie przejścia dla pieszych, przejście typu zebra, wyniesienie poziomu przejścia dla pieszych nad poziom jezdni, przejście z sygnalizacją świetlną, przejście nadziemne lub podziemne. W [13] przedstawiono metodę doboru urządzeń na przejściach dla pieszych według kryterium minimalizacji zagrożenia dla pieszych przy

najniższych kosztach. Analiza ta prowadzona jest w dwóch etapach. W pierwszym identyfikowane są zagrożenia dla bezpieczeństwa pieszych w zależności od rodzaju drogi (dwukierunkowa, jednokierunkowa lub autostrada), liczby pasów ruchu na jezdni, występowania wysp azylu dla pieszych, parkowania i dopuszczalnej prędkości pojazdów. Na tej podstawie wstępnie wybierane są urządzenia stosowane na przejściach dla pieszych, które następnie poddawane są szczegółowej ocenie. Dla porównania w Austrii [8] wybór rodzaju przejścia dla pieszych dokonuje się w oparciu o analizę natężenia ruchu kołowego, zapotrzebowanie na przejście, natężenia ruchu pieszego, prędkości pojazdów i widoczności przejścia.

W Polsce konieczność stosowania sygnalizacji świetlnej na przejściach dla pieszych o obserwowanym dużym natężeniu ruchu pieszych lub pojazdów oceniana jest na podstawie tzw. kryterium punktowego [15]. W odniesieniu do skrzyżowań przyjmuje się następujące dane wejściowe: natężenie ruchu pojazdów i tramwajów, obciążenie ruchem pieszych, widoczność na skrzyżowaniu, zdarzenia drogowe. Natomiast w odniesieniu do przejść dla pieszych poza skrzyżowaniami - obciążenie ruchem pojazdów i ruchem pieszych oraz liczbę wypadków z pieszymi.

Wpływ ruchu pieszego na warunki ruchu pojazdów był przedmiotem badań prowadzonych w Polsce. Czynnikiem ten uwzględniany jest w obowiązujących w Polsce metodach obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną [11], skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej [10] i rond [9].

W metodzie obliczania przepustowości skrzyżowań drogowych bez sygnalizacji świetlnej [10] wpływ, o którym mowa uwzględniany jest poprzez wyznaczenie tzw. **współczynnika wpływu pieszych**, który oprócz współczynników uwzględniających dławienie ruchu, występowanie przystanków autobusowych i strukturę rodzajową ruchu, redukuje wartość przepustowości wyjściowej relacji prowadząc do określenia przepustowości rzeczywistej relacji. Parametrami, które determinują wielkość wpływu ruchu pieszego na przepustowość według [10] są:

- natężenie ruchu pieszego nadrzędnego względem rozważanej relacji, wyrażone liczbą grup pieszych wchodzących w strefę kolizji,
- długości stref kolizji pokonywanych przez grupy pieszych.

W metodzie obliczania przepustowości rond [9] ocena stopnia utrudniania ruchu pojazdom lub ich blokowania przez pieszych wyznaczana jest również poprzez określenie odpowiedniego współczynnika, który wpływa na redukcję wartości przepustowości wyjściowej relacji.

2.2. OPIS METODYKI BADAWCZEJ

Ocenę wpływu ruchu pieszego na zakłócenia w ruchu pojazdów przeprowadzono w ramach pracy [14], gdzie badaniom poddano trzy przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej położone w aglomeracji górnośląskiej, tj.:

- Będzin, ul. Modrzejowska,
- Będzin, ul. 11-go Listopada,

– Katowice, ul. Andrzeja.

Wybrane przejścia dla pieszych różniły się wielkością natężenia ruchu pieszego i kołowego, co stwierdzono po przeprowadzeniu wstępnych obserwacji ruchu. Ponadto w otoczeniu żadnego z przejść nie zidentyfikowano skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Parametry geometryczne badanych obiektów przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Podstawowe wymiary geometryczne badanych przejść dla pieszych

Lokalizacja przejścia dla pieszych	Szerokość [m]	Długość [m]
Będzin, ul. Modrzejowska	4	7
Będzin, ul. 11-go Listopada	4	16
Katowice, ul. Andrzeja	4	7

Badania prowadzono dwukrotnie w każdej z lokalizacji. Jako okres pomiarowy wybrano godziny od 7⁰⁰ do 9⁰⁰ oraz od 15⁰⁰ do 17⁰⁰. Podczas prowadzenia pomiarów zbierano następujące dane:

- numer grupy pieszych,
- liczebność pieszych w grupie,
- moment rozpoczęcia i zakończenia przejścia,
- czas spędzony na wyspie azylu (w przypadku przejścia dla pieszych zlokalizowanego w Będzinie przy ul. 11-go listopada), liczony od chwili, gdy pieszy zatrzymał się w celu dokonania oceny możliwości kontynuowania przechodzenia przez jezdnię do chwili ponownego wejścia na przejście,
- liczba pojazdów zatrzymanych podczas przejścia grupy pieszych z obu kierunków jazdy,
- liczba pojazdów, które przejechały do rozpoczęcia następnego przejścia grupy pieszych przez jezdnię¹.

Badania prowadzono łącznie przez 12 godzin rejestrując ruch 3 906 pieszych i 4 878 pojazdów.

3. MIARY WSPOMAGAJĄCE OCENĘ WPŁYWU PRZEJŚĆ DLA PIESZYCH BEZ SYGNALIZACJI ŚWIETLNEJ NA ZAKŁÓCENIA W RUCHU DROGOWYM

Do oceny wpływu przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej na zakłócenia w ruchu drogowym wyznaczono charakterystyki, które przedstawiono w tablicy 2.

Zestawienie różnorodnych miar przedstawionych w tablicy 2 pozwala na kompleksową ocenę wpływu przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej na zakłócenia w ruchu drogowym. Należy zaznaczyć, że wielkości L_{gps} , Q_{ps} oraz Q_{pj} zostały sformułowane w sposób uogólniony (w odniesieniu do badanego przedziału czasu). Taki zapis umożliwia

¹ Przejazdy bez zatrzymania dotyczyły pojazdów, które przejechały przez przejście po zejściu grupy pieszych. Przejazdy z zatrzymaniem dotyczyły pojazdów, które nie przejechały przez przejście po zejściu grupy pieszych, ponieważ musiały zatrzymać się przed wejściem następnej grupy pieszych.

prorowadzenie badań i analiz dla przedziałów czasu o różnych długościach (np. $t = 15$ min, $t = 1$ h, $t = 1$ doba).

Tablica 2

Miary wspomagające ocenę wpływu przejść dla pieszych na zakłócenia w ruchu drogowym

Lp.	Nazwa miary	Charakterystyka miary
1	Liczba grup pieszych L_{gps} [gps/t]	Liczba wszystkich zaobserwowanych grup pieszych przechodzących przez przejście w przedziale czasu o długości t
2	Natężenie ruchu pieszych Q_{ps} [Ps/t]	Liczba pieszych przechodzących przez przejście w przedziale czasu o długości t
3	Średnia liczba pieszych w grupie L_{srgps} [Ps/gps]	Wartość obliczana ze wzoru: $L_{srgps} = \frac{Q_{ps}}{L_{gps}} \quad [\text{Ps/gps}] \quad (1)$
4	Łączny czas spędzony przez pieszych na przejściu T_{gps} [min]	Suma przedziałów czasu, w których na przejściu znajdowała się co najmniej jedna osoba
5	Średni czas przejścia T_{srgps} [s]	Średni czas jaki potrzebowała grupa pieszych na pokonanie przejścia obliczany z zależności: $T_{srgps} = \frac{60 \cdot T_{gps}}{L_{gps}} \quad [\text{s}] \quad (2)$
6	Łączny odstęp czasu między grupami pieszych H_{gps} [min]	Łączny czas, w trakcie którego piesi nie korzystali z przejścia wyznaczany jako suma odstępów czasu między grupami pieszych
7	Średni odstęp czasu między grupami pieszych H_{srgps} [s]	Średni odstęp czasu upływający od momentu opuszczenia przejścia dla pieszych przez ostatnią osobę z grupy do momentu wejścia pierwszej osoby z kolejnej grupy obliczany z zależności: $H_{srgps} = \frac{60 \cdot H_{gps}}{L_{gps}} \quad [\text{s}] \quad (3)$
8	Stopień wykorzystania przejścia przez pieszych U_{Tgps} [%]	Udział łącznego czasu spędzonego na przejściu przez pieszych do czasu trwania pomiarów wyznaczany z zależności: $U_{Tgps} = \frac{T_{gps}}{T} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$ gdzie: T – czas trwania pomiarów [min]
9	Udział czasu kiedy na przejściu nie było pieszych U_{Hgps} [%]	Udział sumy odstępów czasu między grupami pieszych do czasu trwania pomiarów wyznaczany z zależności: $U_{Hgps} = \frac{H_{gps}}{T} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$
10	Łączny czas spędzony na wyspie azylu T_a [min]	Łączny czas, w którym piesi przebywali na wyspie azylu oczekując na zatrzymanie się pojazdu wyznaczany jako suma odstępów czasu od momentu zatrzymania się pieszego na wyspie azylu do momentu zejścia z niej
11	Natężenie ruchu pojazdów przejeżdżających przez przejście Q_{pj} [P/t]	Liczba pojazdów rzeczywistych, które przejechały przez przejście dla pieszych w przedziale czasu o długości t

Lp.	Nazwa miary	Charakterystyka miary
12	Średnia liczba pojazdów przejeżdżających między grupami pieszych $L_{sr_{pj}}$ [P]	Średnia liczba pojazdów przejeżdżających między dwoma następującymi po sobie grupami pieszych wyznaczana z zależności: $L_{sr_{pj}} = \frac{Q_{pj}}{L_{gps}} \quad [P] \quad (6)$
13	Liczba pojazdów zatrzymanych przed przejściem Lz_{pj} [P]	Liczba wszystkich pojazdów, które zatrzymały się przed przejściem dla pieszych (liczba pojazdów zablokowanych przez pieszych lub ustępujących pierwszeństwa pieszym)
14	Liczba grup pojazdów zatrzymanych przed przejściem L_{gpj} [gr.poj]	Liczba wszystkich grup pojazdów, które zatrzymały się przed przejściem dla pieszych (liczba grup pojazdów zablokowanych przez pieszych lub ustępujących pierwszeństwa pieszym)
15	Liczba pojazdów, które zatrzymały się ponownie Lp_{pj} [P]	Liczba pojazdów, które musiały zatrzymać się ponownie w celu ustąpienia pierwszeństwa kolejnej grupie pieszych
16	Średnia wielkość grupy zatrzymanych pojazdów $L_{sr_{gpj}}$ [P/gr.poj]	Średnia liczba pojazdów w jednej grupie, które zatrzymały się przed przejściem dla pieszych (średnia liczba pojazdów zablokowanych przez pieszych lub ustępujących pierwszeństwa pieszym) wyznaczana z zależności: $L_{sr_{gpj}} = \frac{Lz_{pj}}{L_{gpj}} \quad [P/gr.poj] \quad (7)$
17	Łączny czas zatrzymania pojazdów T_z [min]	Łączne straty czasu grup pojazdów przed przejściem dla pieszych wyznaczone jako suma czasów oczekiwania na przejazd przez przejście dla pieszych
18	Udział pojazdów zatrzymanych Uz_{pj} [%]	Udział liczby pojazdów zatrzymanych przed przejściem dla pieszych w stosunku do natężenia ruchu pojazdów, które zarejestrowano w przedziale czasu t wyznaczony z zależności: $Uz_{pj} = \frac{Lz_{pj}}{Q_{pj}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (8)$

4. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

W tabelicy 3 przedstawiono wyniki badań dla wszystkich obiektów zagregowane do porannego i popołudniowego okresu pomiarowego.

Tabela 3

Zestawienie wyników badań dla wszystkich obiektów w porannym i popołudniowym okresie pomiarowym

Miary oceny	Będzin ul. Modrzejowska		Będzin ul. 11go Listopada		Katowice ul. Andrzeja	
	7 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	15 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	7 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	15 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	7 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	15 ⁰⁰ -17 ⁰⁰
Liczba grup pieszych L_{gps} [gps/2h]	167	275	181	193	332	353
Natężenie ruchu pieszych Q_{ps} [Ps/2h]	217	470	504	481	1085	1149
Średnia liczba pieszych w grupie $L_{sr_{gps}}$ [Ps/gps]	1,3	1,7	2,8	2,49	3,3	3,25

Miary oceny	Będzin ul. Modrzejowska		Będzin ul. 11go Listopada		Katowice ul. Andrzeja	
	7 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	15 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	7 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	15 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	7 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	15 ⁰⁰ -17 ⁰⁰
Łączny czas spędzony przez pieszych na przejściu T_{gps} [min]	16,91	31,58	59,8	58,11	49,08	50,98
Średni czas przejścia $T_{sr_{gps}}$ [s]	6	7	20	18	9	9
Łączny odstęp czasu między grupami pieszych H_{gps} [min]	103,08	88,41	60,2	62,05	70,91	69,03
Średni odstęp czasu między grupami pieszych $H_{sr_{gps}}$ [s]	37	19	20	19	13	12
Stopień wykorzystania przejścia przez pieszych $U_{T_{gps}}$ [%]	14,19	26,32	49,83	48,43	40,90	42,49
Udział czasu kiedy na przejściu nie było pieszych $U_{H_{gps}}$ [%]	85,81	73,68	50,17	51,57	59,10	57,51
Natężenie ruchu pojazdów przejeżdżających przez przejście Q_{pj} [P/2h]	397	664	1194	1167	744	712
Średnia liczba pojazdów przejeżdżających między grupami pieszych $L_{sr_{pj}}$ [P]	2,4	2,4	6,6	6	2,2	2,02
Liczba pojazdów zatrzymanych przed przejściem Lz_{pj} [P]	18	70	229	284	203	368
Liczba grup pojazdów zatrzymanych przed przejściem L_{gpj} [gr.poj]	14	51	90	118	122	191
Liczba pojazdów, które zatrzymały się ponownie Lp_{pj} [P]	0	0	4	7	4	15
Średnia wielkość grupy zatrzymanych pojazdów $L_{sr_{gpj}}$ [P/gr.poj]	1,3	1,4	2,5	2,4	1,7	1,9
Łączny czas zatrzymania pojazdów T_z [min]	1,35	6,20	32,61	37,58	21,46	29,58
Udział pojazdów zatrzymanych Uz_{pj} [%]	4,53	10,54	19,18	24,34	27,28	51,69

Wyznaczone miary pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- średnia liczba pieszych w grupie na badanych przejściach wynosiła od 1,3 do 3,3 osób w grupie,
- największą wartość łącznego czasu spędzonego przez pieszych na przejściu zaobserwowano dla przejścia o największej długości (Będzin ul. 11-go Listopada); był to obiekt, którego przejście zajmowało najwięcej czasu pojedynczemu pieszemu, bo średnio 19 sekund,
- piesi pojawiali się najczęściej na przejściu dla pieszych w Katowicach, średnio co 12,5 sekundy; zatem był to obiekt, który cechował się najniższym udziałem czasu, kiedy na przejściu nie było pieszych (ok. 58% ze 120 minut dla porannego i popołudniowego okresu pomiarowego),
- najwięcej pojazdów, jak również grup pojazdów zatrzymało się przed przejściem dla pieszych w Katowicach; był to obiekt, dla którego zaobserwowano również największe wartości udziału zatrzymanych pojazdów w stosunku do wszystkich pojazdów.

W celu zbadania wpływu przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej na zakłócenia w ruchu drogowym wyznaczono współczynniki korelacji między zmiennymi odnoszącymi się do procesu zatrzymania pojazdów i wielkości ruchu pieszego na przejściach. Wyniki przedstawiono w tablicy 4.

Tablica 4

Wartości współczynnika korelacji dla wybranych zależności

Wybrane charakterystyki odnoszące się do procesu zatrzymania pojazdów	Wybrane charakterystyki ruchu pieszego	
	Liczba grup pieszych L_{gps} [gps/2h]	Natężenie ruchu pieszych Q_{ps} [Ps/2h]
Liczba pojazdów zatrzymanych przed przejściem Lz_{pj} [P]	0,426	0,685
Liczba grup pojazdów zatrzymanych przed przejściem L_{gpj} [gr.poj]	0,672	0,859
Liczba pojazdów, które zatrzymały się ponownie Lp_{pj} [P]	0,537	0,499
Średnia wielkość grupy zatrzymanych pojazdów $L_{sr_{gpj}}$ [P/gr.poj]	-0,226	0,112
Łączny czas zatrzymania pojazdów T_z [min]	0,073	0,402
Udział pojazdów zatrzymanych Uz_{pj} [%]	0,707	0,864
Średnia liczba pojazdów przejeżdżających między grupami pieszych $L_{sr_{pj}}$ [P]	-0,648	-0,381

Analiza danych przedstawionych w tablicy 4 wykazuje, że niektóre zmienne charakteryzujące proces zatrzymania pojazdów, np. średnia wielkość grupy zatrzymanych pojazdów $L_{sr_{gpj}}$ i łączny czas zatrzymania pojazdów T_z , wykazują słabą korelację z analizowanymi charakterystykami pieszych. Inne natomiast, np. liczba grup pojazdów zatrzymanych przed przejściem L_{gpj} oraz udział pojazdów zatrzymanych Uz_{pj} , w znacznym stopniu zależą od tych charakterystyk. Dla dwóch zależności o największej wartości współczynnika korelacji (zaznaczonych kolorem szarym w tablicy 4) zbudowano modele matematyczne. W tym celu zbadano różne postaci funkcji: liniową, wykładniczą, potęgową i logarytmiczną. Wyniki przedstawiono w tablicy 5.

Tablica 5

Modele matematyczne dla wybranych zależności

Zależność	Typ modelu	Postać funkcyjna modelu	R ²
$L_{gpj} = f(Q_{ps})$	liniowy	$L_{gpj} = 0,148 \cdot Q_{ps}$ (9)	0,734
	wykładniczy	$L_{gpj} = 21,23 \cdot e^{0,001 \cdot Q_{ps}}$ (10)	0,615
	potęgowy	$L_{gpj} = 0,015 \cdot Q_{ps}^{1,337}$ (11)	0,794
	logarytmiczny	$L_{gpj} = 87,80 \cdot \ln(Q_{ps}) - 457,9$ (12)	0,780
$Uz_{pj} = f(Q_{ps})$	liniowy	$Uz_{pj} = 0,035 \cdot Q_{ps}$ (13)	0,743
	wykładniczy	$Uz_{pj} = 5,177 \cdot e^{0,001 \cdot Q_{ps}}$ (14)	0,711
	potęgowy	$Uz_{pj} = 0,006 \cdot Q_{ps}^{1,242}$ (15)	0,829
	logarytmiczny	$Uz_{pj} = 22,60 \cdot \ln(Q_{ps}) - 120,0$ (16)	0,723

Najlepszym dopasowaniem w przypadku obu analizowanych zależności okazała się funkcja potęgowa. Wraz ze wzrostem natężenia ruchu pieszych rośnie liczba grup zatrzymanych pojazdów oraz udział pojazdów zatrzymanych. Wartość współczynnika determinacji wynosi odpowiednio 0,795 oraz 0,829, zatem zależności te można uznać za silne. Funkcje mają charakter użyteczny, bowiem natężenie ruchu pieszych jest cechą poddawaną badaniom empirycznym znacznie częściej niż liczba grup pieszych. Umożliwi to zatem bezpośrednie oszacowanie wpływu ruchu pieszego na zakłócenia ruchu pojazdów poprzez obliczenie liczby grup zatrzymanych pojazdów oraz udziału pojazdów zatrzymanych.

5. PODSUMOWANIE

Przedstawione miary umożliwiające określenie wpływu ruchu pieszych na zakłócenia w ruchu pojazdów zostały wykorzystane do przeprowadzania oceny tego wpływu dla trzech przejść dla pieszych zlokalizowanych w aglomeracji górnośląskiej. Przeprowadzone badania umożliwiły opracowanie modeli matematycznych zależności liczby grup zatrzymanych pojazdów oraz udziału pojazdów zatrzymanych w funkcji natężenia ruchu pieszych.

Artykuł ma charakter wprowadzający w zagadnienie i jest przyczynkiem do dalszych prac prowadzonych w tym zakresie. Przedstawiony problem wymaga dalszych badań, w których należy skoncentrować się m.in. na poszerzeniu poligonu badawczego poprzez zwiększenie liczby miejsc pomiarowych o zróżnicowanych wielkościach ruchu pieszego i kołowego oraz analizie wyników pomiarów dla interwałów pomiarowych o innych długościach (np. 15 minut, 30 minut, 1 godzina).

Bibliografia

1. Ambroziak T.: Współczesne spojrzenie na teorię systemów transportowych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport z. 48, str. 119 – 127. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
2. FGSV: Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA 2002/288). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2002.
3. Jacyna M.: Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
4. Jamroz K.: Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2011.
5. Jamroz K. i in.: Ochrona pieszych. Podręcznik dla organizatorów ruchu pieszego. Wydawca: Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju. Gdańsk – Warszawa – Kraków. 2014.
6. Karbowski H., Barański S.: Bezpieczeństwo ruchu w transporcie. Monografie Politechniki Łódzkiej.
7. Karoń G., Żochowska R., Sobota A.: Oczekiwana płynność ruchu w gęstych sieciach zatłoczonych – wąskie gardło sieci transportowej aglomeracji. Logistyka 6/2014 (dodatek elektroniczny „Logistyka-nauka”), Wydawnictwo ILiM, Poznań, s. 5234-5243.
8. Kuhn R.: Zebra Streifen. Richtlinien für Schutzwege. Land Salzburg 2008.
9. Metoda obliczania przepustowości rond (autorzy Tracz M., i in.), GDDKiA, Warszawa 2004.

10. Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej (autorzy Chodur J., i in.), GDDKiA, Warszawa 2004.
11. Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną (autorzy Tracz M., i in.), GDDKiA, Warszawa 2004.
12. Mitas A., Sobota A. i in.: Pieszy w ruchu drogowym. Studium interdyscyplinarne. Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Warszawa – Gliwice. 2014.
13. NZTA: Guidelines for the Selection of Pedestrian Facilities. 2013. www.nzta.govt.nz.
14. Okrój P.: Wpływ przejść dla pieszych na zakłócenia w ruchu drogowym. Projekt inżynierski (promotor: R. Żochowska). Politechnika Śląska, Wydział Transportu. Katowice 2016.
15. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach. (Dz.U. Nr 220, poz.2181 z dnia 23 grudnia 2003 r.).
16. Sobota A.: Traffic smoothness in the light of research. Contemporary transportation systems. Selected theoretical and practical problems. The development of transportation systems. Ed. by R. Janeki, G. Sierpiński. Monografia nr 256. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010, s. 165-172.
17. Sobota A., Karoń G.: Próba zdefiniowania pojazdu zakłóconego na wybranych odcinkach dróg wielopasowych w aspekcie płynności ruchu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport z. 66. 2010, s. 97-106.
18. Szczuraszek T. z zesp.: Bezpieczeństwo ruchu miejskiego. WKiŁ. Warszawa 2005.
19. Szymanek A.: Sterowanie ruchem w transporcie. Koncepcja podstaw teoretycznych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport z.35. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996.
20. Żochowska R.: Wielokryterialne wspomaganie podejmowania decyzji w zastosowaniu do planowania tymczasowej organizacji ruchu w sieciach miejskich. OW Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015
21. Żochowska R., Karoń G.: Przegląd literatury na temat zjawiska kongestii i zakłóceń ruchu w systemie transportowym miasta w aspekcie modelowania podróży. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP o/Kraków, Nr 98, Kraków 2012, s. 251-276.
22. Żochowska R., Karoń G., Sobota A.: Podatność na zakłócenia jako miara efektywności sieci drogowej w mieście. [w:] A. Krych, J. Rychlewski (red.) „Wydajność systemów transportowych”. Materiały IX Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”, Poznań – Rosnówko 19-21 czerwca 2013, SITK RP, o/Poznań, s. 401 – 420.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF PEDESTRIAN CROSSINGS WITHOUT TRAFFIC LIGHTS ON TRAFFIC DISRUPTIONS

Summary: The pedestrian crossings at the level of the roadway are the conflicting areas both for pedestrian and for road traffic. Due to the legally established priority of the pedestrians, road traffic is disturbed in this place, and its participants experience delays mainly dependent on the intensity of pedestrian traffic. The article presents the method of analyzing the problem and it proposes measures supporting the assessment of the impact of pedestrian crossings on traffic disruptions. The presented examples relate to the selected locations in the Upper Silesian Agglomeration.

Keywords: pedestrian traffic, pedestrian crossing, traffic disruptions, capacity of intersections