

Robert ZIÓŁKOWSKI<sup>1</sup>

## BADANIA PRĘDKOŚCI POJAZDÓW NA WLOTACH SKRZYŻOWAŃ BEZ SYGNALIZACJI ŚWIETLNEJ

W terenach zurbanizowanych w obszarze skrzyżowań drogowych dochodzi do koncentracji zdarzeń drogowych. Mimo projektowania skrzyżowań z sygnalizacją świetlną w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, to zdecydowana większość skrzyżowań w miastach funkcjonuje bez sygnalizacji. Od wielu lat jako jedną z podstawowych przyczyn dla jakich dochodzi do zdarzeń drogowych pozostaje prędkość. Celem referatu jest analiza prędkości pojazdów na wlotach skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej z uwzględnieniem charakterystyki odcinka dojazdowego, kierunku jazdy przez skrzyżowanie oraz wielkości promienia wyokrąglającego. Dodatkowo przeanalizowano średnie prędkości pojazdów na przejściach dla pieszych zlokalizowanych na wlotach nadrzędnych. Przeanalizowano prędkości pojazdów w warunkach ruchu swobodnego na 14 skrzyżowaniach zlokalizowanych w Białymstoku. Pomiarów prowadzono wykorzystując metodę pojazdu testowego z wykorzystaniem rejestratora danych GPS. W wyniku przeprowadzonych badań wykazano istotne różnice pomiędzy średnimi prędkościami w zależności od relacji skrajnej. Dodatkowo wykazano istotność wpływu przekroju poprzecznego wlotu na średnią prędkość przejazdu przy wykonywaniu relacji prawoskrętnych. Przy relacjach lewoskrętnych takiego wpływu nie stwierdzono. Przeprowadzone analizy prędkości na przejściach dla pieszych wskazały, istotny wpływ odsunięcia przejścia od skrajnego pasa ruchu poprzecznej drogi na wzrost prędkości.

**Słowa kluczowe:** prędkość, ruch swobodny, przejście dla pieszych, bezpieczeństwo ruchu

### 1. Wprowadzenie

Skrzyżowania drogowe stanowią niewralgiczne miejsca w miejskiej sieci drogowo-ulicznej zarówno z uwagi na ich wpływ na warunki ruchu jak również z uwagi na bezpieczeństwo użytkowników dróg. W obszarze skrzyżowań dochodzi do zwiększonej liczby zdarzeń drogowych w porównaniu z innymi obszarami. W celu podniesienia poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego projektuje się skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, jednak mimo to, zdecydowana większość skrzyżowań w miastach, to skrzyżowania funkcjonujące bez sygnali-

<sup>1</sup> Robert Ziółkowski, Zakład Inżynierii Drogowej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, e-mail: robert.ziolkowski@pb.edu.pl

zacji. Jak wykazały wcześniejsze analizy [1] wśród skrzyżowań drogowych szczególnie niebezpieczne są skrzyżowania ulic jednojezdniowych z dwujezdniowymi. Skrzyżowania bez sygnalizacji świetlnej to również skrzyżowania, na których średnioroczna liczba uszkodzonych przypadających na jedno skrzyżowanie zdecydowanie przewyższa liczby uszkodzonych na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną i na skrzyżowaniach z ruchem okrężnym.

Działaniami mającymi na celu poprawę brd jest instalowanie sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniach oraz wdrażanie rozwiązań mających na celu redukcję prędkości. O ile pierwsze z rozwiązań, jak wskazują statystyki wypadków drogowych, nie jest wolne od wad i nie prowadzi do całkowitej eliminacji zdarzeń drogowych, to jednak wydatnie podnosi poziom bezpieczeństwa na skrzyżowaniu poprzez redukcję liczby potencjalnych punktów kolizji i często, w zależności od warunków chwilowych, wymuszenie na kierowcach konieczności zatrzymania bądź istotnego zredukowania prędkości jazdy. Działania związane z nakłanianiem kierowców do jazdy w granicach istniejących limitów prędkości nie są już tak skuteczne. O ile w obszarach osiedli mieszkaniowych na ciągach ulic lokalnych i dojazdowych realizowane są przez szeroką gamę środków uspokojenia ruchu, o tyle w przypadku głównych ciągów komunikacyjnych te działania ograniczają się do działań administracyjnych, których skuteczność jest mocno ograniczona [1, 2, 5, 6].

W ostatnich latach coraz większą uwagę skupia się na wypadkach z udziałem pieszych [3, 4]. Znaczna część z tych wypadków ma miejsce w obszarze skrzyżowań drogowych na przejściach dla pieszych. Skutki tych zdarzeń zależą głównie od prędkości przy jakiej do nich dochodzi. Z tego względu ważne są wszelkie działania mające na celu poznanie zachowań kierowców w tych nierzadkich dla bezpieczeństwa miejscach. Szczególnie istotna w obszarze skrzyżowań drogowych, wymagających zwiększonej koncentracji od kierowców z uwagi na interakcje z innymi użytkownikami dróg, jest identyfikacja zmian prędkości. Jej wysokości na dojeździe do tarczy skrzyżowania, jak również na przejściach dla pieszych przekładają się na zwiększone prawdopodobieństwo zaistnienia kolizji drogowej i ciężkość ewentualnych następstw.

## 2. Obszar badawczy i metodologia pomiarów

### 2.1 Obszar badawczy

Do pomiarów prędkości na skrzyżowaniach bez sygnalizacji wyselekcjonowano 14 skrzyżowań zlokalizowanych na obszarze Białegostoku. Wśród skrzyżowań dwa są zlokalizowane w miejscu przecinania się ulic dwujezdniowych o przekroju poprzecznym 2/2 z ulicami jednojezdniowymi 1/2:

1. Kołtąja–Herberta
2. Kołtąja–Bacieczki
3. Popiełuszki–Ks. Andrzeja Boboli
4. Mickiewicza–Karpńskiego

a kolejnych 10 zlokalizowanych jest w miejscu przecinania się ulic jednojezdniowych o przekrojach 1/2:

5. Wrocławska–Ks. Andrzeja Boboli
6. Al. Niepodległości–Magnoliowa
7. Al. Niepodległości–Szkolna
8. Al. Niepodległości–Zielonogórska
9. Transportowa–Ekologiczna
10. Pułaskiego–Dubois
11. Pułaskiego–Wspólna
12. Pułaskiego–Kręta
13. Słoneczna–Wiosenna–11 listopada
14. Ciołkowskiego–Plażowa

Na wszystkich ciągach ulicznych z analizowanymi skrzyżowaniami obowiązuje limit prędkości 50km/h. Charakterystykę podstawowych parametrów geometrycznych wlotów kierunków głównych z organizacją ruchu na wlotach przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka geometrii analizowanych skrzyżowań

Table 1. Geometry characteristics of the analysed junctions

Nr skrzyżowania	Wlot/ulica	Przekrój poprzeczny	Szerokość pasa ruchu[m]/relacja	Promień wyokrągający R [m]
2	Kołątaja	2/2	3,5 (relacje wspólne W/L i W/P)	10
3	Popieluszki	2/2	3,5 (relacje wspólne W/P)	10
	Popieluszki	2/2	3,0 (wydzielony lewoskręt)	
4	Mickiewicza	2/2	3,5 (relacje wspólne W/P)	10
	Mickiewicza	2/2	3,5 (wydzielony lewoskręt)	
5	Wrocławska	1/2	3,5/4,5 (relacje wspólne L/W/P)	8
6	Niepodległości	½	3,5/4,5 (relacje wspólne L/W/P)	10
9	Transportowa	1/2	3,50 (relacje wspólne L/W/P)	10
10	Pułaskiego	1/2	3,50 (relacje wspólne L/W/P)	8/10
13	Słoneczna/ 11 listopada	1/2	4,25 (relacje wspólne L/W/P)	10
14	Ciołkowskiego	1/2	4,0 (relacje wspólne L/W)	

## 2.2 Pomiary prędkości

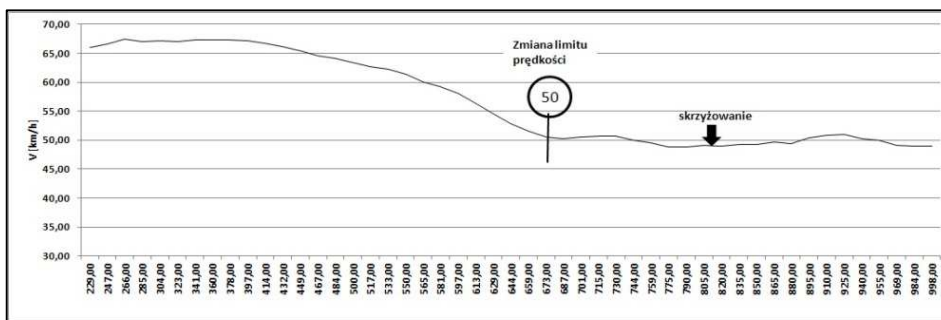
Pomiary prędkości realizowano na wlotach zlokalizowanych na kierunkach z pierwszeństwem przejazdu. Do rejestracji danych wykorzystano rejestrator GPS, umożliwiający zapis danych o pozycji pojazdu i jego prędkości w interwale 1s. Rejestrowano prędkości pojazdów poruszających się w ruchu swobodnym na odcinku międzywęzłowych poprzedzających analizowane skrzyżowania oraz przejazdy na relacjach lewo- i prawoskrętnych z wlotów nadrzędnych. Prędkość chwilowa była rejestrowana z dokładnością do 0,1 m/s, a pozycja horyzontalna

pojazdów z dokładnością do 3m. Pomiary prowadzono metodą pojazdu testowego. W celu zapewnienia warunków ruchu swobodnego pomiary prowadzono w godzinach pozaszczytowych. Dla każdej analizowanej relacji na wlocie zarejestrowano po minimum 20 przejazdów.

### 3. Wyniki i analiza badań

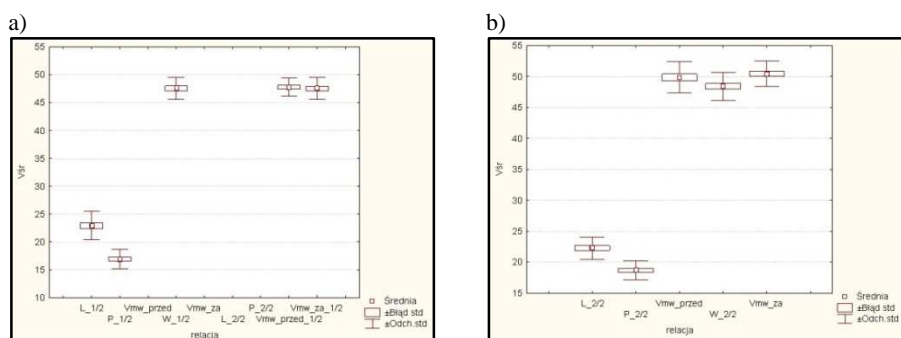
Na podstawie zarejestrowanych danych opracowano indywidualne profile prędkości poszczególnych przejazdów. Na Rys. 1 przedstawiono przykładowy profil prędkości (jazda na wprost) zarejestrowany dla pojedynczego przejazdu wzdłuż ulicy Bacieczki z zaznaczoną lokalizacją skrzyżowania i miejscem zmiany obowiązującego limitu prędkości.

Dane przedstawione na Rys. 2 obrazują średnie prędkości zarejestrowane na odcinkach międzywęzłowych przed wjechaniem w obszar oddziaływania skrzyżowania, prędkość przejazdu przez tarczę skrzyżowania dla każdej z reje-



Rys. 1. Uśredniony profil prędkości wzdłuż ul. Bacieczki

Fig. 1. Mean speed profile registered along Bacieczki str.



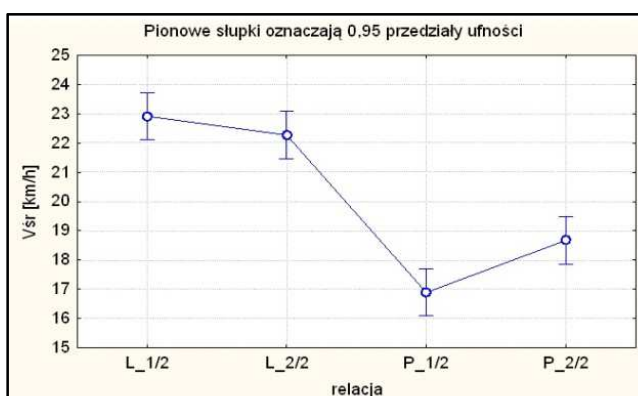
Rys. 2. Wykres średnich prędkości zarejestrowanych na wlocach a) jednojezdniowych b) dwujezdniowych

Fig. 2. Mean speed values registered on inlets a) single carriageway b) dual carriageway

strowanych relacji oraz ustabilizowaną prędkość za skrzyżowaniem. Dane uwiadcniają, że niezależnie od przekroju poprzecznego ulicy na kierunku nadrzędnym przed i za skrzyżowaniem prędkości jazdy pozostają na porównywalnych poziomach. Średnia prędkość na odcinkach dwujezdniowych przed skrzyżowaniem wyniosła 49,9 km/h i była o 7,7% wyższa niż średnia prędkość na odcinkach jednojezdniowych ( $V_{\text{sr}} = 46,3$ ,  $S_d =$ ), przy czym istniejące różnice nie są statystycznie istotne. W przypadku skrzyżowań zlokalizowanych na ciągach ulic dwujezdniowych daje się zauważyć lekkie obniżenie prędkości przy przejeżdżaniu przez skrzyżowania lecz wartość tego obniżenia jest statystycznie nieistotna.

Analiza średnich prędkości relacji skrętnych z wlotów nadrzędnych 1/2 wykazała, że prędkości relacji lewoskrętnych ( $V_{\text{sr}} = 22,9$  km/h,  $S_d = 2,54$ ) były wyższe od średnich prędkości relacji prawoskrętnych ( $V_{\text{sr}} = 16,8$  km/h,  $S_d = 1,74$ ) o 36,3%. Podobną zależność stwierdzono w przypadku średnich prędkości rejestrowanych podczas manewrów skrętnych z wlotów nadrzędnych 2/2. Średnie prędkości relacji L\_2/2 ( $V_{\text{sr}} = 22,7$  km/h,  $S_d = 1,81$ ) były wyższe 21,4% od średnich prędkości relacji P\_2/2 ( $V_{\text{sr}} = 18,7$  km/h,  $S_d = 1,52$ ). W celu ustalenia statystycznej istotności różnic otrzymanych wyników pomiędzy analizowanymi relacjami skrętnymi zastosowano test t-Studenta. Jednorodność wariancji potwierdzono testem Levene'a ( $p = 0,140$ ). Przeprowadzona analiza wykazała statystycznie istotną różnicę prędkości w obu tych przypadkach.

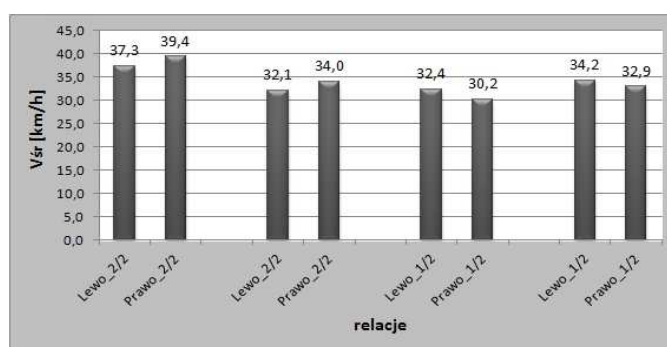
Analogiczną analizę przeprowadzono dla porównania średnich prędkości relacji lewo- i prawoskrętnych pomiędzy wlotami o przekrojach poprzecznych 1/2 i 2/2 (Rys. 3). Wyniki przeprowadzonych testów wykazały brak istotnych różnic pomiędzy średnimi prędkościami relacji L\_1/2 i L\_2/2 ( $p = 0,327$ ), natomiast taką różnicę stwierdzono pomiędzy relacjami P\_1/2 i P\_2/2 ( $p = 0,000$ ).



Rys. 3. Średnie prędkości w zależności od relacji skrętnej i przekroju poprzecznego wlotu

Fig. 3. Mean speed values in relation to the direction of movement and street cross-section

Na rysunku 4 przedstawiono wartości średnich prędkości zarejestrowane na przejściach dla pieszych 6 skrzyżowań - dwa skrzyżowania z kierunkiem nadrzędnym dwujezdniowym 2/2 (skrzyżowanie 2 i 3) i cztery skrzyżowania z kierunkiem nadrzędnym jednojezdniowym 1/2 (skrzyżowanie 6, 8, 9, 12). Najwyższe prędkości zanotowano na relacji lewo- i prawoskrętnej na wlocie ul. Kołłątaja, odpowiednio  $V_{\text{śr}}=37,3\text{km/h}$  i  $V_{\text{śr}}=39,4\text{km/h}$ . Dane zarejestrowane na tym wlocie są wyraźnie wyższe od średnich wartości prędkości pozostałych wlotów o 13,4% (relacje lewoskrętne  $V_{\text{śr}}=32,9\text{km/h}$ ) i o 21,6% (relacje prawoskrętne  $V_{\text{śr}}=32,4\text{km/h}$ ).



Rys. 4. Średnie prędkości na przejściach dla pieszych

Fig. 4. Mean speed values at pedestrian crossings

W celu sprawdzenia istotności różnic pomiędzy wartościami relacji lewo- i prawoskrętnych przeprowadzono test Kruskala-Wallisa. Test Levene'a odrzucił hipotezę o jednorodności wariancji ( $p=0,008$ ) wobec czego do analizy zastosowano nieparametryczny test dla wielu prób Kruskala-Willisa. Wyniki testu tego dowiodły występowania istotnej statystycznie różnicy ( $p=0,0040$ ) pomiędzy rozpatrywanymi średnimi. W dalszym kroku zweryfikowano istotność różnic prędkości pomiędzy średnimi poszczególnych relacji na wlotach jedno- i dwujezdniowych. Wyniki testu Walda-Wolfowitza wykazały brak istotnych różnic na poziomie  $p=0,135$  pomiędzy relacją prawo- i lewoskrętną na wlotach 1/2 i na poziomie  $p=0,496$  pomiędzy relacjami skrętnymi na wlotach 2/2. Statystycznie istotne różnice wystąpiły jedynie pomiędzy relacjami Prawo\_2/2 i Prawo\_1/2 ( $p=0,0012$ ).

Badając wpływ wielkości promienia wyokrągającego na prędkość relacji przeanalizowano prędkości relacji prawoskrętnych, dla których krawędzie wewnętrzne wyokrąglono promieniami  $R=8\text{m}$  i  $R=10\text{m}$ . Średnia prędkość przy promieniu  $R=8\text{m}$  wyniosła  $20,5\text{ km/h}$  i była o  $1,4\text{ km/h}$  wyższa w porównaniu do prędkości przy promieniu  $R=10\text{m}$ . Wyniki testu Walda-Wolfowitza wykazały brak istotnych różnic pomiędzy porównywanymi prędkościami ( $p=0,163$ ).

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy statutowej nr S/WBiIS/1/2015 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

#### 4. Wnioski końcowe

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów prędkości na skrzyżowaniach 3- i 4-wlotowych bez sygnalizacji świetlnej. Pomiarzy prowadzono na 14 skrzyżowaniach zlokalizowanych w Białymstoku. W pomiarach analizowano prędkości w ruchu swobodnym na odcinkach międzywęzłowych, jak również prędkości przejazdu przez tarczę skrzyżowania uwzględniając relacje skątne, przekrój poprzeczny i wlotu i wielkość promienia wyokrąglającego krawędź wewnętrzną. W oparciu o profile prędkości określono prędkości jazdy na przejściach dla pieszych. W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że średnie prędkości pojazdów w ruchu swobodnym na odcinkach międzywęzłowych przed skrzyżowaniem i za skrzyżowaniem pozostawały na porównywalnych poziomach niezależnie od przekroju poprzecznego i nie stwierdzono między tymi wartościami statystycznie istotnych różnic. Stwierdzono natomiast, że wybór relacji skątnej wpływa na prędkość pojazdów na skrzyżowaniach. Każdorazowo średnie prędkości relacji lewoskrętnych były statystycznie istotnie wyższe od średnich prędkości relacji prawoskrętnych, co można tłumaczyć większymi promieniami. Wśród uzyskanych wyników zwracają uwagę stosunkowo wysokie wartości prędkości pojazdów na przejściach dla pieszych. Większe odsunięcie przejścia dla pieszych od skrajnego pasa ruchu poprzecznej drogi przyczynia się do istotnie wyższych prędkości z jakimi przejeżdżają przez nie kierowcy. Jest to szczególnie ważne w kontekście projektowania przejść dla pieszych na skrzyżowaniach i następstw ewentualnych zdarzeń drogowych z pieszymi, gdzie prawdopodobieństwo poważniejszych obrażeń ponoszonych przez pieszych wzrasta przy wzroście prędkości zderzenia powyżej 30 km/h.

#### Literatura

- [1] Elvik R.: Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects. *Accident Analysis and Prevention*. 33 (3), 2001, 327–336.
- [2] Elvik R., Vaa T.: *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier, Oxford 2004.
- [3] Jamroz K., Dąbrowska – Loranc M., Gaca S. i inni: Krajowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego “GAMBIT 2005”. *Kwartalnik BRD, ITS Warszawa* 4/2005.
- [4] Jamroz K., Kempa J., Rychlewska J., Mackun T.: Metoda wyznaczania obszaru dobrej widoczności na przejściach dla pieszych w Polsce. *Transport Miejski i Regionalny* 4/2015, 10-21.
- [5] Kyoungho A., Hesharn R.: A field evaluation case study of the environmental and energy impacts of traffic calming. *Transportation Research Part D*. Vol. 14 (6), 2009, 411-424.
- [6] Lee G., Joo S., Choi H.: An evaluation framework for traffic calming measures in residential areas. *Transportation Research Part D*. Vol. 25 (12), 2013, 68-76.
- [7] Ziółkowski R.: Analiza bezpieczeństwa ruchu drogowego na wybranych skrzyżowaniach w Białymstoku. *Przegląd komunikacyjny* Nr 8/2013, str. 18-21.

## SPEED INVESTIGATIONS ON INLETS OF PRIORITY JUNCTIONS

### Summary

In urban areas a lot of accidents concentrate in the junctions area. To improve level of safety traffic lights are designed and implemented but still most of the junctions work as priority ones. Speed has been remaining one of the main reasons for accidents occurrence for many years. The goal of the paper is to investigate speed at priority junctions' inlets with special consideration given to the characteristics of approaching sections, direction of movement and the value of rounding radius. Speed on pedestrian crossings located on priority inlets were also subjected to analysis. The paper analyses speeds under free-flow conditions at 14 junctions situated in Białystok. Speed measurements were conducted with the use of GPS data-logger. As a results statistically essential differences between mean speeds depending on the direction movement. Additionally, essential influence of a cross-section on average speed for right-turn movement was proved while it wasn't for the left-turn movement. Conducted analyses of speed at pedestrian crossings showed that location of the crossing essentially influence on speed increase.

**Keywords:** velocity, free-flow movement, pedestrian crossings, traffic safety

*Przesłano do redakcji: 07.06.2016 r.*

*Przyjęto do druku: 30.06.2016 r.*

DOI: 10.7862/tb.2016.99