

Badania prędkości pojazdów na wlotach skrzyżowań z ruchem okrężnym

Robert Ziolkowski¹

*Zakład Inżynierii Drogowej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Politechnika Białostocka, e-mail: robert.ziolkowski@pb.edu.pl*

Streszczenie: Statystyki wypadków wskazują, że spośród wszystkich wypadków drogowych do zdecydowanej ich większości (ponad 70%) dochodzi w terenie zabudowanym, gdzie szczególnie niebezpiecznymi miejscami są obszary skrzyżowań drogowych. W celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego coraz częściej projektuje się skrzyżowania o ruchu okrężnym, które w porównaniu do innych skrzyżowań charakteryzują się mniejszą liczbą punktów kolizji oraz wymuszają na kierowcach redukcję prędkości przez co wydatnie przyczyniają się zmniejszenia liczby i ciężkość wypadków. Jednak, jak dowodzą prowadzone analizy, w otoczeniu rond dochodzi również do dużej liczby zdarzeń, gdzie dominującymi typami są zderzenia boczne i najechania z tyłu, które są konsekwencją techniki i stylu jazdy kierowców.

W referacie przedstawiono wyniki pomiarów prędkości na wlotach rond zlokalizowanych w Białymstoku różniących się wielkością oraz liczbą wlotów. Przeanalizowano prędkości chwilowe pojazdów w ruchu swobodnym na odcinkach dojazdowych do ronda, jezdni głównej oraz wlotach i wylotach. Do rejestracji prędkości wykorzystano rejestrator GPS stosując metodę przejazdu pojazdem testowym.

Słowa kluczowe: rondo, prędkość, profile prędkości, opóźnienie, przyspieszenie

1. Wprowadzenie

Prędkość jest jednym z podstawowych parametrów determinujących wartości geometryczne dróg i skrzyżowań oraz jest jednym z podstawowych parametrów decydujących o bezpieczeństwie ruchu drogowego. W warunkach miejskich, oprócz geometrii drogi, istotny wpływ na prędkość pojazdów w znacznej mierze mają warunki ruchowe. Przy niskich natężeniach ruchu ma miejsce wzrost prędkości jazdy oraz swobody manewrowania i wyboru prędkości z jaką kierowcy chcą się poruszać. Czynnikiem decydującymi o sposobie poruszania są w takich warunkach są indywidualne predyspozycje i zachowania kierowców oraz występujące administracyjne lub inne np. związane z uspokojeniem ruchu ograniczenia prędkości.

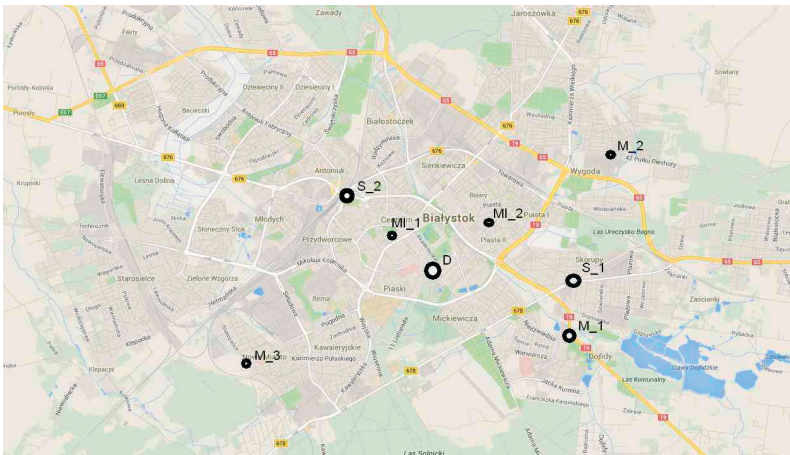
Uwzględniając aspekty bezpieczeństwa ruchu drogowego coraz częściej projektuje się skrzyżowania o ruchu okrężnym. W porównaniu ze skrzyżowaniami z sygnalizacją świetlną rondo charakteryzuje się zredukowaną liczbą potencjalnych punktów kolizji oraz niższymi prędkościami przejazdu wynikającymi z ich konstrukcji. Prowadzone dotychczas badania prędkości na skrzyżowaniach z ruchem okrężnym w Polsce koncentrowały się na małych rondach jednopasowych. W efekcie prowadzonych badań, wykorzystując radarowy miernik prędkości, wyznaczono średnie prędkości pojazdów poruszających się po obwodni ronda z uwzględnieniem struktury rodzajowej pojazdów [1] oraz opracowano zależności pomiędzy zewnętrzną średnicą ronda, promieniem skreću, szerokością pasów ruchu

a kwantylem prędkości pojazdów V_{85} [2] pomijając dynamikę manewrowania kierowców. Wskazuje się, że na skutek redukcji prędkości ma miejsce mniej agresywny styl jazdy pozbawiony gwałtownych hamowań i przyspieszeń. Spośród wszystkich typów rond, ronda jednopasowe są wskazywane jako najbezpieczniejsze [3,4,5] przy czym miarą poprawy bezpieczeństwa jest nie tylko redukcja liczby samych zdarzeń drogowych, co redukcja ciężkości wypadków wynikająca z zapewnienia niskich prędkości przejazdu [6]. Z drugiej strony jak się wskazuje [7] ronda o niewłaściwie zaprojektowanej geometrii zamiast poprawić bezpieczeństwo ruchu drogowego przyczyniają się do jego pogorszenia.

Analiza stanu brd na wybranych skrzyżowaniach w Białymstoku [8] za lata 2007-2010 potwierdziła, że ronda należą do najbezpieczniejszych skrzyżowań z uwagi na ciężkość zdarzeń mierzoną liczbą uszkodzonych lecz zarazem na niektórych z nich dochodzi do bardzo dużej liczby zdarzeń drogowych wśród których dominują zderzenia boczne i tylne będące konsekwencją stylu jazdy kierowców. W związku z powyższym przeanalizowano prędkości pojazdów na odcinkach dojazdowych do rond, wlotach i wylotach oraz styl jazdy definiowany manewrami hamowania i przyspieszania.

2. Charakterystyka obszaru badawczego

Analizą objęto 8 skrzyżowań zlokalizowanych na terenie Białegostoku. Wśród wytypowanych rond znalazły się wszystkie typy rozróżniane w [9]: duże (1), średnie (2), małe (3) i mini ronda (2). Lokalizacja skrzyżowań została przedstawiona na Rys. 1, a charakterystykę podstawowych rozwiązań geometrycznych zawarto w Tabeli 1.



Rys. 1. Lokalizacja wybranych rond

Tabela 1. Charakterystyka geometrii rond poddanych analizie.

Lp.	Rondo	Średnica wyspy [m]	Średnica zewnętrzna ronda [m]	Jezdnie ronda [m]	Ilość wlotów
1	Duże	61	80	9	4
2	Średnie S 1	31	50	8,5	3
3	Średnie S 2	51	28	10	4
4	Małe M 1	21	34	4,25	3
5	Małe M 2	19,5	35	5,5	4
6	Małe M 3	24	40	4,8	4
7	Mini MI 1	4,5	15	5,5	3
8	Mini MI 2	10	21	5	4

3. Pomiary prędkości

Do pomiarów prędkości wykorzystano rejestrator danych GPS, który umożliwia gromadzenie danych o pozycji pojazdu i jego prędkości w interwale 1s. Analizowano prędkości chwilowe oraz średnie przy przejeździe dla wszystkich relacji skrajnych na danym rondzie. Prędkość chwilowa pojazdów była rejestrowana z dokładnością do 0,1 m/s, a pozycja horyzontalna z dokładnością do 3m. W celu wyeliminowania niespodziewanych i wymuszonych manewrów ze strony kierowców będących następstwem obecności innych użytkowników dróg, a mogących rzutować na sposób i płynność jazdy, pomiary prędkości prowadzono w godzinach porazczytowych dążąc do zapewnienia warunków odpowiadających ruchowi swobodnemu. Jako pojazd testowy wykorzystano samochód osobowy, zaś kierowcy zostali pouczeni, aby poruszać się zgodnie z ich naturalną techniką jazdy z uwzględnieniem istniejących ograniczeń prędkości. W rezultacie uzyskano po minimum 15 przejazdów testowych dla każdego analizowanego odcinka. Dane obrazujące profile prędkości znacznie odbiegające charakterem od pozostałych, na skutek niespodziewanej obecności np. pieszego na przejściu, a wpływające na zachowanie kierowcy testowego, nie były uwzględniane w dalszej analizie.

Badania przeprowadzono w otoczeniu rond analizując prędkości na odcinkach dojazdowych i wyjazdowych z rond, wlotach i wylotach oraz na jezdni ronda. Odcinek dojazdowy do ronda został zdefiniowany, jako ten, na którym kierowca wykonuje proces hamowania z uwagi na konieczność dostosowania prędkości do zmieniających się warunków na drodze do momentu wjechania na jezdnię ronda. Punkt początkowy stanowił ostatni punkt odcinka międzywęzłowego, w którym prędkość pojazdu (V_{srD}) pozostawała na ustabilizowanym poziomie (Rys. 2) zaś punkt końcowy znajdował się w okolicach wjazdu na jezdnię ronda (prędkość na wlocie - V_{wl}). W analogiczny sposób określono odcinek wyjazdowy z ronda, ograniczony z jednej strony wylotem ronda (V_{wyl}), a z drugiej punktem, w którym kierowcy kończyli proces przyspieszania i prędkość ponownie stabilizowała się na ustalonym poziomie (V_{srW}).

4. Wyniki badań i ich analiza

Średnie prędkości pojazdów na odcinkach dojazdowych oraz wlotach i wylotach rond określono w oparciu o opracowane indywidualne profile prędkości, które stanowiły podstawę opracowania uśrednionej wartości profilu prędkości (Rys. 3). Na podstawie uśrednionego profilu określono dynamikę zmian zachowań kierowców wyznaczając średnie opóźnienie „d” na odcinkach dojazdowych i średnie przyspieszenie „a” na odcinkach wyjazdowych według wzoru:

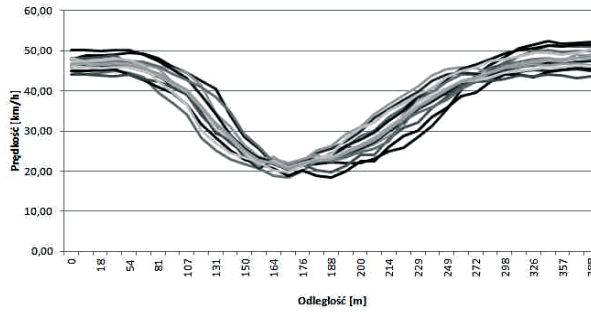
$$a, d = \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (1)$$

d – opóźnienie [m/s²],

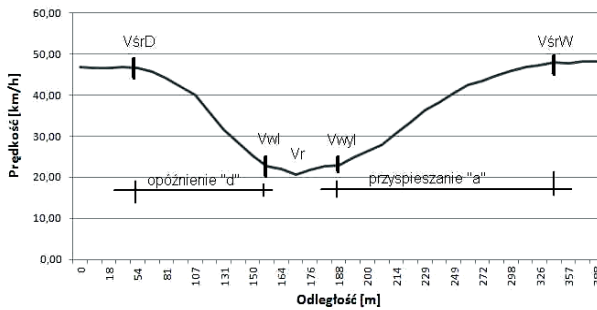
a – przyspieszenie [m/s²],

ΔV – przyrost/spadek prędkości [m/s],

Δt – przyrost czasu [t].

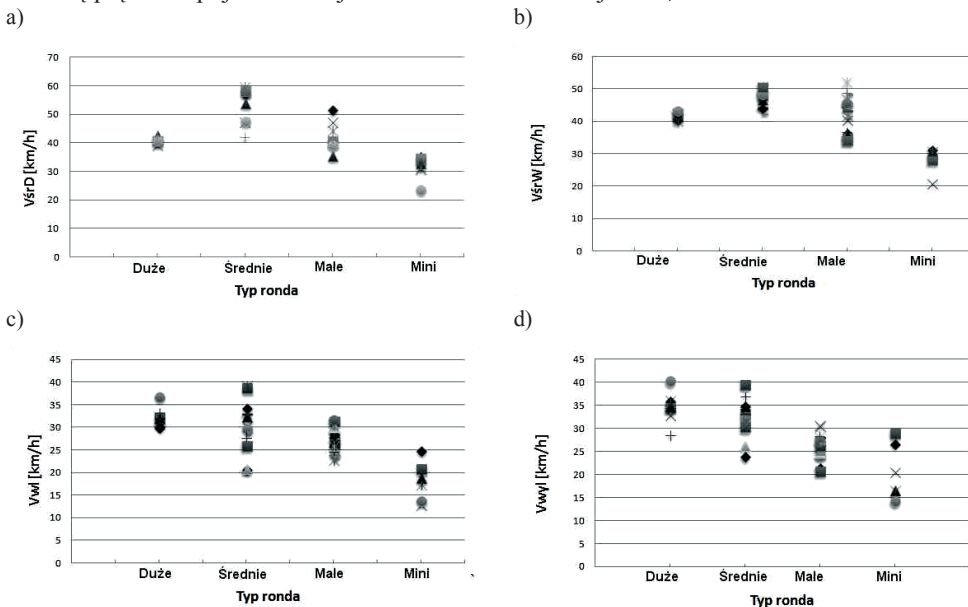


Rys. 2. Indywidualne profile prędkości w otoczeniu ronda małego - wykres zbiorczy

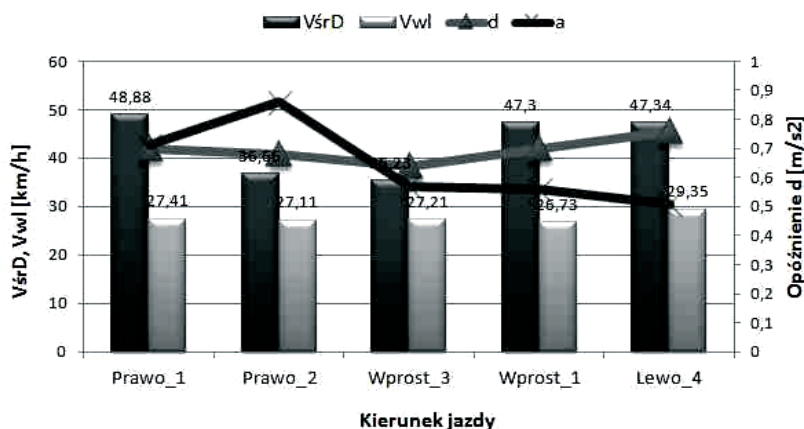


Rys. 3. Indywidualne profile prędkości w otoczeniu ronda małego - wartość uśredniona

Na Rys. 4 przedstawiono wartości średnich prędkości określonych dla odcinka dojazdowego przed rozpoczęciem procesu hamowania (V_{srD}), odcinka wyjazdowego w momencie zakończenia procesu przyspieszania (V_{srW}) oraz na wlocie (V_{wl}) i wylocie ronda (V_{wyl}). Średnią prędkość pojazdów na jezdni ronda oznaczono jako V_r .

Rys. 4. Średnie prędkości chwilowe na rondzie: a) V_{srD} , b) V_{srW} , c) V_{wl} , d) V_{wyl}

Porównując dane przedstawione na Rys. 4 można dostrzec wyraźne zróżnicowanie prędkości pojazdów na odcinkach dojazdowych i wyjazdowych oraz na wjazdach i wyjazdach z rond w zależności od wielkości ronda. Im większe rondo tym wyższe średnie prędkości, przy czym najwyższe wartości zanotowano w otoczeniu rond średnich. W przypadku średnich wartości prędkości V_{srD} i V_{srW} widać wyraźne podobieństwo pomiędzy odcinkami międzywęzłowymi przed i za rondem, gdzie najwyższe wartości średnich V_{srD} stwierdzono na odcinkach dojazdowych rond średnich i małych, a najniższe w otoczeniu mini rond. Stosunkowo niskie wartości zanotowano w otoczeniu ronda wielkiego, gdzie średnia maksymalna prędkość na odcinkach dojazdowych ($V_{srD} = 41,1$) była o prawie 7 km/h niższa w porównaniu do prędkości V_{srD} rond średnich ($V_{srD} = 49,0$ km/h) i o ponad 2 km/h niższa w porównaniu do V_{srD} rond małych ($V_{srD} = 43,6$ km/h). W przypadku odcinków za rondem V_{srW} dla ronda wielkiego wyniosła 41,9 km/h i była niższa od średnich wartości V_{srW} ronda średniego i małego o odpowiednio 5,7 km/h i 1,2 km/h. Średnia wartość V_{srD} dla rond mini wyniosła przed rondem 31,3 km/h, a za rondem $V_{srW} = 29,3$ km/h. Średnie wartości V_{srD} i V_{srW} przedstawione na Rys. 4 uzyskane dla ronda wielkiego charakteryzują się najwyższą jednorodnością i najmniejszymi rozrzutami spośród analizowanych. Znaczne rozrzuty prędkości na pozostałych rondach tłumaczyć można między innymi charakterystyką odcinka dojazdowego. Przykładowo rondo małe M_2, w którym na dwóch ramionach (Prawo_2, Wprost_3) (Rys. 5) występują dodatkowe uwarunkowania zewnętrzne wpływające na redukcję średnich prędkości pojazdów na dojazdach do ronda. W obu tych przypadkach na odcinkach dojazdowych występują lokalne administracyjne ograniczenia prędkości do 40 km/h, a długości odcinków prostoliniowych dochodzących do ronda wynoszą ok. 70m i poprzedzone są łukami poziomymi. Dodatkowo na wlocie Wprost_3, łuk poziomy poprzedzony jest obecnością niestrzeżonego przejazdu kolejowego, natomiast na wlocie Prawo_2 ulica dojazdowa wyposażona jest w szeregowo usytuowane środki uspokojenia ruchu w postaci wyniesionych tarcz przejść dla pieszych.

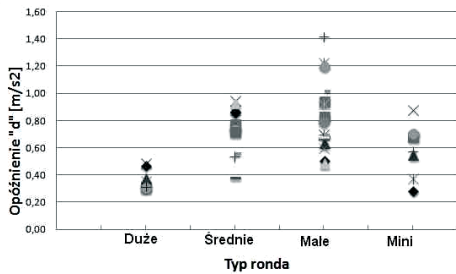


Rys. 5. Wpływ kierunku jazdy na prędkość i opóźnienie w otoczeniu ronda małego M_2

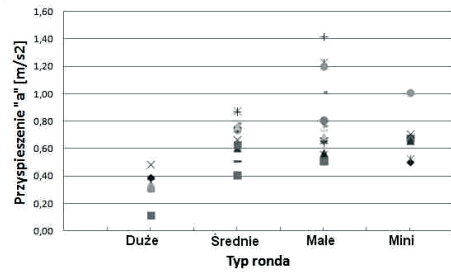
Dane przedstawione na Rys. 5 wskazują, że geometria odcinka dojazdowego może znacznie wpływać na średnie wartości V_{srD} - na ramionach z odgiętym torem jazdy (Prawo_2, Wprost_3) wartość V_{srD} jest niższa o około 12 km/h od średniej prędkości na pozostałych dwóch wlotach niezależnie od relacji skrętnej. Z kolei prędkość V_{srD} zdaje się nie mieć znaczącego wpływu w tym przypadku na prędkość pojazdów na wlocie ronda,

gdzie wartości V_{wl} na poszczególnych ramionach są zbliżone i wahają się w przedziale od 26,7 km/h do 29,3 km/h. Wartości współczynnika średniego opóźnienia d również nie zależą od prędkości V_{srD} . Mimo znacznie wyższych prędkości na kierunkach Prawo_1 i Wprost_1 wartości współczynnika d pozostają na porównywalnym poziomie z wartościami osiągniętymi na wlotach Prawo_2 i Wprost_3. Kierowcy zbliżający się do skrzyżowania z niższą prędkością dojazdową opóźniają rozpoczęcie procesu hamowania w wyniku czego droga hamowania ulega skróceniu, ale wzrasta dynamika samego manewru.

a)



b)

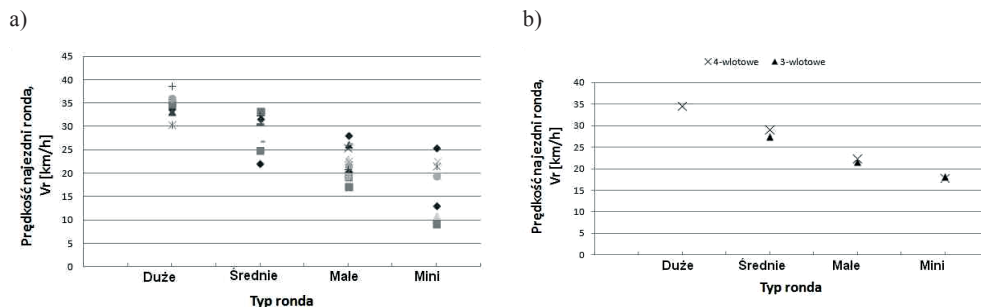


Rys. 6. Średnie wartości opóźnień d i przyspieszeń a na rondach

Analizując wartości średniego opóźnienia d i przyspieszenia a przedstawione na Rys. 6 wyraźnie widać duże zróżnicowanie w dynamice manewrów zarówno przy dojeżdżaniu do ronda jak i jego opuszczaniu. Najwyższe wartości jak i największy rozrzut występują na rondach małych, a najniższe wartości i najmniejszy rozrzut stwierdzono na dojazdach do ronda dużego. Zakres rozrzutu średnich wartości opóźnienia na rondach małych waha się w przedziale od 0,49 m/s² do 1,02 m/s². W przypadku ronda wielkiego średnie wartości opóźnienia wyniosły od 0,31 m/s² do 0,49 m/s². Wartości te, w połączeniu z umiarkowanymi prędkościami na odcinkach dojazdowych dowodzą, że kierowcy spodziewając się relatywnie wysokich prędkości przejazdu przez rondo (Rys. 7) nie hamują gwałtownie w celu dostosowania prędkości do zmienionych warunków.

Największy rozrzut średnich wartości przyspieszenia „ a ” stwierdzono dla pojazdów opuszczających rondo małe, gdzie osiągnięte wartości wahały się od 0,51 m/s² do 1,42 m/s². W przypadku ronda wielkiego wartości te wyniosły od 0,12 m/s² do 0,49 m/s². Średnia najniższa wartość „ d ” wyniosła 0,35 m/s² i była dwukrotnie niższa w porównaniu do wartości na rondach mini i średnich i ponad dwukrotnie mniejsza niż na rondach małych ($d=0,79$ m/s²). Niskie wartości przyspieszenia tłumaczyć należy niskimi wartościami średnich prędkości V_{wyl} i V_{srW} . Również w przypadku rond mini, które charakteryzowały się zdecydowanie najniższymi wartościami V_{srD} , dynamika hamowania była wyraźnie wyższa niż w przypadku ronda wielkiego i średnia wartość opóźnienia wyniosła $d=0,58$ m/s². Tłumaczyć to można chęcią ze strony kierowców do wyrównania wartości V_{srW} do poziomu V_{srD} po znacznej redukcji na rondzie.

Średnie wartości prędkości V_r na analizowanych rondach przedstawiono w ujęciu zbiorczym (Rys. 7a) i z rozbiciem na rondo 3- i 4-wlotowe (Rys. 7b) w celu oszacowania wpływu ilości wlotów na średnią prędkość pojazdów na jezdni ronda.



Rys. 7. Średnie prędkości V_r w zależności od a) typu ronda i b) ilości wlotów.

Uzyskane dane wyraźnie obrazują różnice pomiędzy średnimi prędkościami na jezdni ronda w zależności od jego wielkości – najwyższe średnie wartości V_r stwierdzono na jezdni ronda dużego ($V_r = 34,5$ km/h), a najniższe na rondach mini ($V_r = 17,8$ km/h). Równocześnie nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy średnimi prędkościami V_r w zależności od ilości wlotów na, a różnica pomiędzy średnimi wartościami V_r rond średnich 4- i 3-wlotowych nie przekroczyła 2 km/h.

5. Wnioski

Przedstawione wyniki prędkości chwilowych wskazały na występowanie znacznych różnic pomiędzy średnimi prędkościami na dojazdach do rond w zależności od wielkości ronda. Najwyższe średnie wartości zanotowano w otoczeniu rond średnich, natomiast w otoczeniu rond małych stwierdzono największe rozrzuty średnich wartości prędkości chwilowych. Stwierdzono wyraźną zależność pomiędzy prędkością, a charakterystyką odcinka dojazdowego. Na długich odcinkach prostoliniowych średnie prędkości są znacznie wyższe niż na odcinkach z odgiętym torem jazdy. Ponadto, nie stwierdzono znaczących różnic w prędkości V_r w zależności od ilości wlotów.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że w analizach warunków ruchu w otoczeniu rond oprócz prędkości ważne jest również analizowanie zachowania kierowców, które może być scharakteryzowane dynamiką wykonywanych manewrów wyrażonych współczynnikiem opóźnienia d i/lub przyspieszenia a do wyznaczenia których bardzo przydatne są uśrednione profile prędkości indywidualnych. Jak dowiodły przeprowadzone badania uzyskanie niskich prędkości przy dojeździe do ronda nie musi być jednoznaczne z zapewnieniem spokojnej jazdy przy zbliżaniu się do wlotu ronda, gdyż kierowcy poruszając się wolniej na odcinku dojazdowym opóźniają manewr hamowania skracając tym samym drogę hamowania i zwiększając gwałtowność samego manewru, co nie pozostaje bez wpływu na innych użytkowników dróg. Okazuje się, że dynamika hamowania i przyspieszania na mini rondach, często stosowanych jako element uspokojenia ruchu, niejednokrotnie dorównuje, a nawet przewyższa dynamikę zachowań na rondach większych.

Literatura

- 1 Macioszek E.: Analiza prędkości przejazdu wyróżnionych grup rodzajowych pojazdów na skrzyżowaniach typu ronda. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Transport z. 77 (2012) str. 59-66.
- 2 Tracz M.: Uwarunkowania bezpieczeństwa ruchu w projektowaniu rond. Drogownictwo Nr 12/2005, str. 375-382.

- 3 Brabander B., Nuyts E., Vereeck L.: Road safety effects of roundabouts in Flanders. *Journal of Safety Research* 36 (2005). Pergamon, Belgia 2005, p. 289-296.
- 4 Retting R., Persaud B.N., Garder P.E., Lord D.: Crash and Injury Reduction Following Instalations of Roundabouts in United States. *American Journal of Public Health*, Vol. 91, No. 4, April 2001, p. 628-631.
- 5 Daniels S., Brijs T., Nuyts E., Wets G.: Explaining variation in safety performance of roundabouts. *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010), pp. 393-402
- 6 Campbell D., Jurisich I., Dunn R.: Improved Multi-lane Roundabout design for Cyclists. *Land Transport New Zeland Research Report 287*, Auckland 2006.
- 7 Majer S.: Analiza zdarzeń drogowych na wybranych rondach w Gorzowie Wielkopolskim, Projektowanie rond - doświadczenia i nowe tendencje. *Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP Oddział w Krakowie Nr 92 (Zeszyt 151)*, Kraków 2010.
- 8 Ziółkowski R.: „Analiza bezpieczeństwa ruchu drogowego na wybranych skrzyżowaniach w Białymstoku”. *Przegląd komunikacyjny* Nr 8/2013, str. 18-21.
- 9 Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych cz. II, GDDKiA, Warszawa 2001.

Vehicles speed analysis in roundabouts vicinity

Robert Ziółkowski

*Department of Road Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering,
Bialystok University of Technology, e-mail: robert.ziolkowski@pb.edu.pl*

Abstract: Driving speed is one of the most important factors in road safety as it not only affects the severity of a crash but it is also related to the risk of being involved in a crash. One of the solutions for improving safety in cities is to design new and replace already existing crossroads by roundabouts which offer improved safety over other types of intersections having fewer conflict points, slower speeds and easier decision making. Previously conducted studies considering traffic safety at crossroads in Bialystok have confirmed lower number of accidents and casualties at roundabouts when compared to other types of junctions but at the same time the number of collisions remained at unexpectedly high level.

The paper presents the survey of instantaneous speed, decelerations and accelerations in vicinity of chosen roundabouts located in Bialystok. The data was gathered by utilizing a portable wireless GPS data logger that allowed monitoring and recording second-by-second in-field vehicle position along the tested sections.

Keywords: roundabout, speed, speed profile, deceleration, acceleration