

Elżbieta Macioszek

Katedra Inżynierii Ruchu, Wydział Transportu, Politechnika Śląska

ANALIZA PRĘDKOŚCI PRZEJAZDU POJAZDÓW PRZEZ SKRZYŻOWANIA Z RUCHEM OKRĘŻNYM

Rękopis dostarczono, grudzień 2011

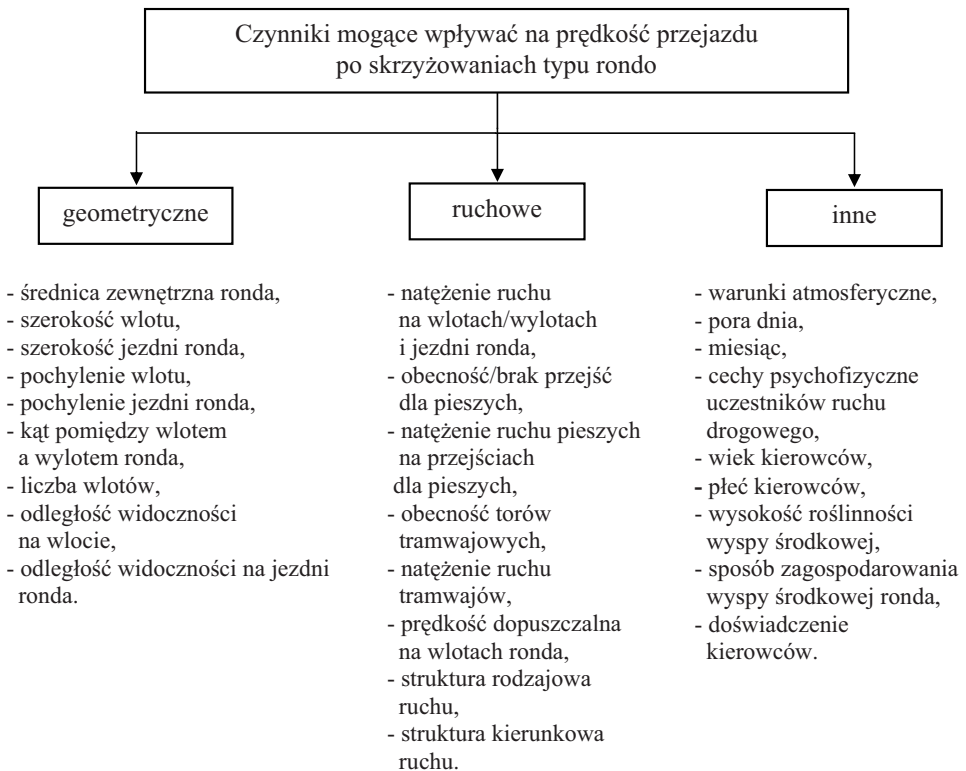
Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę dotyczącą prędkości przejazdu pojazdów przez skrzyżowania z ruchem okrężnym w tym głównie przez rondo. Skrzyżowania z ruchem okrężnym, jako elementy infrastruktury swoją konstrukcją skutecznie ograniczają prędkość jazdy oraz zapewniają kierującym pojazdami lepszą widoczność. W porównaniu z innymi typami skrzyżowań jednopoziomowych cechuje je większa przepustowość oraz płynność ruchu w czasie przejazdu. Dodatkowo na skrzyżowaniach z ruchem okrężnym występuje znacznie mniej potencjalnych punktów kolizji niż na innych typach skrzyżowań, stąd zapewniają one wysoki poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego. W artykule przedstawiono także wyniki badań prędkości przejazdu pojazdów po skrzyżowaniach z ruchem okrężnym. Przeprowadzone analizy umożliwiły wyznaczenie średnich wartości prędkości na poszczególnych typach skrzyżowań, rozkładów częstości występowania prędkości pojazdów w poszczególnych przedziałach czasu, jak również na wskazanie najistotniejszych determinant średnich wartości prędkości. Badania dowiodły, że najistotniejszą determinantą średniej prędkości pojazdów jest wartość średnicy zewnętrznej skrzyżowania. Efektem przeprowadzonych prac są profile prędkości wyróżnionych w badaniach grup rodzajowych pojazdów w czasie przejazdu po skrzyżowaniu z ruchem okrężnym.

Słowa kluczowe: skrzyżowania z ruchem okrężnym, skrzyżowanie typu rondo, prędkość pojazdów

1. WPROWADZENIE

Na sieci drogowo - ulicznej występują różnego typu skrzyżowania, których celem jest umożliwienie przecięcia, połączenia lub rozwidlenia się tras drogowych. Jednym z typów skrzyżowań które zapewniają płynny przepływ potoków ruchu przy zachowaniu odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa swoim użytkownikom jest skrzyżowanie typu rondo [3, 4, 6, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 20, 23, 24, 27]. Zgodnie z [29] rondo jest to skrzyżowanie z wyspą środkową i jednokierunkową jezdnią wokół wyspy, na którym pojazdy są zobowiązane objeżdżać wyspę środkową w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara w krajach o ruchu prawostronnym lub w kierunku ruchu wskazówek zegara w krajach o ruchu lewostronnym. Odstępstwa od tej reguły dotyczą mini ronda, na którym długie pojazdy mogą przejeżdżać przez przejezdną wyspę.

Poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego na skrzyżowaniach z ruchem okrężnym, w tym na rondach, wynika głównie z ograniczenia prędkości jazdy spowodowanego specyficznymi parametrami geometrycznymi skrzyżowania (m.in. takimi jak krzywoliniowe tor jazdy pojazdów przy wjeździe i zjeździe ze skrzyżowania). W artykule przedstawiono wyniki badań prędkości przejazdu pojazdów po skrzyżowaniach typu rondo. Prędkość przejazdu po skrzyżowaniach typu rondo zależy od wielu czynników, stąd każdorazowo należy ją traktować jako zmienną losową. Potencjalne czynniki mogące determinować wartości prędkości pojazdów podczas przejazdu po rondach przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wybrane czynniki mogące wpływać na prędkość przejazdu pojazdów po rondach

Obserwacje ruchu pojazdów na rondach pozwalają wnioskować, że czynnikami geometrycznymi mogącymi wpływać na wzrost prędkości przejazdu są średnica zewnętrzna ronda, szerokości wlotów i szerokość jezdni ronda. Im te parametry przyjmują większe wartości tym prędkości pojazdów są wyższe. Z kolei wzrost pochylenia poprzecznego jezdni ronda powoduje spadek prędkości pojazdów. Najwyższe wartości prędkości przejazdu można zaobserwować dla relacji na wprost w sytuacji, gdy kąt

między wlotem a wylotem jezdni jest zbliżony do 180° . Mniejsze prędkości jazdy osiągają na rondach o większej liczbie wlotów i niewielkiej średnicy zewnętrznej. Bardzo duże znaczenie ma także odległość widoczności na wlocie. Ten czynnik warunkuje głównie prędkość pojazdów dojeżdżających do obwiedni ronda. Na widoczność na obwiedniach rond wpływa głównie wysokość roślinności na wyspie środkowej oraz sposób jej zagospodarowania.

Kolejną grupą czynników determinującą prędkość pojazdów na rondach są parametry ruchowe. Spadek prędkości pojazdów (zarówno na wlocie, obwiedni i wylocie ronda) obserwuje się w okresach zwiększonych dopływów potoków ruchu do wlotów ronda. Występowanie przejść dla pieszych i natężenie ruchu pieszego to czynniki warunkujące prędkość głównie na wlocie i wylocie ronda. Torowiska tramwajowe przebiegające prostopadłe do kierunku ruchu pojazdów także oddziałują na prędkość pojazdów. Jeżeli rondo zlokalizowane jest w obszarze o charakterze handlowo – usługowym (np. przy centrach handlowych) gdzie prędkość dopuszczalna jest niska to należy spodziewać się ogólnie niskiej prędkości pojazdów.

Inne czynniki mają również znaczenie dla osiąganych prędkości. Najwyższe prędkości obserwuje się dla pojazdów o dobrych właściwościach trakcyjnych (samochody osobowe, motocykle). Prędkość jest również uzależniona od cech psychofizycznych uczestników ruchu drogowego, warunków atmosferycznych, a w szczególności od występowania opadów atmosferycznych, które między innymi zmniejszają przyczepność kół pojazdów do nawierzchni.

2. BADANIA PRĘDKOŚCI NA SKRZYŻOWANIACH Z RUCHEM OKRĘŻNYM – STUDIA LITERATUROWE

Z powodu złożonego uwarunkowania prędkość pojazdów nie jest jednakowa dla pojazdów w strumieniach ruchu, wzdłuż drogi, a także w czasie obserwacji w tym samym przekroju. Odchylenia te mogą być chwilowe lub długoterminowe, również o charakterze cyklicznym. Zmienność prędkości strumienia ruchu jest przyczyną zastosowania wybranych parametrów do jej opisu. Do celów praktycznych zwykle stosuje się:

- średnią prędkość chwilową i kwantyle z rozkładu prędkości chwilowych,
- średnią prędkość jazdy,
- średnią prędkość podróży,
- profile prędkości pojazdów czyli wykresy zmian prędkości pojazdu wzdłuż odcinka drogi oraz
- wykresy (linie) prędkości czyli wykresy zmian prędkości pojazdów w kolejnych chwilach czasu przejazdu danego odcinka drogi.

Na świecie badaniami prędkości przejazdu po skrzyżowaniach z ruchem okrężnym w tym po rondach zajmowali się między innymi: S. Ritchie [22], D. Geruschat i S. Hassan [13], M. Coelho, T. Farias i N. Roupail [5], R. Akcelik [1].

Badania S. Ritchiego [22] polegały na analizie bezpieczeństwa na wybranych kilku rondach zlokalizowanych w USA w odniesieniu do prędkości pojazdów osiąganych na tego typu skrzyżowaniach. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły, że geometria ronda wpływa na obniżenie prędkości pojazdów a zarazem na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego (liczba kolizji na tego typu skrzyżowaniach jest mniejsza w porównaniu z innymi typami skrzyżowań).

Z kolei w pracy D. Geruschata oraz S. Hassana [13] badano wpływ prędkości pojazdów i zachowanie pieszych na ustępowanie pierwszeństwa pieszym przez kierowców na wlotach rond. Celem prac było określenie zależności pomiędzy ustępowaniem pierwszeństwa pieszym znajdującym się na przejściu dla pieszych na wlocie/wylocie ronda a prędkością pojazdów na wlocie/wylocie oraz zachowaniem się pieszych. Na podstawie badań i analiz stwierdzono, że:

- średni wskaźnik zatrzymań spowodowany ustępowaniem pierwszeństwa pieszym na wlocie wyniósł 79 % a na wylocie 37 %,
- kierowcy częściej zatrzymywali się podczas dojazdu do ronda w celu ustąpienia pierwszeństwa pieszym czyli wtedy kiedy zmniejszali prędkość jazdy,
- przy opuszczaniu ronda podczas przyspieszania na wylocie wskaźnik zatrzymań był dwukrotnie mniejszy,
- im większą prędkość miały pojazdy tym liczba ich zatrzymań była mniejsza,
- kierowcy poruszający się z niższymi prędkościami częściej ustępowali pierwszeństwa pieszym.

M. Coelho, T. Farias i N. Roupail w pracy [5] analizowali wpływ emisji zanieczyszczeń na środowisko naturalne spowodowanej przez poruszające się pojazdy po jednopasowych rondach zlokalizowanych w miejskich korytarzach transportowych. W tym celu w oparciu o dane z pomiarów empirycznych wykonanych w Lizbonie (Portugalia) i Raleigh (USA) zidentyfikowano trzy reprezentatywne profile prędkości pojazdów przejeżdżających przez ronda jednopasowe zależne od wartości natężenia ruchu, długości kolejki pojazdów na wlotach oraz liczby cykli startów i zatrzymań spowodowanych występowaniem kolejki pojazdów na wlocie ronda. Wyszczególniono dwa typy cykli startów i zatrzymań dla pojazdów dojeżdżających do kolejki na wlocie ronda: krótkie (cykle o długości do 10 m) i długie (cykle o długości powyżej 10 m). Występowanie danego profilu w strumieniu ruchu w praktyce zależy od poziomu kongestii ruchu. Zidentyfikowane profile prędkości są następujące [5]:

- I profil prędkości pojazdów – opisuje zmiany prędkości tych pojazdów przejeżdżających przez rondo, które nie zatrzymują się na wlocie ronda. Straty czasu w tym przypadku wynikają z przejazdu pojazdów po rondzie w porównaniu do przejazdu takiego samego odcinka drogi, ale bez ronda.
- II profil prędkości pojazdów – opisuje zmiany prędkości tych pojazdów przejeżdżających przez rondo, które zatrzymują się tylko jeden raz przed linią podporządkowania wlotu. Do strat czasu związanych z przejazdem po rondzie dolicza się straty czasu ponoszone na linii podporządkowania wlotu w oczekiwaniu na odpowiedniej wielkości odstęp czasowy umożliwiający wjazd na obwiednię ronda.
- III profil prędkości pojazdów – opisuje zmiany prędkości tych pojazdów przejeżdżających przez rondo, które na wlocie poruszają się w kolejce i zatrzymują się kilkakrotnie.

Z kolei z badań R. Akcelika przedstawionych w pracy [1] wynika, że istnieje pewna zależność pomiędzy promieniem skrętu (w relacji na wprost, w prawo lub w lewo) a prędkością pojazdów.

W Polsce badania prędkości pojazdów na rondzie były prowadzone przez M. Tracza [26] na 40 małych jednopasowych rondach o średnicy zewnętrznej $31 \div 46$ m zróżnicowanych pod względem geometrycznym. Wyniki badań pozwoliły na wyznaczenie zależności pomiędzy zewnętrzną średnicą ronda, promieniem skrętu (przy wjeździe i wyjeździe z ronda), szerokością pasów ruchu a kwantylem prędkości pojazdów V_{85} . Wyniki badań prędkości przejazdu pojazdu testowego po skrzyżowaniach typu małe rondo jednopasowe przedstawiono także w pracy [16]. Efektem było wyznaczenie średnich prędkości pojazdów poruszających się po małych rondach jednopasowych.

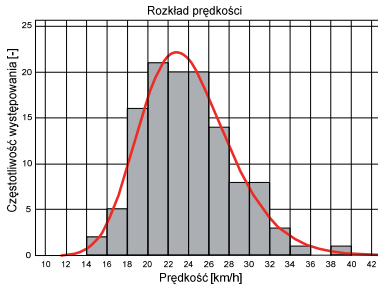
W literaturze można spotkać także charakterystyki różnego typu modeli predykcji liczby zdarzeń drogowych dla skrzyżowań z ruchem okrężnym, w tym także na rondach [2, 7, 8, 9, 18, 21, 25, 28].

3. PRĘDKOŚCI POJAZDÓW PORUSZAJĄCYCH SIĘ PO SKRZYŻOWANIACH Z RUCHEM OKRĘŻNYM

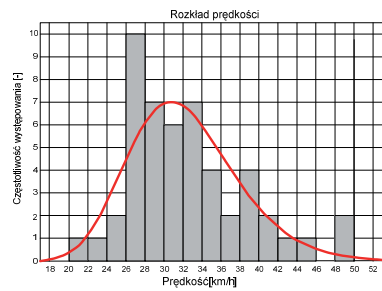
Badania empiryczne przeprowadzono na mini, małych, średnich i dużych rondach z wykorzystaniem kamery cyfrowej. Celem pomiarów był pomiar czasów przejazdu pojazdów przez poszczególne elementy ronda. Znając długości wyszczególnionych w pomiarach elementów ronda oraz czasy przejazdu, możliwe było oszacowanie prędkości poszczególnych pojazdów. Badania prowadzono w typowe dni robocze, w okresach czasu obejmujących godziny szczytu na danym skrzyżowaniu. Każdorazowo, kamery cyfrowe lokalizowano w miejscach możliwie niewidocznych dla kierujących pojazdami, tak aby przeprowadzany pomiar nie wpływał na zachowania kierujących pojazdami. Liczebności prób na każdym z poligonów dobrano z wykorzystaniem wzoru Lagunowa przy założonym poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Każda z prób wykorzystanych w analizie spełniała wymogi minimalnej liczebności.

Jak podano w pracy [19] prędkość pojazdów na rondzie waha się w zakresie $9 \div 60$ km/h i w głównej mierze zależy od typu ronda, struktury kierunkowej i rodzajowej ruchu oraz tego czy pojazd zatrzymywał się na wlocie ronda przed linią podporządkowania wlotu czy też wjechał na obwiednię ronda bez zatrzymania. Badania zgodności empirycznych rozkładów prędkości z rozkładami teoretycznymi wykazały, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ prędkość pojazdów na wlocie i obwiedni ronda można opisać rozkładem logarymiczno - normalnym. Z kolei rozkład prędkości pojazdów na wylocie ronda wykazał zgodność z rozkładem normalnym (zarówno dla pojazdów zatrzymujących się na wlocie ronda w celu ustąpienia pierwszeństwa pojazdom na obwiedni oraz dla pojazdów niezatrzymujących się na wlocie). Na rys. 2 przedstawiono histogramy prędkości pojazdów na wlocie, obwiedni oraz wylocie z ronda. Na każdy histogram naniesiono rozkład teoretyczny, który wykazuje najlepsze dopasowanie do danych empirycznych.

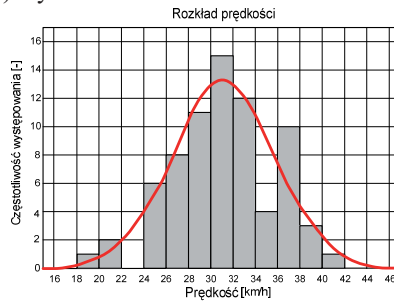
a) wlot ronda



b) obwodnia ronda



c) wylot ronda



Rys. 2. Empiryczne rozkłady prędkości pojazdów z naniesionymi rozkładami teoretycznymi dla: a) wlotu ronda, b) obwodni ronda, c) wylotu ronda
Źródło: [19].

Dla wszystkich relacji, oraz wszystkich wyróżnionych w badaniu grup rodzajowych pojazdów występujących na poddanych pomiarom skrzyżowaniach z ruchem okrężnym wykonano analizę zmienności wartości prędkości. Wartości kwantyli prędkości dla 5 %, 50 %, 75 % oraz 95 % dla samochodów osobowych poruszających się po obwodniach rond przedstawiono tablicy 1.

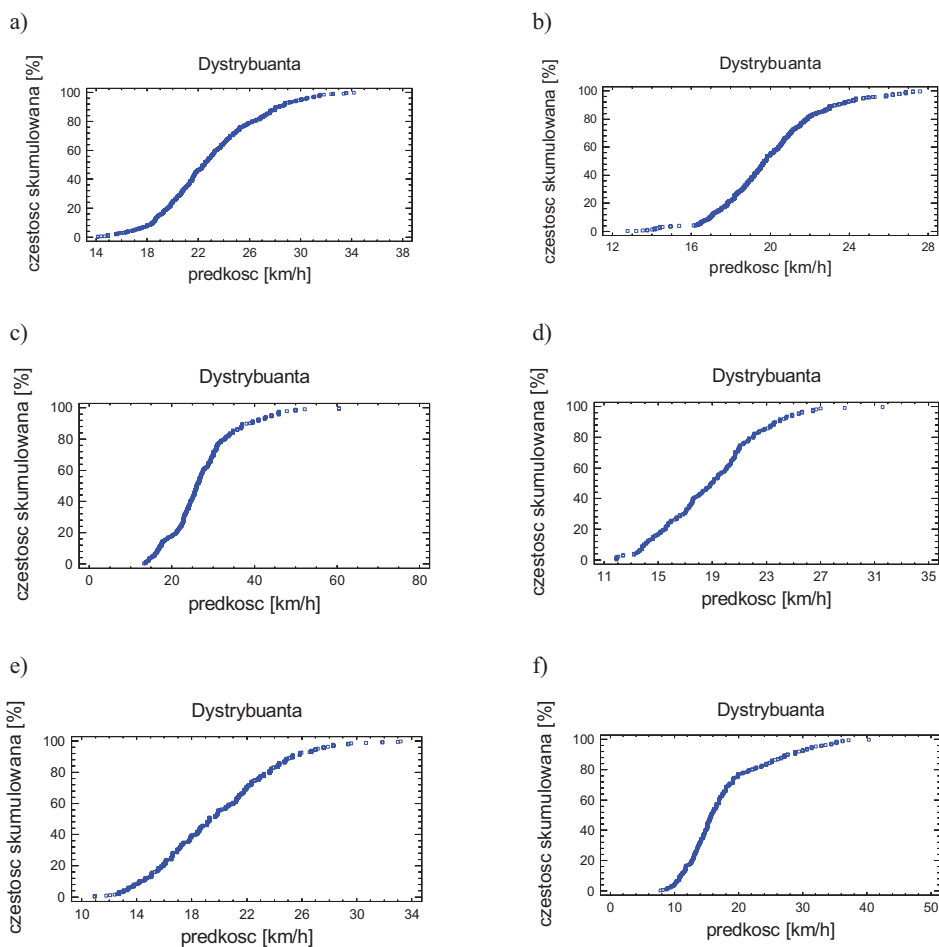
Tablica 1

**Wartości kwantyli prędkości
dla samochodów osobowych poruszających się po obwodniach rond**

Relacja	Zatrzymanie na wlocie	Kwantyl 5 % [km/h]	Kwantyl 50 % [km/h]	Kwantyl 75 % [km/h]	Kwantyl 95 % [km/h]
Skret w lewo	nie	17,0	22,5	25,0	30,0
Skret w lewo	tak	16,0	19,5	21,5	24,0
Jazda na wprost	nie	16,0	26,0	31,0	42,0
Jazda na wprost	tak	13,5	19,0	21,0	25,0
Skret w prawo	nie	13,5	19,0	22,5	27,0
Skret w prawo	tak	10,0	15,5	19,0	31,0

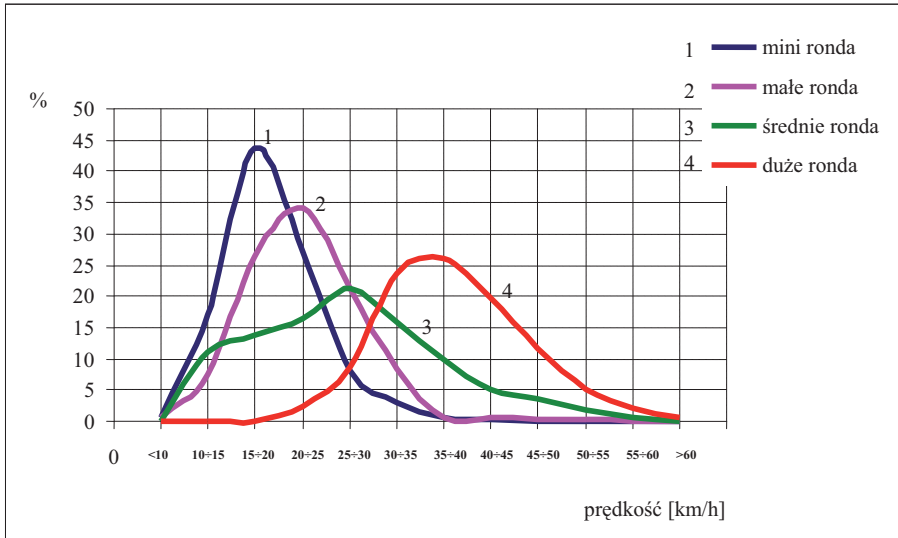
Przykładowe wykresy częstości skumulowanych dla prędkości samochodów osobowych i dostawczych poruszających się po obwodniach skrzyżowań w relacji na wprost, w prawo i w lewo przedstawiono na rys. 3.

W trakcie analizy statystycznej wyników pomiarów wyznaczono także szereg miar zmienności prędkości (tj. rozstęp w próbach, odchylenia standardowe, przeciętne (dewiaty) i ćwiartkowe, wariancje oraz współczynniki zmienności) dla prędkości wszystkich wyszczególnionych w badanych grup rodzajowych pojazdów. Na podstawie tej analizy stwierdzono, że największa zmienność i zróżnicowanie wartości prędkości występuje na wlotach ronda a najmniejsza na wylotach rond.



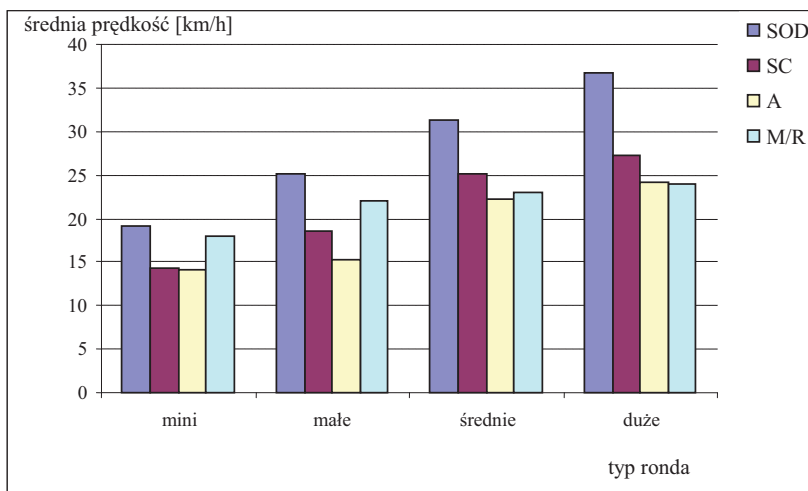
Rys. 3. Wykresy częstości skumulowanych prędkości samochodów osobowych poruszających się po obwodniach skrzyżowań z ruchem okrężnym: a) dla relacji skrętu w lewo bez zatrzymania na wlocie, b) dla relacji skrętu w lewo z zatrzymaniem na wlocie, c) dla relacji jazda na wprost bez zatrzymania na wlocie, d) dla relacji jazda na wprost z zatrzymaniem na wlocie, e) dla relacji skrętu w prawo bez zatrzymania na wlocie, f) dla relacji skrętu w prawo z zatrzymaniem na wlocie
 Źródło: [19].

Rozkład częstości występowania prędkości pojazdów w poszczególnych przedziałach prędkości na mini, małych, średnich i dużych rondach przedstawiono na rys. 4. Wykresy skonstruowano bazując na danych pochodzących z pomiarów na 52 skrzyżowaniach typu rondo. Na podstawie rys. 4 można stwierdzić, że prędkość przejazdu pojazdów rośnie wraz ze wzrostem średnicy zewnętrznej ronda. Najniższa prędkość jazdy obserwowana jest na mini rondach, wyższa na małych i średnich rondach a najwyższa na rondach dużych.

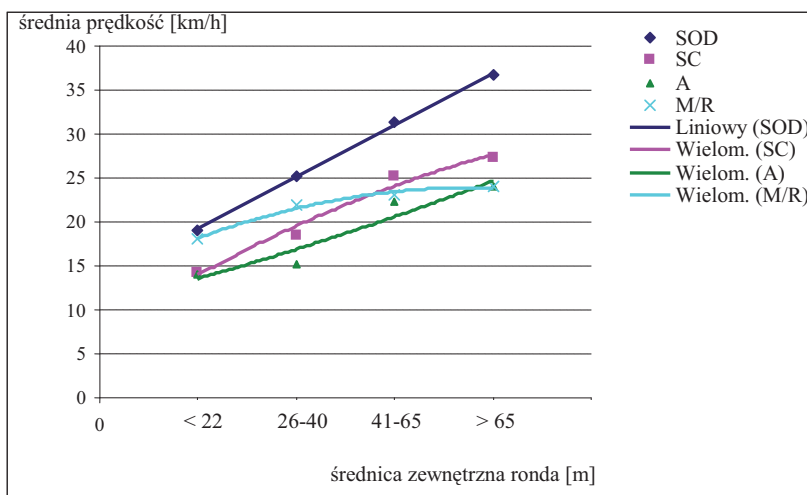


Rys. 4. Rozkład częstości występowania poszczególnych prędkości pojazdów na skrzyżowaniach typu rondo

Oddzielnie dla każdej z badanych grup rodzajowych pojazdów (tj. dla grup: SOD – samochody osobowe i dostawcze, SC - samochody ciężarowe, A – autobusy, M/R – motocykle i rowery) wyznaczono średnie wartości prędkości przejazdu po różnych typach rond (rys. 5) oraz określono zależność średniej prędkości pojazdów od średnicy zewnętrznej ronda (rys. 6). Dla wszystkich grup rodzajowych pojazdów można zaobserwować tendencję wzrostu prędkości wraz ze wzrostem średnicy zewnętrznej ronda. Porównując prędkość poszczególnych grup rodzajowych pojazdów na mini, małych, średnich i dużych rondach można stwierdzić, że w każdym przypadku z najwyższą prędkością poruszają się samochody osobowe i dostawcze a z najniższą autobusy. Z kolei motocykle i rowery na każdym typie ronda poruszają się ze zbliżoną do siebie prędkością. Największe prędkości wszystkie pojazdy osiągają na rondach dużych (średnio dla wszystkich grup rodzajowych pojazdów - 28 km/h). Fakt ten powoduje wzrost przepustowości takiego elementu infrastruktury drogowej, ale w pewnym stopniu obniża bezpieczeństwo ruchu drogowego w porównaniu z pozostałymi typami rond.



Rys. 5. Średnie prędkości przejazdu poszczególnych grup rodzajowych pojazdów po skrzyżowaniach typu rondo
gdzie: SOD – samochody osobowe i dostawcze, SC – samochody ciężarowe, A – autobusy, M/R – motocykle i rowery.



Rys. 6. Zależność średniej prędkości z jaką poruszają się pojazdy po rondach od średnicy zewnętrznej ronda
gdzie: SOD – samochody osobowe i dostawcze, SC – samochody ciężarowe, A – autobusy, M/R – motocykle i rowery.

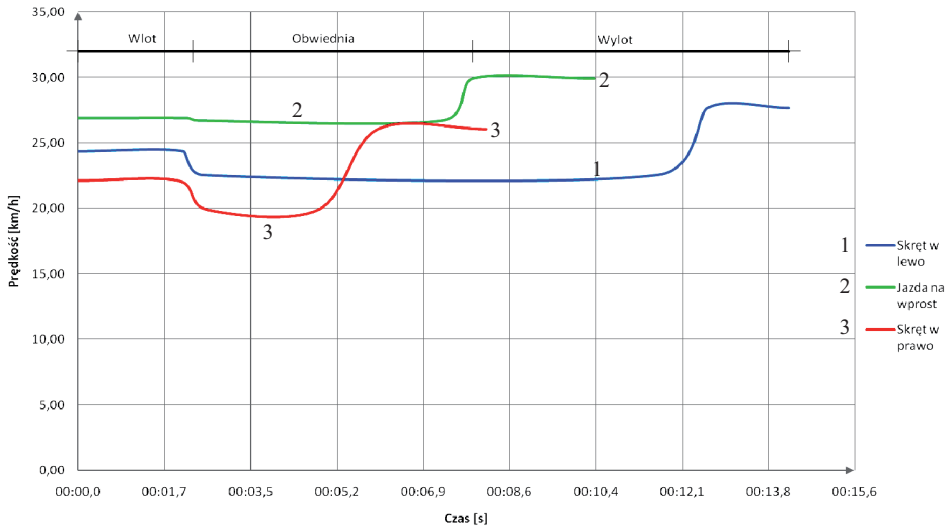
Dla wszystkich wyróżnionych grup rodzajowych pojazdów skonstruowano wykresy zmian prędkości pojazdów w kolejnych chwilach czasu przejazdu po rondzie dopuszczając możliwość wystąpienia na wlotach dwóch sytuacji ruchowych (dwóch typów linii prędkości):

- I typ linii prędkości pojazdów na rondzie - opisujący zmiany prędkości w czasie w sytuacji, gdy pojazdy nie zatrzymują się przed linią podporządkowania wlotu w celu ustąpienia pierwszeństwa pojazdom na obwodni ronda.

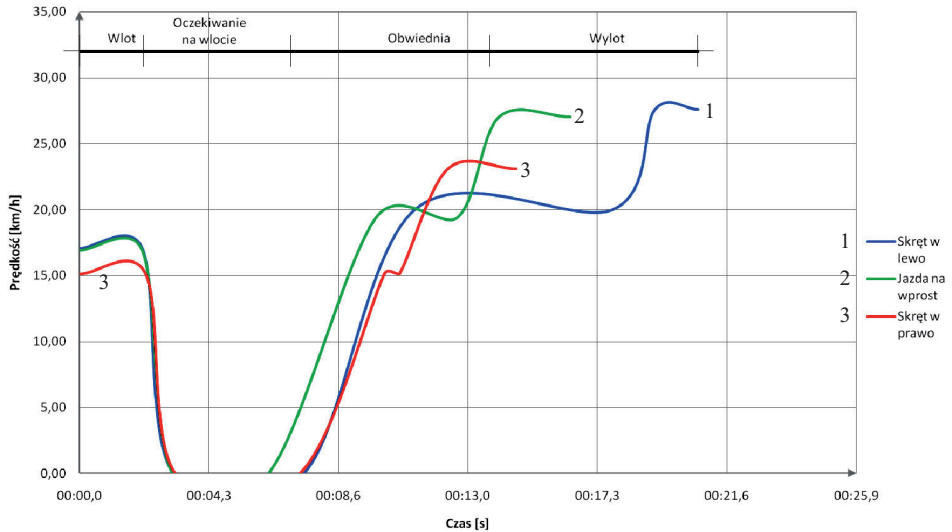
- II typ linii prędkości pojazdów na rondzie - opisujący zmiany prędkości w czasie w sytuacji, gdy pojazdy zmuszone są do zatrzymania się przed linią podporządkowania wlotu w celu ustąpienia pierwszeństwa przejazdu pojazdom znajdującym się na obwodni ronda przed analizowanym wlotem.

Na rys. 7 i 8 przedstawiono przykładowe wykresy zmian prędkości w czasie przejazdu przez rondo samochodów osobowych i dostawczych z uwzględnieniem struktury kierunkowej ruchu. Z kolei na rys. 9 i 10 przykładowe wykresy zmian prędkości w czasie przejazdu przez rondo samochodów ciężarowych, a na rys. 11 i 12 motocykli i rowerów. Z linii prędkości wykonanych dla wszystkich wyróżnionych grup rodzajowych pojazdów wynika, że prędkości każdej grupy rodzajowej pojazdów na wszystkich odcinkach ronda są niższe jeśli pojazdy zatrzymują się na wlocie w celu ustąpienia pierwszeństwa przejazdu pojazdom znajdującym się w obszarze kolizyjnym na obwodni ronda. Dodatkowo prędkości samochodów osobowych w relacji na wprost przyjmują najwyższe wartości zarówno w porównaniu z pozostałymi grupami rodzajowymi pojazdów jak i w stosunku do samochodów osobowych poruszających się w relacji w lewo i w prawo. Dla samochodów osobowych i dostawczych nie zatrzymujących się na wlocie ronda w relacji skrętu w lewo prędkość na obwodni ronda jest najmniejsza (22,54 km/h), prędkość na wlocie wynosi 24,34 km/h a najwyższą prędkość osiągają pojazdy na wylocie ronda (27,65 km/h). Dla relacji na wprost prędkości samochodów na wlocie (26,91 km/h) i obwodni ronda (26,71 km/h) są zbliżone a największa prędkość występuje na wylocie ronda (29,95 km/h). Dla relacji skrętu w prawo najniższa prędkość występuje na wlocie ronda (16,67 km/h) a najwyższa na wylocie (27,28 km/h), prędkość na obwodni ronda wynosi 22,78 km/h. Dla samochodów osobowych i dostawczych, które zatrzymują się na wlocie ronda dla wszystkich relacji najniższe prędkości występują na wlocie ronda (14,72 km/h ÷ 17,00 km/h) a najwyższe na wylocie ronda (23,03 km/h ÷ 27,87 km/h). Zaś najniższe wartości prędkości występują dla relacji skrętu w prawo (14,72 km/h ÷ 23,03 km/h) zarówno na wlocie, obwodni jak i wylocie ronda.

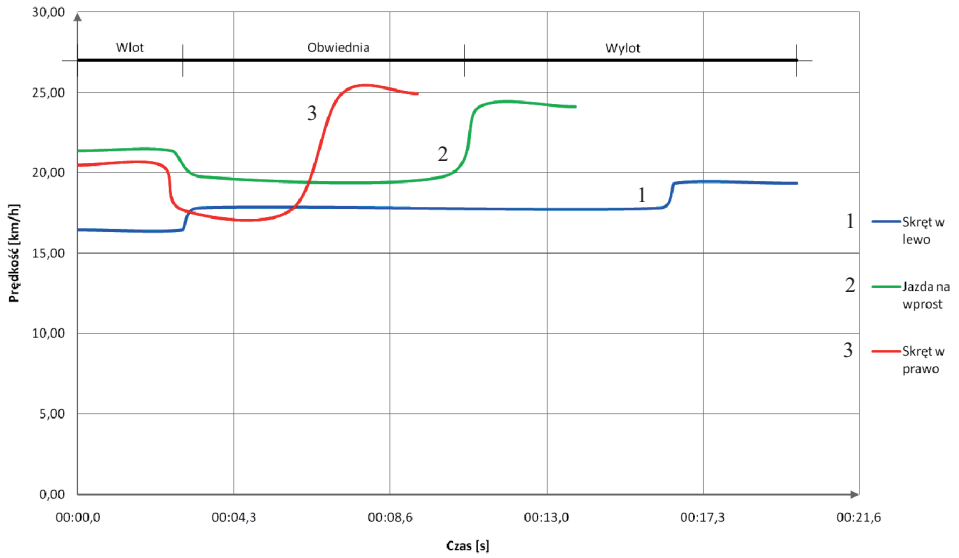
Stwierdzono także, że największe wahania prędkości występują na średnich i dużych rondach. Z kolei na rondach mini i małych rozrzut prędkości pojazdów jest zdecydowanie mniejszy. W sytuacji, gdy rozrzut prędkości jest niewielki, czyli gdy pojazdy poruszają się ze zbliżonymi do siebie prędkościami (dodatkowo stosunkowo niskimi) to w ruchu drogowym zapewnione są odpowiednie warunki do bezpiecznego przejazdu pojazdów.



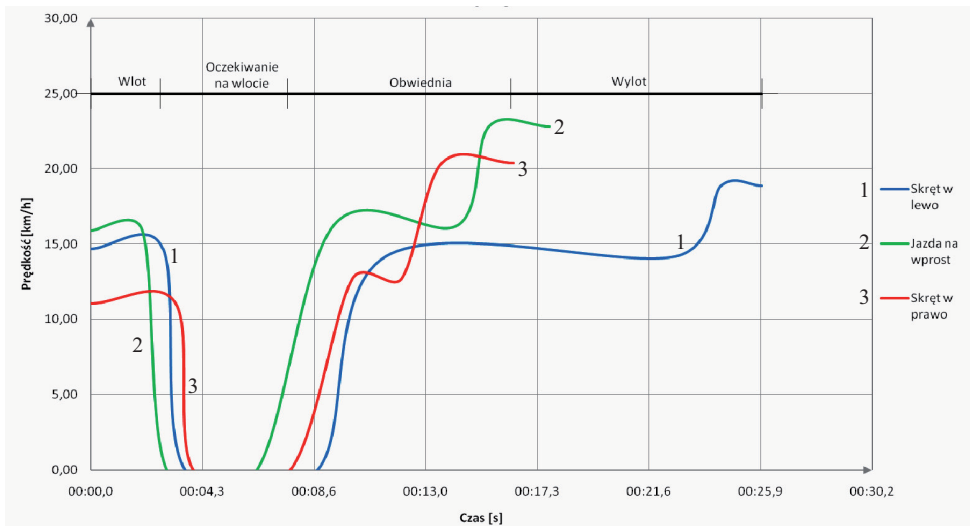
Rys. 7. Prędkości samochodów osobowych i dostawczych podczas przejazdu przez rondo (I typ linii prędkości pojazdów na rondzie)
Źródło: [19].



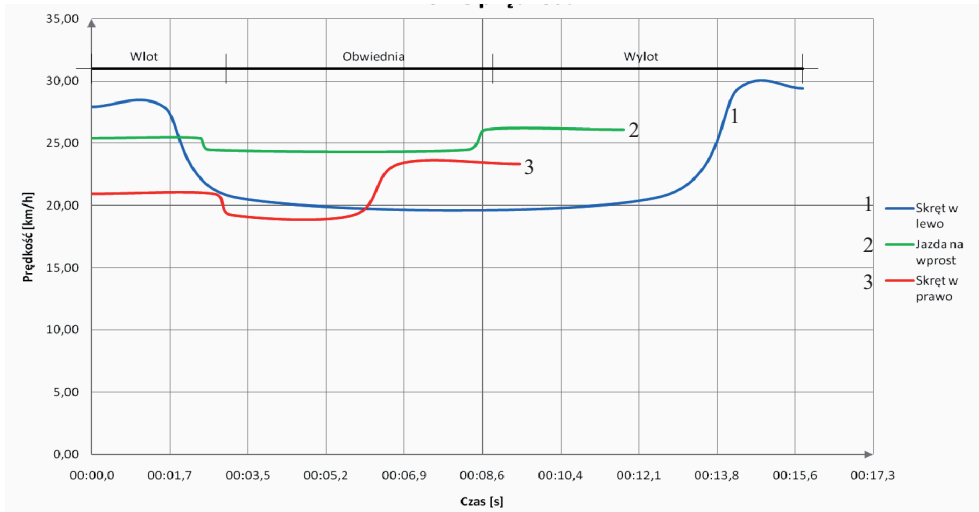
Rys. 8. Prędkości samochodów osobowych i dostawczych podczas przejazdu przez rondo (II typ linii prędkości pojazdów na rondzie)
Źródło: [19].



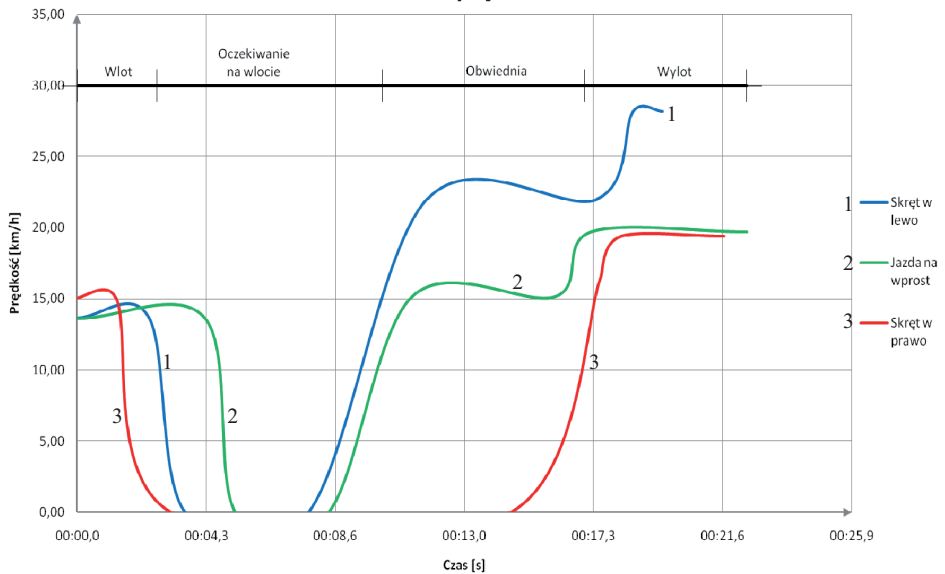
Rys. 9. Prędkości samochodów ciężarowych podczas przejazdu przez rondo
(I typ linii prędkości pojazdów na rondzie)
Źródło: [19].



Rys. 10. Prędkości samochodów ciężarowych podczas przejazdu przez rondo
(II typ linii prędkości pojazdów na rondzie)
Źródło: [19].



Rys. 11. Prędkości motocykli i rowerów podczas przejazdu przez rondo (I typ linii prędkości pojazdów na rondzie)
Źródło: [19].



Rys. 12. Prędkości motocykli i rowerów podczas przejazdu przez rondo (II typ linii prędkości pojazdów na rondzie)
Źródło: [19].

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Bezpieczeństwo ruchu drogowego jest jednym z istotnych problemów transportu. Jest ono bezpośrednio związane z prędkością poruszania się uczestników ruchu drogowego. Im niższa prędkość jazdy tym mniej poważne skutki potencjalnych zdarzeń drogowych. Budowa takich elementów infrastruktury jak skrzyżowania z ruchem okrężnym w tym ronda skutecznie zmniejsza liczbę oraz ciężkość potencjalnych zdarzeń drogowych głównie ze względu na obniżenie średniej prędkości w czasie przejazdu przez ten typ skrzyżowań. Przedstawione w artykule rozważania pozwalają na sformułowanie następujących, ogólnych wniosków:

- Prędkość pojazdów na rondzie waha się w zakresie $9 \div 60$ km/h i w głównej mierze zależy od typu ronda, struktury kierunkowej i rodzajowej ruchu oraz tego czy pojazd zatrzymywał się na wlocie ronda przed linią podporządkowania wlotu czy też wjechał na obwiednię ronda bez zatrzymania.

- Rozpatrując prędkości jazdy pojazdów po różnych elementach sieci drogowo – ulicznej można stwierdzić, że średnia prędkość przejazdu pojazdów przez poszczególne elementy ronda wszystkich wyróżnionych grup rodzajowych pojazdów jest niska, i jednocześnie niższa niż na innych elementach sieci.

- Prędkość przejazdu pojazdów rośnie wraz ze wzrostem średnicy zewnętrznej ronda. Najniższa prędkość jazdy obserwowana jest na mini rondach, wyższa na małych i średnich rondach a najwyższa na rondach dużych (wynosi średnio około 28 km/h).

- Największe wahania prędkości występują na średnich i dużych rondach. Z kolei na rondach mini i małych rozrzut prędkości pojazdów jest zdecydowanie mniejszy. W sytuacji gdy rozrzut prędkości jest niewielki, czyli gdy pojazdy poruszają się ze zbliżonymi do siebie prędkościami (dodatkowo stosunkowo niskimi) to w ruchu drogowym zapewnione są odpowiednie warunki do bezpiecznego przejazdu pojazdów.

Bibliografia

1. Akcelik R.: Estimating negotiation radius, distance and speed for vehicles using roundabouts. The 24th Conference of Australian Institutes of Transportation Research (CAITR 2002). University of New South Wales, Sydney, Australia, 4-6 December 2002. Źródło: www.aattraffic.com.
2. Al-Ghirbal A.: Prediction of Severe Traffic Accident Rates at Roundabouts Using Artificial Neural Networks. King Saud University, College of Engineering, Civil Engineering Department. Jumada Al Awwal 1426 H, June 2005.
3. Brabander B., Nuyts E., Vereeck L.: Road safety effect of roundabouts in Flanders. Journal of Safety Research 36 (2005), Elsevier, Pergamon, pp. 289-296.
4. Brabander B., Vereeck L.: Safety effects of roundabouts in Flanders: Signal type, speed limits and vulnerable road users. Accident Analysis and Prevention 39 (2007) pp. 591–599.
5. Coelho M., Farias T., Roupail N.: Effect of roundabout operations on pollutant emission. Transportation Research Part D 11 (2006), pp. 333 - 343.
6. Daniels S., Nuyts E., Wets G.: The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: an observational study. Accident Analysis and Prevention 40 (2), 2008, pp. 518 ÷ 526.
7. Daniels S., Brijs T., Nuyts E., Wets G.: Extended prediction models for crashes at roundabouts. Safety Science 49 (2011) pp. 198 – 207. Źródło: www.elsevier.com/locate/ssci.

8. Daniels S., Brijs T., Nuyts E., Wets G.: Externality of risk and crash severity at roundabouts. *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010) pp 1966-1973.
9. Daniels S., Brijs T., Nuyts E., Wets G.: Explaining variation in safety performance of roundabouts. *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010), pp. 393-402.
10. De Brabander B., Vereeck L.: Safety effects of roundabouts in Flanders: signal type, speed limits and vulnerable road users. *Accident Analysis and Prevention* 39 (3), 2007, pp. 591 ÷ 599.
11. Elvik R.: Effects on road safety of converting intersections to roundabouts. Review of evidence from Non - U. S. studies. *Transportation Research Record* 1847 (2003), pp. 1 ÷ 10.
12. Elvik R., Vaa T.: *The handbook of road safety measures*. 1st edition. Amsterdam: Elsevier 2004. ISBN 0080440916.
13. Geruschat D.R., Hassan S.E.: The effects of vehicle speed and pedestrian behavior on driver Fielding at roundabouts. National Roundabout Conference 2005 Draft. Źródło: http://www.teachamerica.com/roundabouts/RA057A_ppt_Geruschat.pdf.
14. Hydén C., Várhelyi A.: The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. *Accident Analysis and Prevention* 32(1), 2000, pp. 11 ÷ 23.
15. Lenters M.: Roundabout planning and design for efficiency & safety case study: Wilson Street/ Meadowbrook drive/ Hamilton drive city of Hamilton. Paper Prepared For Presentation at the Innovations in Traffic Operations & Safety Session of the 2003 Annual Conference of the Transportation Association Of Canada St. John's, Newfoundland & Labrador, September 2003. Roundabouts Kanada, 110 Scotia Court, Unit 41 Whitby, Ontario.
16. Macioszek E.: Reprezentacja czasu w modelu symulacyjnym ruchu pojazdów na małych rondach i jego wlotach dojazdowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Nr kol.1621, seria Transport z.52. Materiały z II Konferencji Naukowo Technicznej: Systemy Transportowe Teoria i praktyka, Katowice 8.09.2004, s 321 – 329.*
17. Macioszek E.: Rola małych rond jako elementów poprawiających bezpieczeństwo ruchu drogowego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Nr kol. 1675, seria Transport z.57. Gliwice 2005, s. 269 - 275.*
18. Mauro R., Cattani M.: Model to evaluate potential accident rate at roundabout. *Journal of Transportation Engineering, ASCE, IX/X 2004, pp.602-609.*
19. Parkitny P.: Profil prędkości na skrzyżowaniach typu rondo. Praca dyplomowa – magisterska. Katedra Inżynierii Ruchu. Wydział Transportu. Politechnika Śląska, Katowice 2010. Promotor pracy: dr inż. Elżbieta Macioszek.
20. Persaud B., Retting R., Garder P., Lord D.: Safety effects of roundabout conversions in the United States: empirical bayes. Observational before - after study. *Transportation Research Record* 1751 (2001), pp. 1 ÷ 8.
21. Persaud B., Retting R., Garder P., Lord D.: Observational Before-After Study of the Safety Effect of U.S. Roundabout Conversions Using the Empirical Bayes Method. *Transportation Research Board TRB ID: 01-0562.*
22. Ritchie S.: High speed approaches at roundabouts. *Roundabouts & Traffic Engineering*. Kalifornia 2005. Źródło: http://www.teachamerica.com/roundabouts/ra052a_ppr_ritchie.pdf.
23. Selvi O.: Traffic accident predictions based on fuzzy logic approach for safer urban environments, case study: Izmir, metropolitan area. A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of Izmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of doctor of philosophy in City and Regional Planning. July, 2009, Izmir. Źródło: <http://library.iyte.edu.tr/tezler/doktora/sehirplanlama/T000208.pdf>.
24. Speed management. A road safety manual for decision-makers and practitioners. Global Road Safety Partnership, Switzerland 2008. Źródło: www.GRSProdsafety.org.
25. Swedish National Road and Transport Research Institute: What roundabout design provides the highest possible safety? In *Nornic Road & Transport Research*. News from Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden. Volume 12, No. 2, August 2000, pp. 17-21.
26. Tracz M.: Ronda w Polsce – stan wiedzy i praktyka. *Zeszyty naukowo – techniczne SITK RP oddział w Krakowie nr 92, zeszyt 151. Seria: materiały konferencyjne z konferencji „Projektowanie rond – doświadczenia i nowe tendencje”*, Kraków 2010, s. 229 – 249.
27. Walloon Ministry of Equipment and Transports. D.G.1 Department of Motorways and Highways: The safety of roundabouts and traffic lights in Belgium. National Roundabout Conference 2005 Draft.

28. Weber P.: Roundabout safety experience. Chapter 5 of the Synthesis of North American Roundabout Practice. Paper prepared for presentation at the Road Safety / Geometric Design Session of the 2007 Annual Conference of the Transportation Association of Kanada. Saskatoon, Saskatchewan
29. Wytuczne projektowania skrzyżowań drogowych, część II Ronda. GDDP Warszawa 2001.

THE ANALYSIS OF VEHICLE SPEED ON INTERSECTIONS WITH CIRCULAR TRAFFIC

Summary: The values of vehicles speed on different parts of the circular intersection, especially on roundabouts have been presented in this article. Roundabouts are one of the urban road infrastructure elements. Roundabouts based on his own geometrical construction due in effective way reduced speed and ensure better visibility for drivers. Roundabouts are characterized by bigger total capacity and traffic fluency in comparison with another type of intersections. Additionally on the roundabouts is less potential conflict points then on another type of intersections. There is a reason why roundabouts are consider as a very safe kind of intersections through majority of traffic flow participants. The results of vehicles speed measurements on circular intersections have been also presented in this article. Results of analysis made possible the determination of average speed selected vehicles type on every circular intersection types, vehicles speed frequency in individual time intervals and also pointed out the main average vehicle speed determinants. The results of measurements proof that the main important determinant average vehicles speed on circular intersection is outer intersection diameter. The total effect from conducted research is determination of vehicle speed profiles on circular intersections for selected vehicle types.

Keywords: intersections with circular traffic, roundabouts, vehicle speed