

CHROBOT Paweł<sup>1</sup>  
KRUKOWICZ Tomasz<sup>2</sup>  
WILK Piotr<sup>3</sup>

## FUNKCJONOWANIE POWIERZCHNI AKUMULACYJNYCH NA SKRZYŻOWANIACH Z WYSPĄ CENTRALNĄ

*W artykule dokonano oceny funkcjonowania powierzchni akumulacyjnych na skrzyżowaniach z wyspą centralną. Do badań wybrano trzy skrzyżowania znajdujące się na terenie miasta Warszawa (Rondo Jazdy Polskiej, Rondo Romana Dmowskiego, skrzyżowanie ulic Toruńska - Łabiszyńska). Obiekty te wybrano ze względu na różne, zastosowane na nich, rozwiązania z zakresu organizacji ruchu. W celu dokonania oceny funkcjonowania powierzchni akumulacyjnych zostały wykonane dwa rodzaje pomiarów. Pierwszy pomiar dotyczył zajętości poszczególnych pasów ruchu. Drugi pomiar obejmował wyznaczenie czasu rozładowania kolejki pojazdów oczekujących na skręt w lewo. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów sformułowano wnioski, jak zastosowanie różnych organizacji ruchu na skrzyżowaniu wpływa na wykorzystanie zatok akumulacyjnych.*

## PERFORMANCE OF ACCUMULATION AREAS AT INTERSECTIONS WITH THE CENTRAL ISLAND

*The paper provides performance evaluation of accumulation areas at intersections with the central island (roundabouts). Three intersections in the city of Warsaw, Poland, were selected for this evaluation – Rondo Jazdy Polskiej, Rondo Romana Dmowskiego and the crossroad of Torunska and Labiszynska. These three intersections represent distinct traffic layouts. Two types of measurements were carried out for the evaluation. One type measured usage levels of individual traffic lines within accumulation area. The other type measured time needed to empty accumulation area off the vehicles waiting to make a left turn. The conclusions drawn based on these measurements results show the relationship between intersection traffic layouts and usage of accumulation areas.*

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75.  
Tel: +48 22 234-74-57, 234-75-85, E-mail: pch@it.pw.edu.pl

<sup>2</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75.  
Tel: +48 22 234-75-85, 234-74-57, E-mail: tkr@it.pw.edu.pl

<sup>3</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75.

## 1. WSTĘP

Wykonanie badań miało na celu pokazanie, że zastosowane na skrzyżowaniach z wyspą centralną różne rozwiązania z zakresu organizacji ruchu mają istotny wpływ na stopień wykorzystania zatok akumulacyjnych przez pojazdy skręcające w lewo oraz określenie, jaki może to mieć wpływ na przepustowość skrzyżowania.

Na każdym z wybranych obiektów przeprowadzono dwa rodzaje pomiarów na jednej, wybranej z czterech, zatoce akumulacyjnej. Czynniki decydującymi o wyborze danej powierzchni akumulacyjnej były wartości natężeń ruchu. Wybrano zatoki o największym obciążeniu ruchem, aby uzyskać wyniki obciążone najmniejszym błędem pomiarowym.

Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano aparat cyfrowy z funkcją nagrywania sekwencji wideo oraz komputerowy program multimedialny, umożliwiający dokładne wyznaczenie chwili czasu wystąpienia określonego zdarzenia. Analizie poddano zarejestrowane w trakcie pomiarów zdjęcia oraz nagrane materiały wideo.

Pierwszy rodzaj pomiarów dotyczył zajętości poszczególnych pasów ruchu w zatoce akumulacyjnej. Dla każdego z obiektów przyjęto wykonanie 35 pomiarów.

Drugi rodzaj pomiarów dotyczył czasu rozładowania kolejki pojazdów skręcających w lewo. Wykonywany był dla jednej relacji skręcającej, dla każdego z badanych obiektów.




## 2. WYBÓR I CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH DO BADAŃ SKRZYŻOWAŃ

Do badań zostały wybrane trzy skrzyżowania znajdujące się na terenie miasta Warszawa. Wybrano je ze względu na zastosowanie na nich różnych rozwiązań organizacji ruchu. Są to skrzyżowania:

- Rondo Jazdy Polskiej
- Rondo Romana Dmowskiego
- skrzyżowanie ulic Toruńska - Łabiszyńska

Rondo Jazdy Polskiej posiada 1,5 pasa do skrętu w lewo, rondo Dmowskiego ma wydzielony pas do skrętu w lewo (1 pas), natomiast skrzyżowanie ulic Toruńska-Łabiszyńska posiada jeden współdzielony pas (0,5 pasa) do skrętu w lewo i jazdy na wprost (Tab. 1).

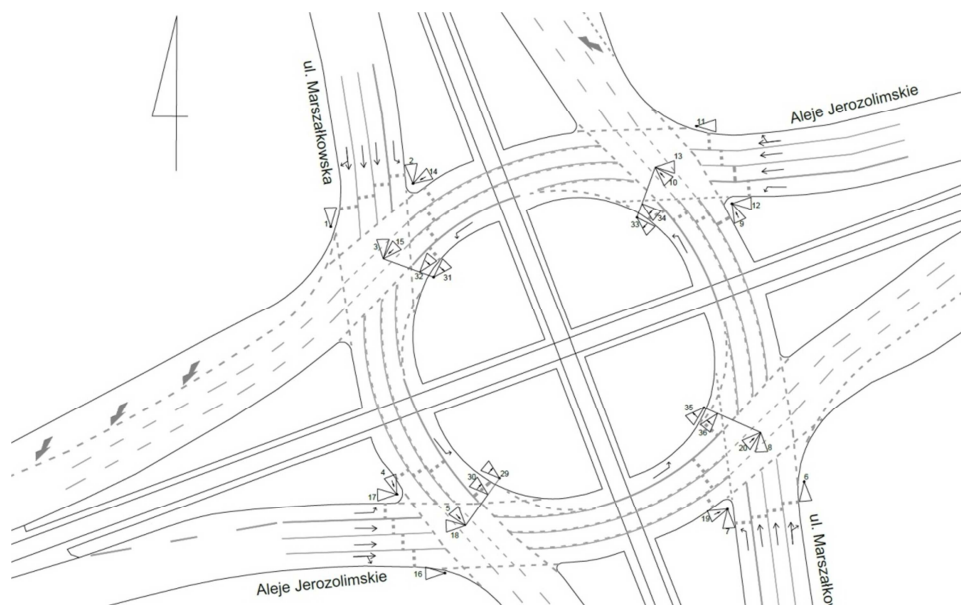
Tab. 1. Liczby pasów rzeczywistych i „umownych” na badanych obiektach

Nazwa ronda	Rondo Dmowskiego	Rondo Jazdy Polskiej	Skrzyżowanie Toruńska – Łabiszyńska
Liczba i funkcje pasów do skrętu w lewo	(1) wydzielony	(2) wydzielony + współdzielony	(1) współdzielony
Przedstawienie graficzne			
„Umowna” liczba pasów do skrętu lewo	1 pas	1,5 pasa	0,5 pasa

## 2.1 Rondo Romana Dmowskiego

Skrzyżowanie ulic Al. Jerozolimskie - ul. Marszałkowska charakteryzuje się brakiem kolizji pomiędzy ruchem pieszym a kołowym oraz przechodzącymi liniami tramwajowymi, przecinającymi się pod kątem prostym. Badana powierzchnia to zatoka zachodnia (W), której długość wynosi około 40 metrów, co pozwala na zmieszczenie 6 pojazdów umownych na jednym pasie ruchu, a więc 24 pojazdy na całej powierzchni (4 pasy ruchu). Wartości te zostały wyznaczone dla przeciętnej długości pojazdów w kolejce w warunkach polskich. Wynosi ona 6,2 metra i jest zaokrąglana w dół do pełnego pojazdu. [1].

Na skrzyżowaniu działa sygnalizacja świetlna z czterofazowym programem o długości cyklu 100 [s] w ciągu dnia i 78 [s] w nocy. Na rysunku (Rys. 1.) został przedstawiony plan sytuacyjny.

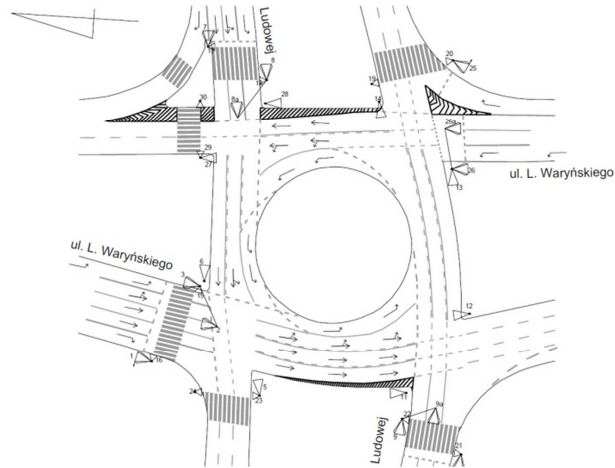


Rys. 1. Plan sytuacyjny skrzyżowania Rondo Romana Dmowskiego

## 2.2 Rondo Jazdy Polskiej

Rondo Jazdy Polskiej (Rys. 2.) znajduje się na przecięciu ulic Al. Armii Ludowej i ul. Waryńskiego. Charakteryzuje się brakiem linii tramwajowych oraz słabo widocznym oznakowaniem poziomym (podczas wykonywania pomiarów), co powodowało utrudnienie dla kierowców w zakresie ustawiania się na właściwej pozycji. Badane powierzchnie akumulacyjne to zatoki północna (N) oraz zachodnia (W), której długość wynosi około 36 metrów, co pozwala na pomieszczenie 5 pojazdów umownych na jednym pasie, a więc 20 pojazdów na całej powierzchni.

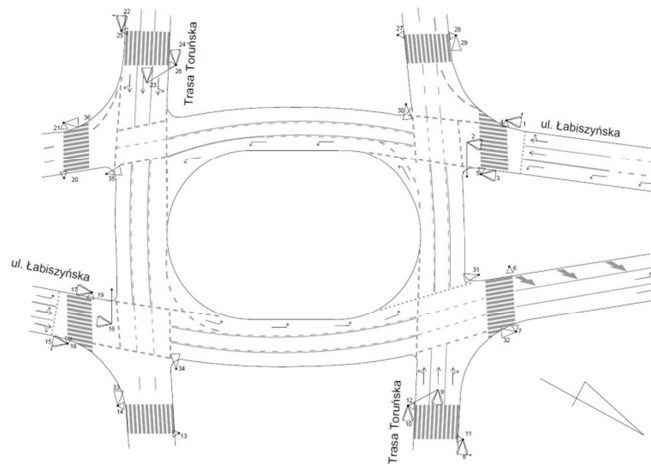
Obiektem tym sterowała dwufazowa sygnalizacja świetlna o długości cyklu (w zależności od okresu doby) 84 lub 90 [s] i jeden z czterech dostępnych programów.



Rys. 2. Plan sytuacyjny skrzyżowania Rondo Jazdy Polskiej

### 2.3 Skrzyżowanie ulic Toruńska - Łabiszyńska

Skrzyżowanie to (Rys. 3.) charakteryzuje się nietypowym, owalnym kształtem wyspy centralnej oraz brakiem linii tramwajowych. Badana powierzchnia akumulacyjna o długości około 58 metrów pozwalała na pomieszczenie 9 pojazdów umownych na pas, a więc 27 pojazdów na całej powierzchni. Tak jak poprzednim obiektem również i tym skrzyżowaniem sterował dwufazowy program sygnalizacji świetlnej o długości cyklu 80[s].



Rys. 3. Plan sytuacyjny skrzyżowania ulic Toruńska - Łabiszyńska

### 3. PLAN WYKONYWANYCH POMIARÓW

Plan wykonywania pomiarów w terenie opracowano tak, aby do ich przeprowadzenia wystarczyła jedna osoba posługująca się cyfrowym aparatem fotograficznym.

Pomiary wykonywano w różnych porach dnia (godziny szczytu porannego lub popołudniowego) i w różnych dniach tygodnia (od wtorku do czwartku), dla każdego z wybranych obiektów.

#### 3.1 Zajętość poszczególnych pasów ruchu

Pierwszy pomiar dotyczył zajętości poszczególnych pasów ruchu. Do jego wykonania wykorzystano dwie metody:

- Pierwsza, fotograficzna, polegała na wykonaniu zdjęcia skrzyżowania z punktu znajdującego się nad skrzyżowaniem tak, aby widoczna była cała badana zatoka akumulacyjna. Wykonywano jedno zdjęcie na cykl w chwili nadania dla badanej powierzchni sygnału zezwalającego. Następnie z wykonanego zdjęcia można było określić liczbę pojazdów na poszczególnych pasach.
- Z drugiej metody należało skorzystać w przypadku, gdy nie było możliwości skorzystania z metody pierwszej (patrz powyżej). Metoda ta polegała na nagraniu za pomocą aparatu fotograficznego materiału wideo (film). Znajdując się w pobliżu badanej zatoki, należało nagrać film przedstawiający zapełnianie się zatoki akumulacyjnej, aż do całkowitego zapełnienia, bądź do nadania dla badanej relacji sygnału zezwalającego, pozwalającego na opróżnienie zatoki. Nagrywano jeden film na cykl. Metoda jest bardzo dokładna ze względu na możliwość wielokrotnego odtwarzania filmu wideo.

Na rysunku (Rys. 4.) przedstawiono przykładowy szkic jednego ze skrzyżowań z oznaczonymi pasami ruchu oraz zatokami.

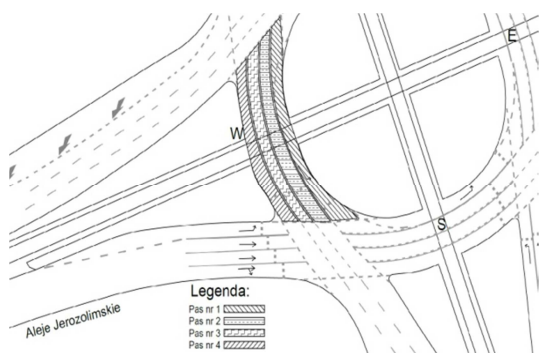
#### 3.2 Czas rozładowania kolejki dla pojazdów skręcających w lewo

Drugim pomiarem wykonanym na każdym z wcześniej wymienionych obiektów było zmierzenie czasu rozładowania kolejki dla pojazdów skręcających w lewo.

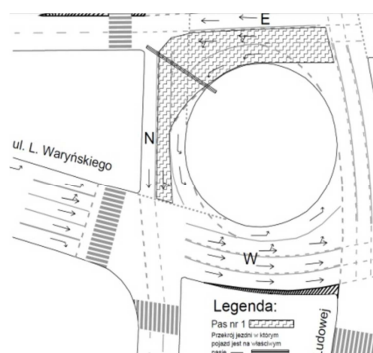
Do wykonania pomiarów w pierwszym kroku została wykorzystana metoda opisana wcześniej, polegająca na nagraniu materiału wideo. Chwilą rozpoczęcia nagrywania był moment na chwilę (ok. 3[s]) przed nadaniem sygnału zezwalającego pojazdom dla badanej relacji. Końcem nagrywania materiału wideo był moment, w którym ostatni pojazd z kolejki opuszczał skrzyżowanie. Czas rozładowania kolejki wyznaczono korzystając z funkcji poklatkowego przeglądania zarejestrowanego materiału za pomocą multimedialnego programu komputerowego. Początkiem pomiaru czasu była chwila nadania sygnału zezwalającego dla badanej relacji. Następnie należało określić czas pośredni dla pojazdu, który ruszył z miejsca będąc ostatnim w kolejce pojazdów ustawionych do skrętu w lewo i zakończyć pomiar gdy pojazd ten wjedzie na pas pozwalający zjechać mu z zatoki.

Ze względu na nawyki kierowców, takie jak np.: ścinanie/zawężanie łuków toru jazdy przy skręcie w lewo, bądź też niewidocznego oznakowania poziomego, dla każdego ze skrzyżowań przyjęto odpowiednie przekroje poprzeczne wybrane w drodze obserwacji

zachowań kierowców. Były to punkty, w których wykonywano pomiar kończący mierzenie czasu rozładowania kolejki. Na rysunku (Rys. 5.) pokazano te przekroje razem z zaznaczonym pasem ruchu.



Rys. 4. Zajętość poszczególnych pasów ruchu Rondo Dmowskiego

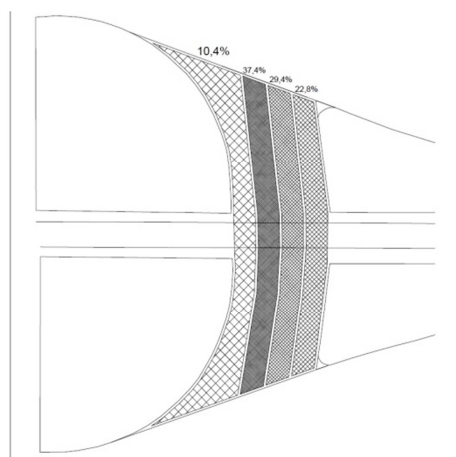


Rys. 5. Czas rozładowania kolejki Rondo Jazdy Polskiej

#### 4. WYNIKI BADAŃ.

##### 4.1 Wykorzystanie pasów w zatoce akumulacyjnej

Najmniej obciążonym pasem był pas nr 1, służący do skrętu w lewo/zawracania na skrzyżowaniu. Natomiast najbardziej obciążonym pasem ruchu na wszystkich obiektach był pas nr 2, który jako pierwszy umożliwiał jazdę na wprost (Rys. 6.).



Rys. 6. Procentowa zajętość poszczególnych pasów ruchu - Rondo Dmowskiego.

Przedstawione na rysunku (Rys. 6.) procentowe rozłożenie zajętości poszczególnych pasów dla przykładowego obiektu wykonano na podstawie tabel (Tab. 2., Tab.3., Tab. 4.) przedstawiających wyniki z przeprowadzonych badań dotyczących zajętości poszczególnych pasów ruchu na każdym z obiektów.

*Tab. 2. Zajętość poszczególnych pasów ruchu - Rondo Romana Dmowskiego*

Nr pasa	1	2	3	4	Całość
Całkowita l. poj.	30	108	85	66	289
Procentowa il. poj. [%]	10,4	37,4	29,4	22,8	100
Maks. l. mieszczących się poj.	6	6	6	6	24
Śr. l. poj. na danym pasie	0,9	3,1	2,4	1,9	8,3
Wykorzystanie pow. akum. [%]	15	52	40	32	35

*Tab. 3. Zajętość poszczególnych pasów ruchu -Rondo Jazdy Polskiej*

Nr pasa	1	2	3	4	Całość
Całkowita l. poj.	12	184	179	152	585
Procentowa il. poj. [%]	12	31,5	30,5	26	100
Maks. l. mieszczących się poj.	5	5	5	5	20
Śr. l. poj. na danym pasie	1,9	5,3	5,1	4,3	16,6
Wykorzystanie pow. akum. [%]	38	106	102	86	83

*Tab. 4. Zajętość poszczególnych pasów ruchu -Toruńska - Łabiszyńska*

Nr pasa	1	2	3	--	Całość
Całkowita l. poj.	81	307	222	--	626
Procentowa il. poj. [%]	13,3	50,3	36,4	--	100
Maks. l. mieszczących się poj.	9	9	9	--	27
Śr. l. poj. na danym pasie	2,3	8,8	6,3	--	17,4
Wykorzystanie pow. akum. [%]	26	98	70	--	64

#### 4.2 Czas rozładowania kolejki dla pojazdów skręcających w lewo

W tabelach (Tab. 5., Tab. 6., Tab. 7.) przedstawiono wyniki z przeprowadzonych badań dotyczących czasu rozładowania kolejki pojazdów oczekujących na skręt w lewo.

Tab. 5. Wartości obliczone z otrzymanych pomiarów - Rondo Romana Dmowskiego

Śr. il. poj., które przejechały	Śr. il. poj., które pozostały w kolejce	Min. czas potrzebny na przekroczenie przekroju [s]	Maks. czas potrzebny na przekroczenie przekroju [s]	Śr. czas przejazdu ostatniego poj. przez przekrój [s]	Kwantyl rzędu 0,85 dla czasu rozł. kolejki
8,9	--	10,41	15,96	13,5	14,6

Tab. 6. Wartości obliczone z otrzymanych pomiarów - Rondo Jazdy Polskiej

Śr. il. poj., które przejechały	Śr. il. poj., które pozostały w kolejce	Min. czas potrzebny na przekroczenie przekroju [s]	Maks. czas potrzebny na przekroczenie przekroju [s]	Śr. czas przejazdu ostatniego poj. przez przekrój [s]	Kwantyl rzędu 0,85 dla czasu rozł. kolejki
7	3	5,35	11,87	8,7	9,75

Tab. 7. Wartości obliczone z otrzymanych pomiarów - Toruńska - Łabiszyńska

Śr. il. poj., które przejechały	Śr. il. poj., które pozostały w kolejce	Min. czas potrzebny na przekroczenie przekroju [s]	Maks. czas potrzebny na przekroczenie przekroju [s]	Śr. czas przejazdu ostatniego poj. przez przekrój [s]	Kwantyl rzędu 0,85 dla czasu rozł. kolejki
9,7	2,1	7,6	16,5	11,7	12,4

Na podstawie danych z tabel zauważyć można, że na wszystkich badanych obiektach, w czasie trwania sygnału zezwalającego, przejeżdżała podobna ilość pojazdów. Natomiast czasy rozładowania kolejek dla każdego obiektu były różne i zależały nie tylko od długości powierzchni akumulacyjnej, ale również od rodzaju zastosowanej organizacji ruchu.

## 5. PRZEPUSTOWOŚĆ SKRZYŻOWAŃ Z WYSPĄ CENTRALNĄ

Porównano przepustowość wynikającą z otwarcia wlotu każdego ze skrzyżowań z przepustowością teoretyczną, obliczoną na podstawie trajektorii ruchu pojazdów o teoretycznej ich długości - 6,2 metra, oraz przepustowością rzeczywistą - uzyskaną z przeprowadzonych pomiarów.

Przepustowość wynikająca z otwarcia wlotu dla relacji skrętu w lewo została obliczona ze wzoru (1):

$$C = \frac{g}{T} * S_0, \quad (1)$$

gdzie: g - rzeczywista długość sygnału zielonego [s]

T- długość cyklu sygnalizacji [s]

S<sub>0</sub> - wyjściowe natężenie ruchu (1800 [E/hz]) [2]



Natomiast do obliczenia przepustowości teoretycznej oraz praktycznej (uzyskanej na podstawie wykonanych pomiarów) wykorzystano wzór (2):

$$C' = p_z * \frac{3600}{T} \quad (2)$$

gdzie:  $p_z$  - pojemność zatoki uzyskana podczas wykonywanych pomiarów

Tab. 8. Teoretyczna ilość pojazdów w zatokach akumulacyjnych

Skrzyżowanie	Rondo Dmowskiego	Rondo Jazdy Polskiej	Toruńska - Łabiszyńska
Teoretyczna liczba pojazdów	19	20	25

W tabeli (Tab. 8.) zamieszczono teoretyczną liczbę pojazdów mieszczących się w zatoce akumulacyjnej wyznaczoną metodą „graficzną” na podstawie trajektorii ruchu pojazdów oraz teoretycznej ich długości - 6,2 [m]. Natomiast w tabeli (Tab. 9.) podane zostały obliczone wartości przepustowości teoretycznej, praktycznej oraz wynikającej z otwarcia wlotu, uzyskane dla badanej powierzchni akumulacyjnej każdego z badanych obiektów.

Tab. 9. Obliczone wartości przepustowości

Przepustowość [p/h]	Teoretyczna	Praktyczna	Wynikająca z otwarcia wlotu
Rondo Dmowskiego	684	---	288
Rondo Jazdy Polskiej	800	680	740
Toruńska – Łabiszyńska	1125	765	900

Dla obiektu Rondo Dmowskiego nie została obliczona przepustowość uzyskana z przeprowadzonych pomiarów ze względu na brak występowania pełnego zapełnienia powierzchni akumulacyjnej.

## 6. WNIOSKI

Przedstawione badania pokazały, jak bardzo zastosowana na skrzyżowaniu z wyspą centralną organizacja ruchu ma wpływ na wykorzystanie poszczególnych pasów ruchu oraz na przepustowość obiektu.

\* Na Rondzie Dmowskiego zauważono nieefektywne wykorzystanie powierzchni akumulacyjnych, wydłużony czas rozładowania kolejki dla pojazdów skręcających w lewo, a co się z tym wiąże mniejszą przepustowość. Czterofazowy program sygnalizacji zapewniał jednak całkowite rozładowanie ruchu wewnątrz ronda oraz zapobiegał tworzeniu się zatorów na skrzyżowaniu. Mimo posiadania 4 pasów ruchu na powierzchni akumulacyjnej obiekt wykazywał się dość małą ich zajętością. W zatoce teoretycznie możliwe było pomieszczenie 24 pojazdów, zaś średnio mieściło się około 8 (wykorzystanie 35%). Małą ilość pojazdów wypełniających zatokę można tłumaczyć długością kolejki pojazdów skręcających w lewo (średnio ok. 9), co spowodowane było istnieniem sygnalizatorów kierunkowych wewnątrz wyspy. Tak więc ilości pojazdów

- stojących w kolejce oraz wypełniających zatokę były bardzo zbliżone i w głównej mierze zależały od odległości pomiędzy sygnalizatorem na wlocie przed zatoką a sygnalizatorem kierunkowym ustawionym na niej.
- \* Kolejne dwa ronda mimo zastosowanej różnej organizacji ruchu funkcjonowały na podobnej zasadzie. Oba sterowane były dwufazowym programem sygnalizacji.
  - \* Rondo Jazdy Polskiej posiadające 1,5 pasa do skrętu w lewo zapewniało większej liczbie pojazdów swobodne wypełnianie badanej zatoki akumulacyjnej. Rozwiązanie to jest na tyle skuteczne, że zatoka bardzo szybko się napełnia i tworzy się kolejka do skrętu w lewo jeszcze poza nią. Sytuacja taka powoduje niekiedy powstawanie zatorów na skrzyżowaniu.
  - \* Na tym skrzyżowaniu można było również zaobserwować jaki wpływ ma widoczność oznakowania poziomego na zachowanie kierowców oraz ustawianie się ich na poszczególnych pasach ruchu. Zdarzało się, że kierowcy mimo istniejących 4 pasów ruchu tworzyli 5 pas ruchu, bądź ustawiali się na ledwo widocznych liniach pomiędzy pasami zajmując miejsce innym pojazdom.
  - \* Ostatni obiekt - skrzyżowanie ulic Toruńska - Łabiszyńska charakteryzował się dużą powierzchnią zatoki oraz posiadaniem pasa mieszanego umożliwiającego wypełnianie badanej zatoki.
  - \* Jak wynikało z przeprowadzonych pomiarów, większa pojemność zatoki, gdy istnieje możliwość wypełnienia jej ma większy wpływ na przepustowość relacji skrętu w lewo, niż posiadanie przez rondo 1,5 pasa umożliwiającego większy dopływ pojazdów do zatoki. Przepustowość otrzymana podczas przeprowadzonych badań wyniosła 765 [p/h] dla pierwszego przypadku i 680 [p/h] dla drugiego rozwiązania.
  - \* Rozpatrując czas rozładowania kolejki zauważono, że był on mniejszy dla skrzyżowań sterowanych dwufazowym programem sygnalizacji niż dla skrzyżowania sterowanego czterofazowym programem.
  - \* Na wszystkich badanych obiektach można zaobserwować małą obciążalność pasów nr 1, służących do zawracania i skrętu w lewo. Na żadnym z obiektów pasy te nie były wykorzystane w pełni, a liczba pojazdów zawsze była mniejsza niż teoretyczna.
  - \* Na żadnym z obiektów nie stwierdzono pełnego wykorzystania badanej powierzchni akumulacyjnej (Rondo Dmowskiego - 35%, Rondo Jazdy Polskiej - 83%, Toruńska - Łabiszyńska - 64%). Wszystkie skrzyżowania charakteryzowały się również podobnym procentowym rozłożeniem zajętości pasów na powierzchni akumulacyjnej. Najbardziej obciążonymi pasami były te, które jako pierwsze umożliwiały jazdę na wprost (pasy 2).

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Chodur J.: „Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną”, GDDKiA - Warszawa, 2004
- [2] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: „Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Wydanie I, Warszawa, 2008
- [3] Tracz M., Chodur J., Gaca S.: „Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych – Część I”, GDDP – Warszawa, 2001
- [4] Wilk P.: „Funkcjonowanie powierzchni akumulacyjnych na skrzyżowaniach z wyspą centralną”, Praca Dyplomowa Inżynierska, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Warszawa, 2011