

MAREK MOTYLEWICZ

mgr inż., Politechnika Białostocka,
ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok,
tel. 85 746-96-04,
m.motylewicz@pb.edu.pl

WŁADYSŁAW GARDZIEJCZYK

dr hab. inż. prof. PB, Politechnika
Białostocka, ul. Wiejska 45E,
15-351 Białystok, tel. 85 746-96-70,
w.gardziejczyk@pb.edu.pl

BADANIE I OCENA WARUNKÓW RUCHU NA SKRZYŻOWANIACH Z WYSPĄ CENTRALNĄ NA PRZYKŁADZIE BIAŁEGOSTOKU¹

Streszczenie. W ostatnich latach w Białymstoku, na przecięciu ważnych ciągów komunikacyjnych, obserwuje się przebudowę istniejących skrzyżowań na skrzyżowania z wyspą centralną z sygnalizacją świetlną. Jest to podyktowane pogarszającymi się warunkami ruchu, które wynikają z dużych obciążeń ruchem pojazdów na skrzyżowaniach, a także ze zmiany przekroju poprzecznego typu 1/2 na przekrój typu 2/2. Skrzyżowania z wyspą centralną są połączeniem krzyżujących się dróg proponowanym również w wytycznych projektowania, głównie z uwagi na występowanie dużych, wewnętrznych powierzchni akumulacji dla pojazdów skręcających w lewo, które odpowiednio zaprojektowane zapewniają wysoką przepustowość całego rozwiązania.

W artykule podjęto próbę oceny warunków ruchu na skrzyżowaniach z wyspą centralną położonych na obszarze Białegostoku. Analizę przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów ruchu samochodowego i ruchu pieszego, z uwzględnieniem geometrii skrzyżowań i organizacji ruchu. Wyniki pomiarów natężenia, struktury kierunkowej i rodzajowej ruchu pozwalają stwierdzić, że na skrzyżowaniach z wyspą centralną w Białymstoku w ciągu dnia występuje dość zróżnicowane obciążenie ruchem samochodowym (1800–6000 P/h, udział pojazdów ciężkich: 2,8–6,5%, udział relacji skrętu w lewo: 18–28%).

W ramach szczegółowych analiz wykonano obliczenia przepustowości na dwóch wybranych skrzyżowaniach z wyspą centralną w oparciu o metodę MOP-SZS-04. Stwierdzono brak przekroczeń przepustowości, a panujące warunki ruchu oceniono jako dobre. Wykonano również porównania przepustowości skrzyżowania z wyspą centralną z przepustowością ronda średniego 2-pasowego o zbliżonej geometrii przy takim samym natężeniu ruchu. Wyniki badań i analiz potwierdziły, że skrzyżowania z wyspą centralną są korzystnym rozwiązaniem z punktu widzenia przepustowości oraz warunków ruchu.

Słowa kluczowe: skrzyżowania z wyspą centralną, powierzchnia akumulacji, przepustowość, warunki ruchu

Wprowadzenie

Skrzyżowania z wyspą centralną powstają poprzez rozsuniecie jednokierunkowych jezdni w obszarze krzyżujących się ulic i wybudowanie wyspy centralnej umożliwiającej utworzenie wewnętrznych powierzchni akumulacji. Na wewnętrznych powierzchniach akumulacji powinny znaleźć miejsce pojazdy skręcające w lewo, oczekując na sygnał zielony w kolejnej fazie programu sygnalizacji. Wytyczne projektowania skrzyżowań [1] podają, że w zależności od długości cyklu sygnalizacji, wielkości wyspy centralnej oraz liczby pasów ruchu, przepustowość wewnętrznych powierzchni akumulacji wynosi od 250 do 600 E/h, a całkowita przepustowość skrzyżowania – do 8000 E/h. Pod względem organizacji ruchu skrzyżowania

z wyspą centralną są porównywane do zespołu czterech skrzyżowań dwóch jednokierunkowych jezdni zlokalizowanych na niewielkiej przestrzeni [2, 3]. Wyspy centralne mają zwykle kształt owalny lub kołowy, wyznaczony przez łuki poziome (o promieniu 150 ÷ 300m) krzyżujących się jednokierunkowych jezdni (trasowanych stycznie do wyspy) oraz łuki relacji skrętu w lewo (o promieniu ≥ 10 m). Średnice wysp mieszczą się na ogół w przedziale od 30 do 50 metrów. Biorąc pod uwagę kształt wyspy centralnej, geometrię wlotów i organizację ruchu, skrzyżowania te charakteryzują się dużą różnorodnością [4, 5]. Cechuje je również duża zajętość terenu.

Do głównych zalet skrzyżowań z wyspą centralną należą [1, 2, 3, 6, 7, 8, 9]:

- przepustowość do 8000 E/h, zwykle przewyższająca przepustowość zbliżonych wielkością rond (tab. 1) oraz stosunkowo duża przepustowość relacji w lewo;
- strefy akumulacji stwarzają większe możliwości programowania sygnalizacji oraz zapewniają bezkolizyjny i przyjazny dla kierowców przebieg relacji w lewo;
- zastosowanie detektorów obecności pojazdów na powierzchniach akumulacji pozwala na dostosowanie długości odpowiednich faz do wielkości relacji skrętu w lewo lub pomijanie faz w przypadku braku pojazdów do obsługi;
- w sytuacjach awarii sygnalizacji świetlnej skrzyżowania te oznakowane znakami A-7 i C-12 funkcjonują znacznie lepiej niż inne skrzyżowania skanalizowane z sygnalizacją, jednak z zastrzeżeniem dotyczącym bezpieczeństwa ruchu (wymienione poniżej wśród wad);

Tabela 1

Typ skrzyżowania	Przepustowość różnych typów skrzyżowań	
	praktyczna	teoretyczna
Rondo jednopasowe	2000	2700
Rondo dwupasowe z jednopasowymi wlotami i wylotami	2200	3600
Rondo dwupasowe z dwupasowymi wlotami i jednopasowymi wylotami	3000	3600
Rondo dwupasowe z dwupasowymi wlotami i wylotami	3500	4000
Rondo turbinowe z dwupasowymi wlotami i wylotami	3500	3800
Skrzyżowanie z wyspą centralną (rozdzielone 3-pasowe wloty i wyloty)	8500	11 000
Skrzyżowanie z pierzeństwem na drodze głównej z wydzielonymi pasami do skrętu w lewo	1500	1800
Skrzyżowanie 4-wlotowe z sygnalizacją świetlną (2-pasowe wloty i jednopasowe wyloty)	3500	4000
Skrzyżowanie 4-wlotowe z sygnalizacją świetlną (rozdzielone 3-pasowe wloty i wyloty)	7500	8000

Źródło: [10]

¹ © Transport Miejski i Regionalny, 2012. Wkład autorów w publikację: M. Motylewicz 50%, WŁ. Gardziejczyk 50%

- możliwość zastosowania przejazdów do zawracania, umiejscowionych w poszerzonym pasie dzielącym jezdnie wlotu i wylotu przed skrzyżowaniem, które pozwalają na wyeliminowanie relacji zawracających ze skrzyżowania.

Do głównych wad skrzyżowań z wyspą centralną należy zaliczyć [1, 2, 3, 8, 9, 11, 12, 13, 14]:

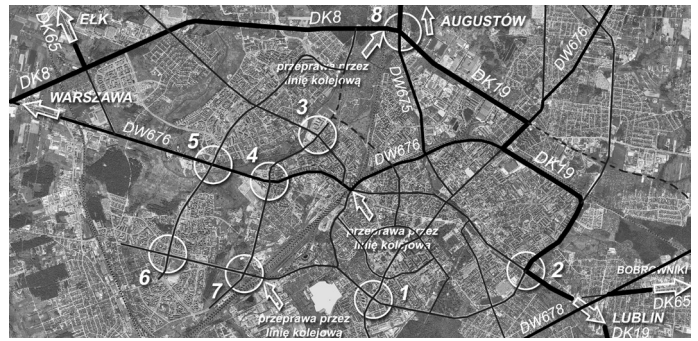
- pogorszenie bezpieczeństwa ruchu, zwłaszcza w momencie awarii sygnalizacji świetlnej, z uwagi na ograniczenie widoczności poziomej przez pojazdy stojące na sąsiednich pasach wielopasowych wlotów i powierzchni akumulacji;
- trasowanie jednokierunkowych jezdni stycznie do wyspy centralnej, w łukach o dużym promieniu – brak odpowiedniej redukcji prędkości przy dojeździe do skrzyżowania;
- duże promienie skrętu w prawo – brak redukcji prędkości przed przejściem dla pieszych;
- możliwość jednoczesnej obserwacji przez kierowcę sygnalizatorów na wlocie i na zjeździe ze strefy akumulacji, co może powodować błędne ich odczytanie;
- blokowanie skrzyżowania przez pojazdy, które nie mieszczą się na powierzchniach akumulacji przy zastosowaniu sterowania dwufazowego i dużym udziałem relacji w lewo na pojedynczych wlotach (dobrym rozwiązaniem są różne algorytmy sygnalizacji wielofazowych, dostosowujące długość poszczególnych faz do aktualnych natężeń ruchu);
- ograniczenie przepustowości relacji skrętu w lewo spowodowane dużym natężeniem ruchu pieszego i sposobem obsługi przejść lub przebiegiem linii tramwajowych przez wyspę;
- ograniczenie przepustowości relacji skrętu w prawo spowodowane brakiem możliwości bezkolizyjnego nadawania sygnału S-2 dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką (zgodnie z zapisami Rozporządzenia MI zawartego w Dz.U. Nr 220 poz. 2181).

Celem artykułu jest ocena przepustowości oraz warunków ruchu na skrzyżowaniach z wyspą centralną na przykładzie istniejących rozwiązań w Białymstoku oraz porównanie przepustowości tego typu skrzyżowania z przepustowością ronda.

Skrzyżowania z wyspą centralną w Białymstoku

Na obszarze Białegostoku, na przecięciach ulic układu podstawowego, funkcjonuje ponad 100 skrzyżowań skanalizowanych z sygnalizacją świetlną, w tym około 90 z sygnalizacją acykliczną, akomodacyjną lub częściowo akomodacyjną, a na ponad 30 sterowanie ruchem odbywa się z wykorzystaniem wideodetekcji. Wśród wymienionych skrzyżowań znajduje się 8 skrzyżowań z wyspą centralną, w tym jedno w obrębie węzła drogowego (rys. 1, 2 a–h).

W artykule nie analizowano skrzyżowania nr 8 z uwagi na jego położenie w obrębie węzła, włączenie do eksploata-



Rys. 1. Lokalizacja skrzyżowań z wyspą centralną: nr 1–8

Źródło podkładu mapowego: www.gisbiastok.pl

cji w 2011 roku, nadal prowadzone prace budowlane na odcinkach dróg prowadzących do tego skrzyżowania oraz brak informacji o zdarzeniach drogowych.

Większość z analizowanych skrzyżowań z wyspą centralną wybudowano w ciągu ostatnich 15 lat (oprócz skrzyżowania nr 4). Położone są one poza ścisłym centrum miasta, na przecięciu ważnych ciągów komunikacyjnych ulic klas GP, G oraz Z (rys. 1) i są obciążone stosunkowo dużym ruchem pojazdów samochodowych. Wyposażono je w cykliczną lub acykliczną sygnalizację świetlną pracującą w oparciu o różne algorytmy akomodacji, wykorzystujące wideodetekcję (nr 1, 3, 4 i 8) lub wbudowane w nawierzchnię pętle indukcyjne (nr 2, 5, 6 i 7). Detekcja obecności pojazdów odbywa się również w obszarze zatok akumulacyjnych. Na wszystkich skrzyżowaniach z wyspą centralną w Białymstoku, zgodnie z obowiązującymi przepisami, zainstalowano sygnalizatory na zjazdach z zatok akumulacji, co zapewnia większe bezpieczeństwo ruchu oraz umożliwia efektywne sterowanie sygnalizacją. Dodatkowo na wszystkich wlotach znajdują się osygnalizowane przejścia dla pieszych, które tylko na skrzyżowaniach nr 5 i nr 6 nie mają wzbudzonej sygnalizacji.

Mając na uwadze kryteria podane w pracy [11] przeprowadzono ocenę skrzyżowań 1–7 z punktu widzenia wymagań bezpieczeństwa ruchu drogowego na podstawie:

- sposobu trasowania jezdni wlotów i wylotów – wpływ na prędkość pojazdów (W1),
- widoczności poziomej z wlotów i z wewnętrznych powierzchni akumulacji (W2),
- wartości promieni łuków wyokrąglających krawędzie jezdni do skrętu w prawo (W3),
- sposobu organizacji ruchu (oznakowanie pionowe obowiązujące w momencie awarii lub wyłączenia sygnalizacji świetlnej) (W4).

Na podstawie danych w tabeli 2 należy stwierdzić, że najmniej korzystne warunki ruchu z punktu widzenia wymagań brd występują na skrzyżowaniu nr 2, a najlepsze – na skrzyżowaniu nr 3. Pierwsze z nich jest jednym z „najstarszych” skrzyżowań z wyspą centralną w Białymstoku, natomiast drugie – wybudowano w ostatnich latach.

W tabeli 3 zestawiono liczbę zdarzeń drogowych, jakie wystąpiły w latach 2006–2010 na skrzyżowaniach z wyspą centralną, na przykładowych rondach i skrzyżowaniach



Rys. 2. Widok analizowanych skrzyżowań: a) rondo Seweryna Nowakowskiego, b) plac Witolda Antonowicza, c) rondo Nauczycieli Tajnego Nauczania, d) rondo Ronalda Reagana, e) rondo Aleksandra Małachowskiego, f) rondo gen. Ludwika Kmicic-Skrzyńskiego, g) plac gen. Augusta Emila Fieldorfa Nila, h) rondo Krzysztofa Putry, oddane do użytku w 2011 roku [fot. M. Motylewicz (a-g); W. Wojtkielewicz (h)]

skanalizowanych z sygnalizacją świetlną położonych w Białymstoku.

Wśród skrzyżowań z wyspą centralną najbardziej niebezpiecznymi są skrzyżowania nr 2 i nr 4, na których w ciągu analizowanego okresu odnotowano około 200 kolizji. Dominującymi rodzajami zdarzeń były zderzenia boczne i tylne pojazdów. Skrzyżowania te są obciążone ruchem około 5000 P/h w godzinie szczytu. Na skrzyżowaniach nr 5 i nr 7, zanotowano mniej kolizji, lecz miało tam miejsce więcej wypadków z rannymi. Chociaż na skrzyżowaniu nr 6 zanotowano najmniej zdarzeń drogowych, to liczba wypadków była zbliżona do liczby wypadków na pozostałych skrzyżowaniach z wyspą centralną.

W grupie analizowanych rond i skrzyżowań skanalizowanych z sygnalizacją świetlną największą liczbę zdarzeń drogowych zanotowano na rondzie im. dr A. Lussy oraz na skrzyżowaniu ulicy H. Sienkiewicza i alei J. Piłsudskiego. W przypadku ronda jest to wynik dużego natężenia ruchu pojazdów i pieszych oraz niekorzystnej geometrii wlotów i organizacji ruchu. W przypadku skrzyżowania skanalizowanego liczba zaistniałych kolizji i wypadków jest również spowodowana dużym natężeniem pojazdów i pieszych, a także długimi przejściami dla pieszych (ulica dwujezdniowa: 5 pasów ruchu na wlocie i 3 na wylocie). W latach 2012 i 2013 planowana jest przebudowa tych skrzyżowań.

Wyniki powyższej analizy potwierdzają, że liczba zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach z wyspą centralną w Białymstoku jest porównywalna do liczby zdarzeń na innych skrzyżowaniach obciążonych ruchem o podobnym natężeniu.

Tabela 2

Ocena bezpieczeństwa ruchu na analizowanych skrzyżowaniach z wyspą centralną								
skrzyżowanie		nr 1	nr 2	nr 3	nr 4	nr 5	nr 6	nr 7
przekątne wyspy [m]		42,5 43,4	54,7 60,2	37,6 36,1	40,6 41,1	33,5 35,0	36,1 36,7	41,9 43,5
RL [m]	A ÷ D	12	12	10	12 (wlot B: 15)	12	12	12
RP [m]	A	12	20	20	12 / 24	15	20	24
	B	18	20	17	14	17	15	22
	C	18	20	12	16	20	15	22
	D	14	20	12	16	12	17	20
wyspy kanalizujące przy SP		brak	malowane na wlotach A i C	brak	brak	malowana na wlocie D	malowana na wlocie C	brak
Ocena W1		dostateczne	złe	dobrze	dostateczne	dostateczne	dostateczne	dostateczne
Ocena W2		dostateczne	dostateczne	dostateczne	dobrze	dostateczne	dostateczne	dobrze
Ocena W3		dobrze	dostateczne	dobrze	dobrze	dobrze	dobrze	dostateczne
Ocena W4		A-7/C-12	znak D-1 na kierunku B-D; znak A-7 na kierunku A-C	A-7/C-12	A-7/C-12	A-7/C-12	A-7/C-12	znak D-1 na kierunku B-D; znak A-7 na kierunku A-C

RL: promień skrętu w lewo, RP: promień skrętu w prawo, SP: skręt w prawo, W1: trasowanie jezdni wlotów i wylotów, W2: widoczność z wlotów i z powierzchni akumulacji, W3: promienie łuków dla relacji skrętu w prawo, W4: organizacja ruchu w czasie awarii sygnalizacji, A, B, C, D – wloty skrzyżowania (wg rys. 2).

Tabela 3

Liczba zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach z wyspą centralną i na innych przykładowych skrzyżowaniach w Białymstoku													
skrzyżowanie	skrzyżowania z wyspą centralną							ronda		skrzyżowania z sygnalizacją świetlną			
	nr 1	nr 2	nr 3	nr 4	nr 5	nr 6	nr 7	im. dr A. Lussy średnie 2-pasowe	im. ks. M. Sopočki male semidwupasowe	ulic H. Sienkiewicza al. J. Pilsudskiego	ulic gen. W. Andersa, Wasilkowskiej i 27 lipca	ulic A. Mickiewicza i K. Ciolkowskiego	
max. natężenie ruchu [P/h]	5301	4964	2947	4993	5835	3444	5981	3861	3092	5177	4104	1875	
liczba wypadków		2		4	6	4	5	10	1	6	1	3	
liczba ofiar śmiertelnych					1			1		1			
liczba rannych		3		4	10	6	7	10	1	6	1	6	
liczba kolizji		209		189	146	70	121	297	138	191	139	77	
rodzaj zdarzenia	inne	1		4			1	4	2		1	4	
	najeżdżanie na barierę ochronną												
	najeżdżanie na dziurę, wybój, garb										1		
	najeżdżanie na pieszego				2	1	1	9	1	9	2		
	najeżdżanie na pojazd unieruchomiony		3		2		1	3	3	4	2	3	
	najeżdżanie na słup, znak		1		2	3	1	3	2	2		1	
	wypadek z pasażerem								1	1	2	1	1
	wywrócenie się pojazdu		1						1	1	1		
	zderzenie pojazdów boczne		126		111	81	38	58	193	103	89	75	46
	zderzenie pojazdów czołowe		4		7	7	2	5	2		12	3	5
zderzenie pojazdów tylne		72		65	60	30	55	92	26	78	55	20	
rodzaj uczestnika	kierujący		211		193	152	74	126	307	139	197	140	80
	pasażer					2	1	4	2	1	4	1	2
	pieszy		3		2	1	1	9	1	9	2		

Źródło: dane Komendy Miejskiej Policji w Białymstoku z lat 2006–2010

Analiza obciążenia ruchem skrzyżowań z wyspą centralną

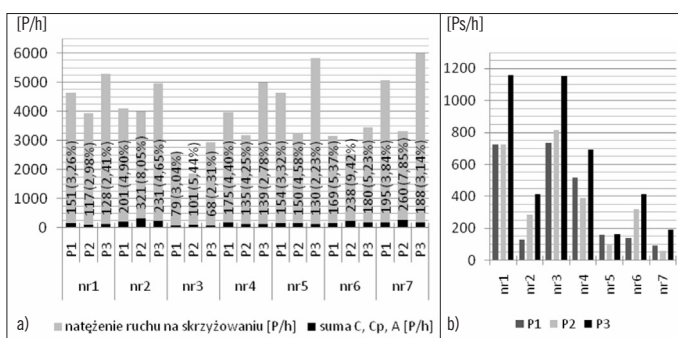
Analizę obciążenia ruchem pojazdów i pieszych badanych skrzyżowań przeprowadzono w oparciu o wyniki pomiarów (tab. 4, rys. 3) wykonanych przy dobrych warunkach atmosferycznych we wtorki i środy, w marcu i kwietniu 2012 roku w okresach: P1 (godz. 07.00–08.00), P2 (godz. 10.00–11.00), P3 (godz. 15.30–16.30). Godziny pomiarów zostały ustalone na podstawie prowadzonych w ostatnich latach przez studentów i pracowników Politechniki Białostockiej wyrwykowych badań ruchu na skrzyżowaniach w Białymstoku.

Na podstawie otrzymanych danych stwierdzono, że największe obciążenie ruchem pojazdów występuje na skrzyżowaniach nr 1, nr 5 i nr 7, na których w godzinach szczytu zanotowano od 5300 do 6000 P/h. Na każdym z tych skrzyżowań największe natężenie ruchu wystąpiło w szczycie popołudniowym. Na skrzyżowaniu nr 7 występują duże dysproporcje pomiędzy wartościami natężenia ruchu oraz wielkościami relacji na poszczególnych wlotach. Na jednym z wlotów tego skrzyżowania zanotowano w szczycie popołudniowym ponad 3200 P/h, podczas gdy na innym wlocie, w tym samym czasie, natężenie było prawie 10 razy mniejsze. Na analizowanym skrzyżowaniu odnotowano również największe natężenia na relacjach skrętu w lewo (850 P/h – szczyt poranny i 720 P/h – szczyt popołudniowy).

Mniejsze obciążenie ruchem pojazdów odnotowano na skrzyżowaniach nr 2 i nr 4 (około 4000 P/h w szczycie porannym i około 5000 P/h w szczycie popołudniowym), a najmniej obciążonymi są skrzyżowania nr 3 i nr 6, na których godzinowe natężenie ruchu w okresie poza szczytami wy-

Tabela 4

Wyniki pomiarów ruchu na analizowanych skrzyżowaniach z wyspą centralną								
numer skrzyżowania	nr 1	nr 2	nr 3	nr 4	nr 5	nr 6	nr 7	
1	natężenie pojazdów na skrzyżowaniu [P/h]	3932	3986	1858	3176	3273	2526	3314
	– w ciągu dnia (poza szczytami P2)	4637	4098	2600	3977	4640	3145	5077
	– w szczycie porannym (P1)	5301	4964	2947	4993	5835	3444	5981
2	średni udział pojazdów ciężkich na skrzyżowaniu (P1–P3) [%]	2,8	5,8	3,3	3,7	3,2	6,5	4,5
3	średnie natężenie wszystkich relacji SL na skrzyżowaniu (P1–P3) [P/h]	879	1084	469	893	822	866	1017
4	średni udział wszystkich relacji SL na skrzyżowaniu (P1–P3) [%]	19,0	24,9	19,0	22,1	17,9	28,5	21,2
5	natężenie na najbardziej obciążonym wlocie w szczycie porannym [P/h]	1363	1481	1375	1090	1525	1062	1676
6	największe natężenie relacji SL na wlocie w szczycie porannym [P/h] i udział procentowy tej relacji na wlocie [%]	416	533	246	306	452	726	847
		31,3	43,6	59,7	34,4	33,3	68,4	83,8
7	natężenie na najbardziej obciążonym wlocie w szczycie popołudniowym [P/h]	1646	1441	1102	1879	1658	1215	3222
8	największe natężenie relacji SL na wlocie w szczycie popołudniowym [P/h] i udział procentowy tej relacji na wlocie [%]	291	617	431	583	363	537	719
		27,7	42,8	69,0	31,0	31,1	51,7	59,6
9	średnie natężenie pieszych na skrzyżowaniu (P1–P3) [Ps/h]	869	276	902	533	139	289	114



Rys. 3. Obciążenie skrzyżowań ruchem: a) pojazdów samochodowych; b) pieszych

nosi około 1800 i 2500 P/h, a w godzinach szczytów odpowiednio: 2600–3000 P/h oraz 3000–3400 P/h.

Udział pojazdów ciężkich (C, C_p, A), na wszystkich analizowanych skrzyżowaniach wynosi od około 2,8 do 6,5%, przy czym na skrzyżowaniach nr 2 i nr 6 jest on największy. Udział procentowy relacji skrętu w lewo na skrzyżowaniach wynosi w ciągu dnia od około 18 do 28%, z czego największe udziały tej relacji występują na skrzyżowaniach nr 2, 4, 6 i 7. Biorąc pod uwagę udział relacji w lewo na pojedynczych, najbardziej obciążonych tą relacją wlotach, zawiera się on w zakresie od około 28% (nr 1) do nawet 84% (nr 7), a na skrzyżowaniach nr 3, 6 i 7 przekracza 50%.

Na podstawie wyników pomiarów ruchu pieszego stwierdzono, że najbardziej obciążone są skrzyżowania nr 1 i 3 (w ciągu dnia około 750 Ps/h, a w szczycie popołudniowym: 1100 Ps/h), co wynika z ich położenia w centralnych obszarach miasta. Duże natężenia pieszych występują również na skrzyżowaniu nr 4 (od ok. 400 do 700 Ps/h), które sąsiaduje z dwoma obiektami handlowymi. Na pozostałych skrzyżowaniach obciążenie ruchem pieszym jest mniejsze i wynosi w ciągu dnia od około 100 do 400 Ps/h.

Przepustowość skrzyżowań z wyspą centralną i ocena warunków ruchu

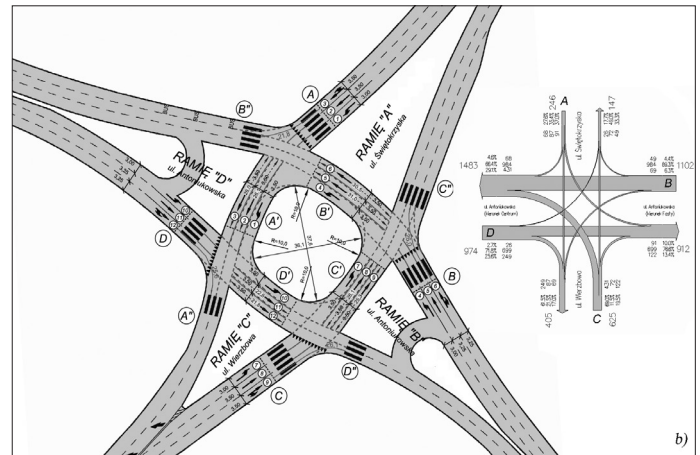
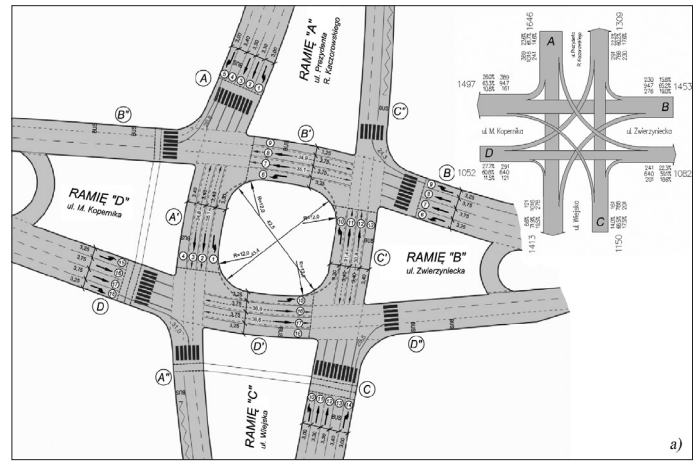
W celu oceny warunków ruchu na skrzyżowaniach z wyspą centralną sprawdzono przepustowość poszczególnych grup pasów na wlotach i na powierzchniach akumulacji dla dwóch przykładowych skrzyżowań (nr 1 i 3 – rys. 4). Wyboru skrzyżowań do szczegółowej analizy dokonano, uwzględniając:

- stosunkowo duże obciążenie ruchem (ok. 5300 P/h), zbliżone natężenia ruchu na wlotach, zbliżone natężenia relacji SL, sygnalizacja wielofazowa – skrzyżowanie nr 1;
- mniejsze natężenie ruchu (ok. 3000 P/h), zróżnicowane natężenia ruchu na wlotach, zróżnicowane natężenia relacji SL, sygnalizacja dwufazowa – skrzyżowanie nr 3.

Obliczenia przepustowości przeprowadzono metodą MOP-SZS-04 [7] dla tzw. maksymalnych programów sygnalizacji (długość cyklu: 120 s – nr 1 i 90 s – nr 3) przy obciążeniach ruchem podanych na rysunku 4. W obliczeniach nie uwzględniono bus-pasów występujących na skrzyżowaniu nr 1. W ramach analizy określono:

- przepustowości (pojemności) wewnętrznych powierzchni akumulacji z uwagi na potrzeby skrętu w lewo (w przypadku sygnalizacji dwufazowej),
- przepustowości poszczególnych grup pasów na wlotach i powierzchniach akumulacji skrzyżowania z wyspą centralną wraz z oceną warunków ruchu.

Wyniki obliczeń przepustowości na wewnętrznych powierzchniach akumulacji dla pojazdów skręcających w lewo (tab. 5) wskazują na przekroczenie przez istniejący ruch ob-



Rys. 4. Geometria oraz diagramy ruchu w szczycie popołudniowym [P/h] dla skrzyżowań a) nr 1: Rondo Seweryna Nowakowskiego; b) nr 3: Rondo Nauczycieli Tajnego Nauczania
Źródło: materiały własne autorów oraz Zarządu Dróg i Inwestycji Miejskich w Białymstoku

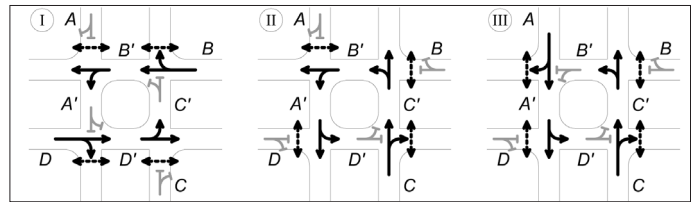
Tabela 5

Przepustowości powierzchni akumulacji dla pojazdów relacji SL (przy założeniu programu sygnalizacji dwufazowej)													
nr skrzyżowania	nr skrzyżowania	powierzchnia akumulacji	natężenie relacji skrętu w lewo z wlotu n+1 w godzinie szczytu popołudn. QL [P/h] i uc [%]	cykl sygnalizacji T [s]	średnia długość pasów pow. akumulacji la [m]	liczba pasów na wprost na powierzchni akumulacji	przeciętna długość stanowiska pojazdu lp [m]	pojemność wew. pow. akumulacji Fa = la / lp [P]	przyjęta do obliczeń wartość Fa dla jednego pasa [P]	przyjęta do obliczeń wartość pasów na wprost na pow. akumulacji [P]	Fa * 3600 / T [E/h]	QL * (1 + uc) [E/h]	sprawdzenie przepustowości pasów na wprost powierzchni akumulacji Fa * 3600 / T > QL * (1 + uc)
nr 1	D'	241	0,0	120	36,8	2	6,20	5,9	6	12	360	241	zapewniona
	A'	276	4,0		35,0	2	6,47	5,4	5	10	300	287	zapewniona
	B'	161	6,2		35,0	2	6,62	5,3	5	10	300	171	zapewniona
	C'	291	2,8		31,1	2	6,36	4,9	5	10	300	299	zapewniona
nr 3	D'	91	1,1	90	22,2	2	6,25	3,5	3	6	240	92	zapewniona
	A'	69	1,5		26,1	2	6,42	4,1	4	8	320	70	zapewniona
	B'	431	0,7		30,7	2	6,23	4,9	5	10	400	434	niezapewniona
	C'	26	0,0		25,7	2	6,20	4,1	4	8	320	26	zapewniona

liczonej przepustowości zatoki B' na skrzyżowaniu nr 3. Spowodowane jest to dużą wartością natężenia relacji w lewo z wlotu C (CL = 431 P/h w szczycie popołudniowym) oraz dwufazowym programem sterowania sygnalizacją świetlną. Program sygnalizacji nie uwzględnia małego obciążenia wlotu A i dużego obciążenia przez relację w lewo z wlotu C (długość sygnału zielonego taka sama (38s) na obu tych wlotach).

W tabeli 6 podano wyniki obliczeń przepustowości i ocenę warunków ruchu dla natężenia ruchu w szczycie popołudniowym. Ustalono, że na wlotach skrzyżowania nr 1 i 3 oraz na wlotach na wewnętrznych powierzchniach akumulacji (przy założeniu zapewnionej pojemności) występują bardzo dobre i dobre warunki ruchu (PSR I lub II).

Należy jednak zwrócić uwagę, że na skrzyżowaniu nr 3 w godzinie szczytu niewystarczająca jest pojemność zatoki akumulacyjnej B' dla relacji skrętu w lewo z wlotu C. W obliczeniach przedstawionych w tabeli 6, fakt ten nie został uwzględniony, gdyż jednym z głównych założeń metody MOP-SZS-04 jest wystarczająca pojemność powierzchni akumulacji. Sygnalizacja dwufazowa na tym skrzyżowaniu byłaby odpowiednia, gdyby liczba pojazdów skręcających w lewo, wjeżdżających na skrzyżowanie podczas sygnału zielonego, nie przekraczała pojemności zatoki akumulacyjnej B'. Problemy tego typu są rozwiązywane dzięki zastosowaniu sygnalizacji wielofazowej [2, 8, 13, 15].



Rys. 5. Proponowany układ faz programu sygnalizacji świetlnej dla skrzyżowania nr 3

Autorzy zaproponowali zmianę w programie sygnalizacji dwufazowej, pozwalającą rozwiązać problem niewystarczającej pojemności zatoki akumulacyjnej B' dla relacji skrętu w lewo z wlotu C na skrzyżowaniu nr 3. Korekta programu sygnalizacji polega na wprowadzeniu trzech faz, w ramach których następuje wydłużenie sygnału zielonego dla zatoki B' o 14 sekund (zwiększenie udziału sygnału zielonego w cyklu z 48,8 na 64,4%) na rzecz późniejszego otwarcia wlotu A (zmniejszenie udziału sygnału zielonego w cyklu z 41,1 na 25,5%) (rys. 5).

W tabeli 7 zestawiono wyniki obliczeń przepustowości i oceny warunków ruchu przy wprowadzeniu zaproponowanej powyżej zmiany w programie sygnalizacji. W porównaniu do obliczeń przed zmianą (tab. 6), nieznacznie pogorszeniu ulegną warunki ruchu na wlocie A (PSR II), a nastąpi poprawa warunków na powierzchni akumulacji B' (PSR I) oraz nie wystąpią przekroczenia jej pojemności z uwagi na potrzeby relacji CL.

Tabela 6

Wyniki obliczeń przepustowości i ocena warunków ruchu na skrzyżowaniach nr 1 i 3																					
WLOT		A			B			C			D			A'		B'		C'		D'	
nr 1 – szczyt popołudniowy	nr pasa	1	2,3	5	6	7,8	9	10	11,12	14	15	16,17	18	1	2,3	6	7,8	10	11,12	15	16,17
	relacje na pasach	L	2x W	P	L	2x W	P	L	2x W	P	L	2x W	P	L	2x W	L	2x W	L	2x W	L	2x W
	natężenie [P/h]	241	1016	389	276	947	230	161	788	201	291	640	121	241	1292	276	1108	161	1079	291	881
	przepustowość [P/h]	646	1292	952	567	1134	943	723	1446	462	733	1466	430	898	2016	952	2223	1043	2341	875	2043
	stopień obciążenia X	0,373	0,786	0,409	0,487	0,835	0,244	0,222	0,545	0,435	0,397	0,437	0,281	0,268	0,641	0,290	0,498	0,154	0,461	0,333	0,431
	straty czasu d [s/P]	29,1	37,9	1,3	35,7	45,0	1,0	23,2	27,7	25,6	26,9	27,2	24,9	14,5	18,8	12,8	14,7	8,5	10,9	16,2	17,0
PSR	II	II	I	II	II	I	II	II	II	II	II	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I
nr 3 – szczyt popołudniowy	nr pasa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2,3	4	5,6	7	8,9	10	11,12
	relacje na pasach	L	W	W+P ^{*)}	L	W	W+P	L ^{**)}	W	W+P ^{*)}	L	W	W+P	L	2x W	L	2x W	L ^{**)}	2x W	L	2x W
	natężenie [P/h]	91	87	68	69	984	49	431	72	122	26	699	249	91	156	69	1415	431	98	26	790
	przepustowość [P/h]	762	762	999	731	1413	774	774	967	731	1439	749	1737	801	1858	760	1763	797	1846		
	stopień obciążenia X	0,119	0,114	0,068	0,094	0,731	0,557	0,093	0,126	0,036	0,659	0,121	0,090	0,086	0,762	0,567	0,056	0,033	0,428		
	straty czasu d [s/P]	15,9	15,8	0,6	14,0	22,2	21,1	15,7	0,6	13,6	20,5	13,5	13,4	11,8	20,2	18,9	13,1	11,4	14,6		
PSR	I	I	I	I	II	II	I	I	I	II	I	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I

*) w obliczeniach przyjęto schemat grupy pasów inny niż wyznaczony oznakowaniem, odpowiadający ich rzeczywistemu wykorzystaniu w analizowanym okresie, to jest jako pas do skrętu w prawo

***) obliczenia przepustowości i warunków ruchu na wlotach C i C' przeprowadzono przy założeniu, że natężenie skrętu w lewo nie przekracza pojemności zatoki B'

Tabela 7

Wyniki obliczeń przepustowości i ocena warunków ruchu na skrzyżowaniu nr 3 dla zaproponowanych zmian w programie sygnalizacji świetlnej (oznaczenia jak w tab. 6)																					
WLOT		A			B			C			D			A'		B'		C'		D'	
nr 3 – szczyt popołudniowy	nr pasa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2,3	4	5,6	7	8,9	10	11,12
	relacje na pasach	L	W	W+P ^{*)}	L	W	W+P	L ^{**)}	W	W+P ^{*)}	L	W	W+P	L	2x W	L	2x W	L ^{**)}	2x W	L	2x W
	natężenie [P/h]	91	87	68	69	984	49	431	72	122	26	699	249	91	156	69	1415	431	98	26	790
	przepustowość [P/h]	481	481	942	731	1413	774	774	967	731	1439	749	1737	1050	2436	760	1763	797	1846		
	stopień obciążenia X	0,189	0,181	0,072	0,094	0,731	0,557	0,093	0,126	0,036	0,659	0,121	0,090	0,066	0,581	0,567	0,056	0,033	0,428		
	straty czasu d [s/P]	25,6	25,6	0,6	14,0	22,2	21,1	15,7	0,6	13,6	20,5	13,5	13,4	5,6	9,1	18,9	13,1	11,4	14,6		
PSR	II	II	I	I	II	II	I	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

W ramach prowadzonych analiz porównano przepustowość skrzyżowania nr 3 z przepustowością ronda o zbliżonej geometrii (rys. 6). W tym celu do obliczeń przyjęto rondo średnie 2-pasowe o średnicy zewnętrznej $D_z = 56\text{m}$ ($D_w = 37\text{m}$) o czterech 2-pasowych wlotach i wylotach. Obliczenia przepustowości ronda, dla obciążenia podanego na rysunku 4b, wykonano metodą MOP-R-04 [6], a ich wyniki przedstawiono w tabeli 8. Stwierdzono, że na wlocie B występują warunki dobre (PSR II), a na pozostałych wlotach ronda – bardzo dobre (PSR I). Wyniki obliczeń potwierdziły, że analizowane skrzyżowania są porównywalne pod względem warunków ruchu.

Mając na uwadze powyższe ustalenia, przeprowadzono obliczenia przepustowości oraz dokonano oceny warunków ruchu na wlotach ronda i skrzyżowania z wyspą centralną (geometria skrzyżowań wg rys. 6) przy różnych natężeniach ruchu (od 2000 do 7000 P/h) dla 3 wariantów rozkładu ruchu i podanej w tabeli 9 struktury kierunkowej.

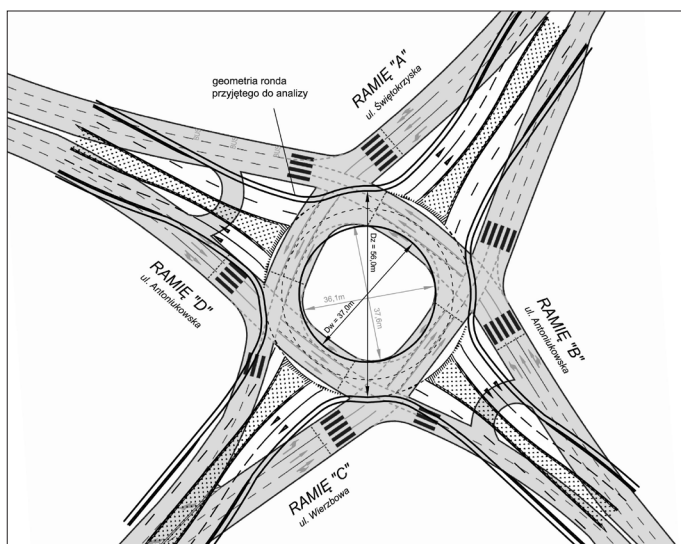
Do obliczeń przepustowości przyjęto następujące dane (oznaczenia zgodne z rysunkiem 4b):

- długość efektywnego sygnału zielonego: $G_e = 38\text{s}$ (wloty A i C), $G_e = 41\text{s}$ (wloty B i D),
- długość sygnału dopuszczającego skręcanie w kierunku wskazanym strzałką: $G_{zs} = 42\text{s}$ (wloty A i C), $G_{zs} = 39\text{s}$ (wloty B i D),
- długość efektywnego sygnału zielonego w zatokach akumulacji: $G_e = 42\text{s}$ (zatoki A' i C'), $G_e = 45\text{s}$ (zatoki B' i D'),
- zerowy udział pojazdów ciężkich i pieszych oraz pochyleńa podłużne wlotów nie wpływające na warunki ruchu.

Wyniki obliczeń podano w tabeli 10. Analiza zmian średnich strat czasu przypadających na jeden pojazd oraz stopnia obciążenia wlotów wykazała, że dla badanego ronda, przy sumarycznym natężeniu ruchu do 3500 P/h, na wszystkich wlotach występują bardzo dobre warunki ruchu (oprócz wariantu WII, w którym dla 3500 P/h na wlotach B i D warunki ruchu są dobre – PSR II). Zwiększenie obciążenia skrzyżowania do 4200 P/h prowadzi do wyczerpania się przepustowości wszystkich wlotów ronda ($X > 1,0$) oraz wystąpienia niekorzystnych warunków ruchu (PSR IV). Jedynie w wariantcie WIII, pomimo dużego stopnia obciążenia wlotów $X = 0,97$ na wlotach A, B i C nadal utrzymuje się PSR II, a na wlocie D – PSR III, co jest wynikiem dużych udziałów relacji skrętu w prawo na wlotach ronda w przyjętym wariantcie.

Na skrzyżowaniu z wyspą centralną z sygnalizacją świetlną zmiana warunków ruchu następuje stopniowo przy wzroście natężenia ruchu od 2000 P/h do 7000 P/h. Straty czasu przypadające na pojedynczy pojazd wzrastają od 10–15 s/P do około 35 s/P. Jedynie w wariantcie WIII przy obciążeniu 7000 P/h na wlocie D stwierdzono przekroczenie przepustowości, gdzie stopień obciążenia $X = 1,03$, co jest wynikiem bardzo dużego natężenia relacji skrętu w prawo.

Otrzymane wyniki potwierdzają, że dla przyjętych do analizy wariantów obciążenia ruchem, przepustowość skrzyżowania z wyspą centralną jest prawie dwukrotnie większa od przepustowości ronda o zbliżonych wymiarach.



Rys. 6. Geometria skrzyżowania z wyspą centralną nr 3 i geometria ronda przyjętego do analizy porównawczej

Tabela 8

Wyniki obliczeń przepustowości i ocena warunków ruchu na rondzie przy obciążeniu ruchem pojazdów i pieszych jak na skrzyżowaniu z wyspą centralną nr 3								
Wlot	A	B	C	D				
Przepustowość rzeczywista ronda C_{rr} [P/h]	3193							
Przepustowość rzeczywista wlotu C_{rw} [P/h]	267	1194	678	1056				
Wskaźnik dopuszczalnego wzrostu ruchu w_r [%]	8,3							
Stopień wykorzystania przepustowości wlotów p_{w} [-]	0,923							
Rezerwa przepustowości rzeczywistej wlotu ΔC_w [P/h]	21	92	53	82				
Średnia strata czasu przypadająca na pojazd d [s/P]	7	24	5	5				
PSR	I	II	I	I				
Długość (zasięg) kolejki L [m]	6,3	6,3	57,0	63,3	12,5	12,5	12,7	19,0

Tabela 9

Obciążenie ruchem wlotów i struktura kierunkowa ruchu na wlotach skrzyżowania					
wariant obciążenia	procentowy udział ruchu na wlocie w całkowitym obciążeniu skrzyżowania [%]				
	A	B	C	D	
WI	25	25	25	25	
WII	20	30	20	30	
WIII	20	20	30	30	
procentowy udział relacji na wlocie [%]					
WI, WII	SL	15	15	15	15
	W	70	70	70	70
	SP	15	15	15	15
WIII	SL	10	20	40	15
	W	50	50	30	25
	SP	40	30	30	60

Podsumowanie

Przeprowadzone badania i analizy pozwalają sformułować następujące wnioski:

- 1) Skrzyżowania z wyspą centralną w Białymstoku są obciążone stosunkowo dużym ruchem (w porze dnia: od 1800 do 6000 P/h). Udział pojazdów ciężkich w ruchu na skrzyżowaniu wynosi od 2,8 do 6,5%, a średni udział relacji skrętnych w lewo zawiera się w przedziale od 18

- do 28%. Na pojedynczych wlotach zanotowano przyładki, w których natężenie na relacji skrajnej w lewo stanowiło nawet 84% natężenia ruchu na wlocie;
- 2) Większość badanych skrzyżowań z wyspą centralną funkcjonuje poprawnie z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego. Liczba zdarzeń na tych skrzyżowaniach jest porównywalna z liczbą zdarzeń na skrzyżowaniach typu rondo i na skrzyżowaniach skanalizowanych z sygnalizacją świetlną o podobnym obciążeniu ruchem;
 - 3) Obliczenia przepustowości wlotów i powierzchni akumulacji dla dwóch skrzyżowań z wyspą centralną potwierdziły, że przy obciążeniu ruchem w szczycie popołudniowym na wlotach występują bardzo dobre i dobre warunki ruchu (PSR I i II). Pewnym problemem mogą być przekroczenia pojemności zatok akumulacyjnych;
 - 4) Skrzyżowania z wyspą centralną są także korzystnym rozwiązaniem przy stosunkowo dużych natężeniach relacji skrętu w lewo. Przy przekroczeniu pojemności zatok akumulacyjnych koniecznym jest zastosowanie sygnalizacji wielofazowej z wydłużeniem fazy światła zielonego umożliwiającego zjazd pojazdów z powierzchni akumulacji;
 - 5) Przy łącznym obciążeniu ruchem do około 3500 P/h skrzyżowania z wyspą centralną i ronda 2-pasowe (o schemacie geometrycznym analizowanym w artykule) są porównywalne pod względem warunków ruchu. Przy natężeniu ruchu w przedziale 3500–7000 P/h na rondzie występują bardziej niekorzystne warunki ruchu niż na skrzyżowaniu z wyspą centralną. Na skrzyżowaniu z wyspą centralną zwiększanie natężenia ruchu prowadzi do stopniowego pogarszania się warunków ruchu aż do przekroczenia przepustowości przy natężeniach powyżej 7000 P/h.

Literatura

1. Tracz M., Chodur J., Gaca S., *Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych. Część I i II*, GDDP, Warszawa 2001.
2. Narożny J., *Sygnalizacja a wyspy centralne*, „Magazyn Autostrady”, 2007, nr 1–2.
3. Hoffmann A., *Czy zmieniać geometrię skrzyżowań z wyspą centralną?*, „Magazyn Autostrady”, 2006, nr 12.
4. Bielewska M., *Charakterystyka polskich skrzyżowań z wyspą centralną*, „Polskie Drogi” 2005, nr 4, wkładka „Bezpieczeństwo i Inżynieria Ruchu”.
5. Melanowski Z., *Rondo turbinowe z sygnalizacją świetlną, czy wyspa centralna?* „Zeszyty Naukowo-Techniczne” SITK RP oddział w Krakowie, 2010, nr 92, zeszyt 151.
6. Tracz M., Chodur J., *Metoda obliczania przepustowości rond (MOP-R-04)*, GDDKiA, Warszawa 2004.
7. Tracz M. i in., *Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną (MOP-SZS-04)*, GDDKiA, Warszawa 2004.
8. Kania L., *Sygnalizacja świetlna na skrzyżowaniach z wyspą centralną*, „Autostrady”, 2006, nr 5.
9. Datka S., Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego*, WKŁ, Warszawa 1999/2008.
10. DHV Group and Royal Haskoning: „Roundabouts – Application and design. A practical manual”, program „Partners for Roads”, Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009.
11. Szczuraszek T. i in., *Bezpieczeństwo ruchu miejskiego*, WKŁ, Warszawa 2006.
12. Szczuraszek T., Kempa J., *Czy zmieniać geometrię skrzyżowań z wyspą centralną?* „Magazyn Autostrady”, 2007, nr 5.
13. Hoffmann A., *Programowanie wielofazowych sygnalizacji świetlnych. Skrzyżowania z wyspą centralną*, „Bezpieczne Drogi”, 2004, nr 6.
14. Kania L., *Rozwiązania dla skrzyżowań z ruchem wokół wyspy*, „Autostrady”, 2007, nr 5.
15. Hoffmann A., *Jaka sygnalizacja?*, „Magazyn Autostrady”, 2006, nr 7.

Tabela 10

Wyniki obliczeń przepustowości i strat czasu na skrzyżowaniu z wyspą centralną i na rondzie																	
		wlot A				wlot B				wlot C				wlot D			
		WYSPA		RONDO		WYSPA		RONDO		WYSPA		RONDO		WYSPA		RONDO	
		X	d	X	d	X	d	X	d	X	d	X	d	X	d	X	d
2000 P/h	WI	0,27	14,6	0,52	2,0	0,20	14,6	0,52	2,0	0,27	14,6	0,52	2,0	0,20	14,7	0,52	2,0
	WII	0,22	14,3	0,54	2,0	0,24	14,9	0,54	2,0	0,22	14,3	0,54	2,0	0,24	15,0	0,54	2,0
	WIII	0,15	9,9	0,48	2,0	0,16	14,4	0,48	2,0	0,27	12,2	0,48	1,0	0,29	6,2	0,48	1,0
3500 P/h	WI	0,48	16,4	0,87	13,0	0,35	15,9	0,87	13,0	0,48	16,4	0,87	13,0	0,35	15,9	0,87	13,0
	WII	0,38	15,5	0,91	10,0	0,42	16,6	0,91	18,0	0,38	15,5	0,91	10,0	0,42	16,7	0,91	18,0
	WIII	0,27	10,5	0,82	8,0	0,27	15,3	0,82	7,0	0,47	13,7	0,82	6,0	0,51	6,7	0,82	8,0
4200 P/h	WI	0,57	17,6	-	-	0,42	16,6	-	-	0,57	17,6	-	-	0,42	16,7	-	-
	WII	0,46	16,2	-	-	0,50	17,5	-	-	0,46	16,2	-	-	0,50	17,6	-	-
	WIII	0,32	10,8	0,97	28,0	0,33	15,7	0,97	25,0	0,57	14,5	0,97	23,0	0,62	7,0	0,97	44,0
5000 P/h	WI	0,68	19,3	-	-	0,50	17,5	-	-	0,68	19,3	-	-	0,50	17,5	-	-
	WII	0,54	17,3	-	-	0,59	18,8	-	-	0,54	17,3	-	-	0,60	18,9	-	-
	WIII	0,38	11,2	-	-	0,39	16,3	-	-	0,67	15,9	-	-	0,74	7,4	-	-
7000 P/h	WI	0,95	35,3	-	-	0,69	20,5	-	-	0,95	35,3	-	-	0,70	20,5	-	-
	WII	0,76	21,0	-	-	0,83	24,0	-	-	0,76	21,0	-	-	0,84	24,3	-	-
	WIII	0,54	12,4	-	-	0,54	18,0	-	-	0,94	27,1	-	-	-	-	-	-

X – stopień obciążenia wlotu; d – średnie straty czasu na pojazd [s/P].

Znak „-” oznacza przekroczenie stopnia obciążenia $X \geq 1,00$, dla którego nie podawano wyników obliczeń.