

ANALIZA USPRAWNIENIA RUCHU NA RONDZIE OFIAR KATASTROFY SMOLEŃSKIEJ W OLSZTYNIE

Zleceniodawca: **Gmina Olsztyn – Zarząd Dróg, Zieleni i Transportu w Olsztynie**
ul. Knosały 3/5B
10-015 Olsztyn

Wykonawcy:
dr hab. inż. Mariusz Kieć, prof. PK
dr inż. Krystian Woźniak
dr inż. Radosław Bąk
mgr inż. Karolina Forczek
mgr inż. Agnieszka Jamro

Kraków, listopad 2025 r.

ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Przedmiot i podstawa opracowania | 3 |
| 1.1 | Przedmiot i zakres opracowania..... | 3 |
| 1.2 | Podstawa opracowania | 4 |
| 1.3 | Oznaczenia przyjęte w opracowaniu..... | 6 |
| 2. | Natężenie ruchu na skrzyżowaniu | 7 |
| 2.1 | Obserwacje funkcjonowania skrzyżowania | 7 |
| 2.2 | Pomiar ruchu na skrzyżowaniu | 8 |
| 2.3 | Wyniki pomiarów ruchu kołowego..... | 9 |
| 2.4 | Ruch pieszy | 15 |
| 2.5 | Ruch transportu zbiorowego | 16 |
| 2.6 | Analiza porównawcza potoków ruchu z Systemu Sterowania Ruchem | 17 |
| 2.7 | Prognoza ruchu na skrzyżowaniu..... | 23 |
| 3. | Metodologia analiz warunków ruchu | 24 |
| 3.1 | Sposób analizy warunków ruchu..... | 24 |
| 3.2 | Obliczenia przepustowości i ocena warunków ruchu | 25 |
| 3.3 | Mikrosymulacja ruchu drogowego..... | 25 |
| 4. | Koncepcje projektowe | 26 |
| 4.1 | Rondo turbinowe | 28 |
| 4.2 | Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną | 37 |
| 4.3 | Skrzyżowanie z sygnalizacją z powierzchniami akumulacyjnymi | 43 |
| 5. | Podsumowanie i rekomendacje..... | 50 |

ZAŁĄCZNIKI

graficzne:

1. Uproszczona koncepcja projektowa skrzyżowań

elektroniczne:

2. Wizualizacja przebiegu ruchu (3 warianty)
3. Dane z pomiarów ruchu na skrzyżowaniu

1. PRZEDMIOT I PODSTAWA OPRACOWANIA

1.1 Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem opracowania jest wykonanie uproszczonej koncepcji poprawy funkcjonowania Ronda Ofiar Katastrofy Smoleńskiej w Olsztynie wraz z przeprowadzeniem analiz ruchu.

Analiza ma za zadanie określenie możliwych przekształceń istniejącego skrzyżowania ulic: Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920, Bałtyckiej i R. Schumana ukierunkowanych na poprawę warunków ruchu, które w stanie istniejącym są nieakceptowalne.

Opracowanie obejmuje:

- wykonanie i opracowanie pomiarów na skrzyżowaniu w okresie wrzesień – październik (1 dzień roboczy w godzinach szczytu porannego i popołudniowego),
- sporządzenie prognozy ruchu do analiz,
- wykonanie analizy ruchu drogowego z wykorzystaniem modeli mikrosymulacyjnych,
- zaproponowanie min. 3 wariantów koncepcyjnych (koncepcja uproszczona geometryczna) wraz z ich oceną i rekomendacjami dla 3 najkorzystniejszych wariantów,
- prowadzenie konsultacji wyników analiz w trakcie opracowania z Zamawiającym (online) oraz wykonanie prezentacji końcowej rezultatów analizy,
- wykonanie opracowania końcowego wraz z wynikami analiz i rekomendacjami.



Rys. 1.1. Lokalizacja skrzyżowania.

1.2 Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi umowa nr TD.253.9.2025 zawarta w dniu 25.08.2025 r. pomiędzy Zarządem Dróg, Zieleni i Transportu w Olsztynie, reprezentowanym przez Dyrektora ZDZiT w Olsztynie – Marcinem Szwarca a Politechniką Krakowską im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie, reprezentowaną przez dr hab. inż. Mariusza Kieć, prof. PK – Kierownika Katedry Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu, przy kontrasygnacie finansowej mgr Doroty Majewskiej – Kwestora PK.

Materiały podstawowe i źródła wiedzy technicznej stanowią:

- [a] Ustawa z dn. 21 marca 1985 r. o drogach publicznych. (Dz. U. z 2025 r. poz. 889),
- [b] Ustawa z dn. 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym. (Dz. U. z 2024 r. poz. 1251 z późn. zm.),
- [c] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz. U. poz. 1518 z późn. zm.),
- [d] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach (Dz. U. z 2019 r. poz. 2311 z późn. zm.)
- [e] Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa 2004,
- [f] Metoda obliczania przepustowości rond. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa 2004,
- [g] Haller W. (Leiter): Arbeitspapier. Turbokreisverkehre. Ausgabe 2015, FGSV, s. 1-27

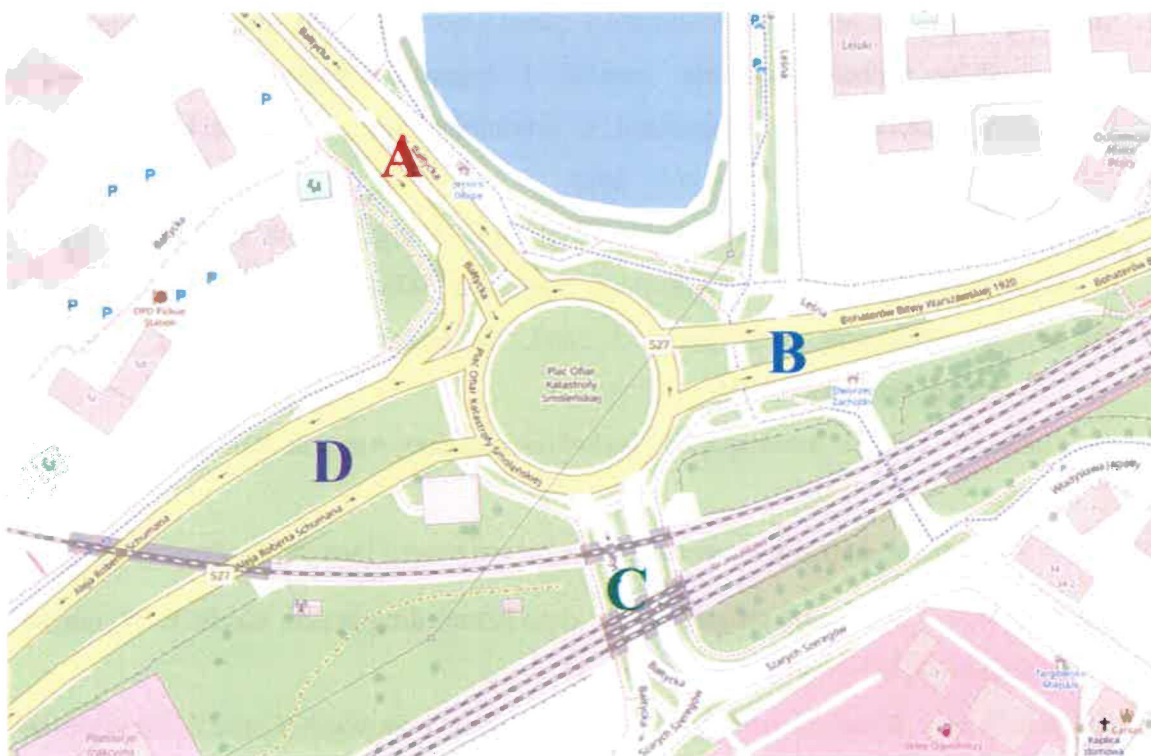
Materiały projektowe, dane przekazane przez Zamawiającego i inne źródła danych stanowią:

- [1] WR-D-31-1 Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych. Część 1: Wymagania podstawowe, Ministerstwo Infrastruktury,
- [2] WR-D-31-2 Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych. Część 2: Skrzyżowania zwykle i skanalizowane, Ministerstwo Infrastruktury,
- [3] WR-D-31-3 Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych. Część 3: Ronda, Ministerstwo Infrastruktury,
- [4] MPZP Olsztyn,
- [5] Programy sygnalizacji świetlnej na sąsiadujących skrzyżowaniach,
- [6] Dane ruchowe z sąsiadujących skrzyżowań z 7 października 2025 r.,
- [7] Mapa sytuacyjno-wysokościowa.

1.3 Oznaczenia przyjęte w opracowaniu

W opracowaniu przyjęto następującą numerację skrzyżowań oraz wlotów (rys. 1.2):

- wlot A: ul. Bałtycka (wlot północny),
- wlot B: ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 / ul. Artyleryjska (wlot wschodni),
- wlot C: ul. Bałtycka (wlot południowy – od strony ul. Szarych Szeregów),
- wlot D: ul. Roberta Schumana (zachodni).



Rys. 1.2. Oznaczenia wlotów na skrzyżowaniu przyjęte na potrzeby analizy.

2. NATEŻENIE RUCHU NA SKRZYŻOWANIU

2.1 Obserwacje funkcjonowania skrzyżowania

Obserwacje funkcjonowania skrzyżowania ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 z ul. Bałtycką i ul. Schumana przeprowadzone w trakcie pomiarów ruchu (październik 2025 r., dzień roboczy) wskazują na następujące problemy:

- wysoki stopień kongestii dla szczytu porannego obserwuje się przede wszystkim na wlocie A ul. Bałtyckiej chwilowe spiętrzenia na wlocie B – ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r. oraz D – ul. Schumana;
- w szczycie popołudniowym najgorsza sytuacja występuje na wlocie wschodnim B – ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r. na którym tworzą się długie kolejki, problematyczna jest także obsługa z wlotu A – ul. Bałtyckiej;
- powyższe oznacza wyczerpanie przepustowości skrzyżowania w obu szczytach komunikacyjnych;
- asekuracyjny styl jazdy kierujących, wpływający na zmniejszenie przepustowości wlotów;
- zakłócenia przebiegu ruchu na jezdni ronda związane:
 - ze zmianą pasa ruchu na jezdni ronda;
 - z wykonywaniem manewrów skrętu w prawo z jezdni wewnętrznej ronda;
 - z blokowaniem wylotów ronda przez pieszych i rowerzystów, w szczególności dotyczy to wylotu A oraz B (zarówno w szczycie porannym jak i popołudniowym).

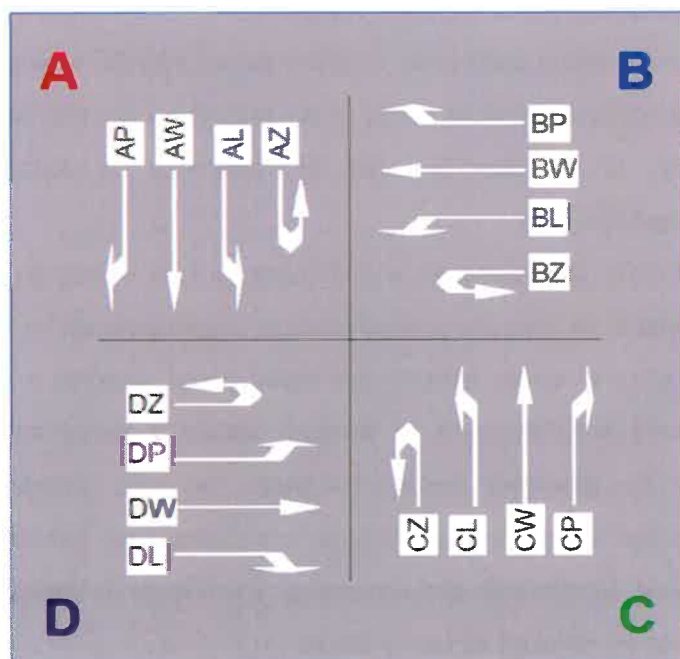
Na przedmiotowym skrzyżowaniu w godzinach szczytu występują okresowe zatory na poszczególnych wlotach. W związku z obowiązującą organizacją ruchu (rondo dwupasowe), kierujący nie zawsze są w stanie zmienić pas ruchu przed zjazdem z ronda, co powoduje występowanie sytuacji konfliktowych w miejscu zjazdu z tarczy ronda oraz chwilowe blokowanie pasów na obwodni ronda. Kierujący, w celu włączenia się do ruchu, niejednokrotnie podejmują ryzykowne decyzje i wykorzystują minimalne luki w potoku nadrzędnym. Generuje to sytuacje niebezpieczne, wynikające z konieczności zwiększenia prędkości wjazdu oraz jej redukcji na tarczy ronda.

2.2 Pomiar ruchu na skrzyżowaniu

Pomiar natężenia ruchu przeprowadzono 7 października 2025 r. (wtorek), w tygodniu bez dni świątecznych i dni wolnych od nauki szkolnej. Pomiar wykonano metodą wideorejestracji ruchu wlotów i tarczy skrzyżowania. Ponadto wykonano ocenę zasięgu kolejek na wlotach cechujących się przeciążeniem w poszczególnych szczytach komunikacyjnych.

Rejestrację ruchu prowadzono w godzinach 6:00 – 9:00 (okres trzygodzinny) oraz 14:00 – 17:00 (trzy godziny), tak aby pomiarem objąć poranny i popołudniowy szczyt komunikacyjny (charakteryzujący się największymi natężeniami i w konsekwencji problemami ruchowymi na skrzyżowaniu) oraz okresy wzrostu i spadku natężenia ruchu.

W pomiarach wyróżniono osiem rodzajów pojazdów (struktura rozszerzona): A – autobusy, O – samochody osobowe, D – pojazdy dostawcze, Sc – ciężarowe, Scp – ciężarowe z przyczepą lub z naczepą, M – motocykle, skutery, R – rowery, Pz – pojazdy zaprzęgowe, maszyny rolnicze i budowlane. Oddzielnie rejestrowano każdą z relacji: L – w lewo, W – na wprost, P – w prawo na każdym z poszczególnych wlotów. Notowano także natężenia ruchu pieszego na przejściach dla pieszych oraz rowerowego na przejazdach dla rowerów w rejonie skrzyżowań. Przyjęto 15 minutowy interwał rejestracji natężeń ruchu.



Rys. 2.1. Schemat oznaczenia poszczególnych relacji na skrzyżowaniu przyjęte na potrzeby analizy.

2.3 Wyniki pomiarów ruchu kołowego

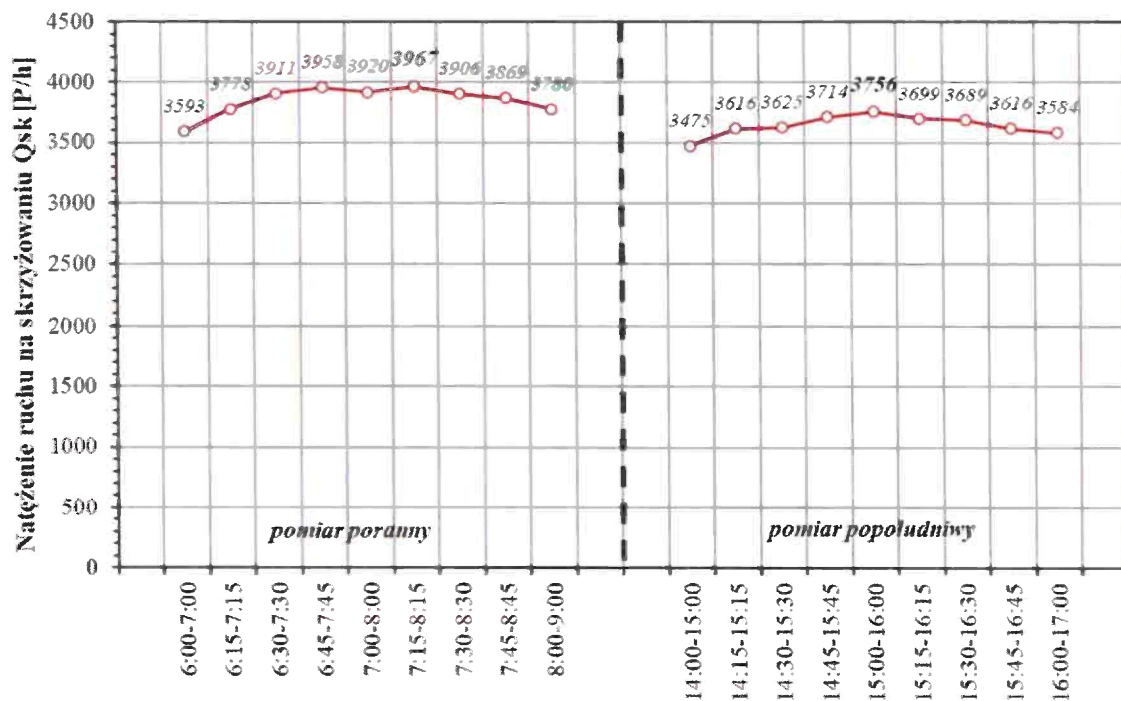
Pomierzone natężenia ruchu w kolejnych interwałach 1h z krokiem 15 minut przedstawiono na kolejnych rysunkach.

Zmienność natężenia ruchu na skrzyżowaniu w kolejnych interwałach (rys. 2.2) jest charakterystyczna dla skrzyżowań przeciążonych i bliskich przeciążeniu. Różnica między największym a najmniejszym zarejestrowanym natężeniem ruchu wynosi 10% (pomijając wyraźnie mniejszy ruch o godzinie 6.00) w szczycie porannym i 6% w szczycie popołudniowym.

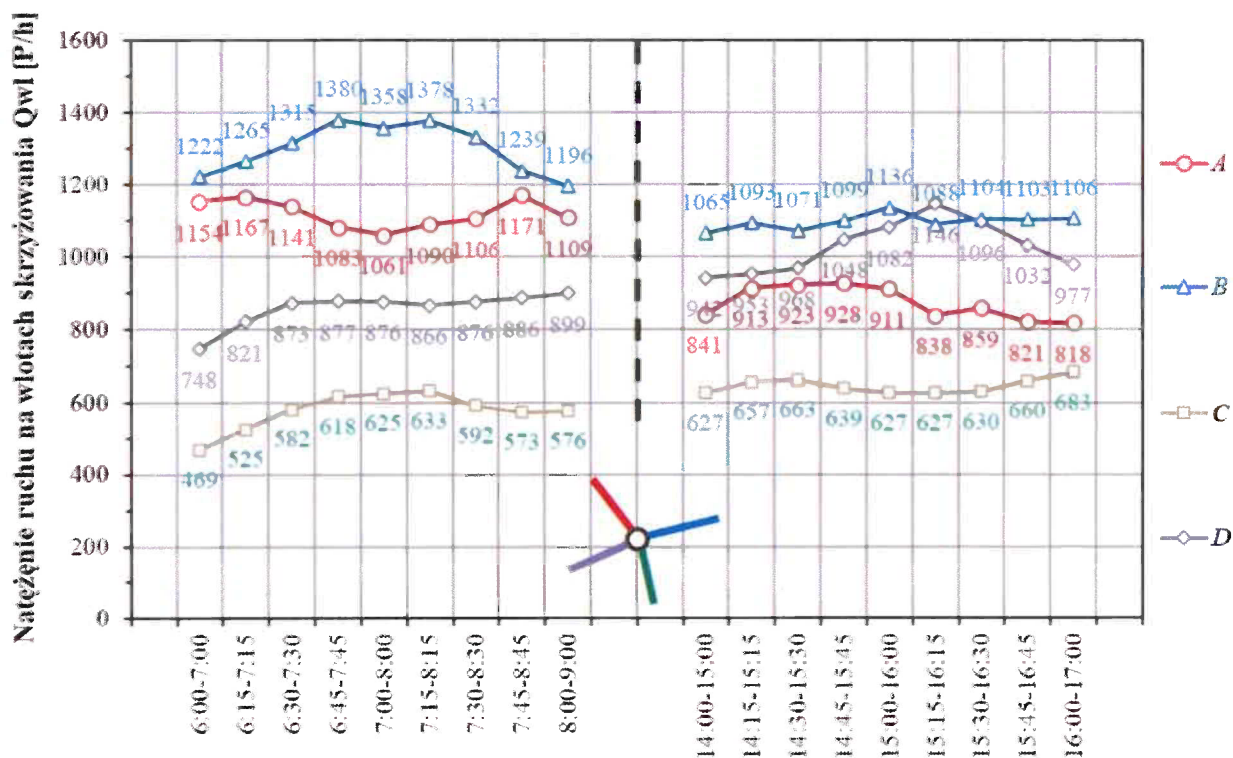
Największe natężenie ruchu zarejestrowano:

- w szczycie porannym między 7:15 a 8:15 – 3967 P/h (4160 E/h),
- w szczycie popołudniowym między 15:00 a 16:00 - 3756 P/h (3853 E/h).

Większe natężenia ruchu i zarazem problemy ruchowe występują w szczycie porannym.

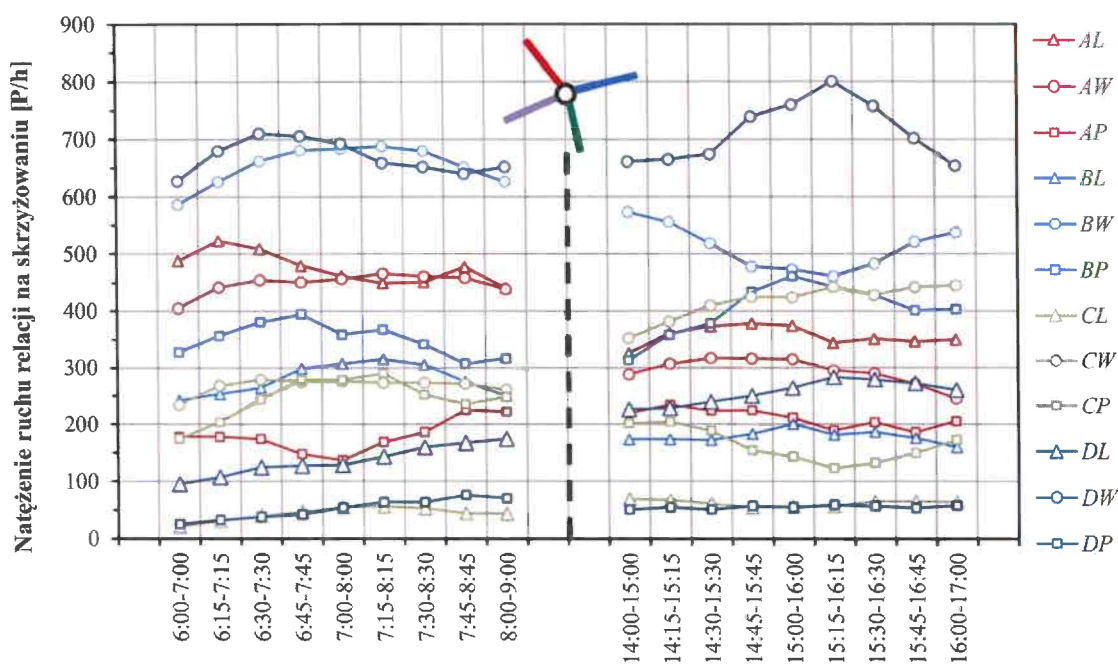


Rys. 2.2. Zmienność natężenia ruchu na skrzyżowaniu w okresie pomiarowym.



Rys. 2.3. Zmienność natężenia ruchu na poszczególnych wlotach Ronda Ofiar Katastrofy Smoleńskiej w okresie pomiarowym.

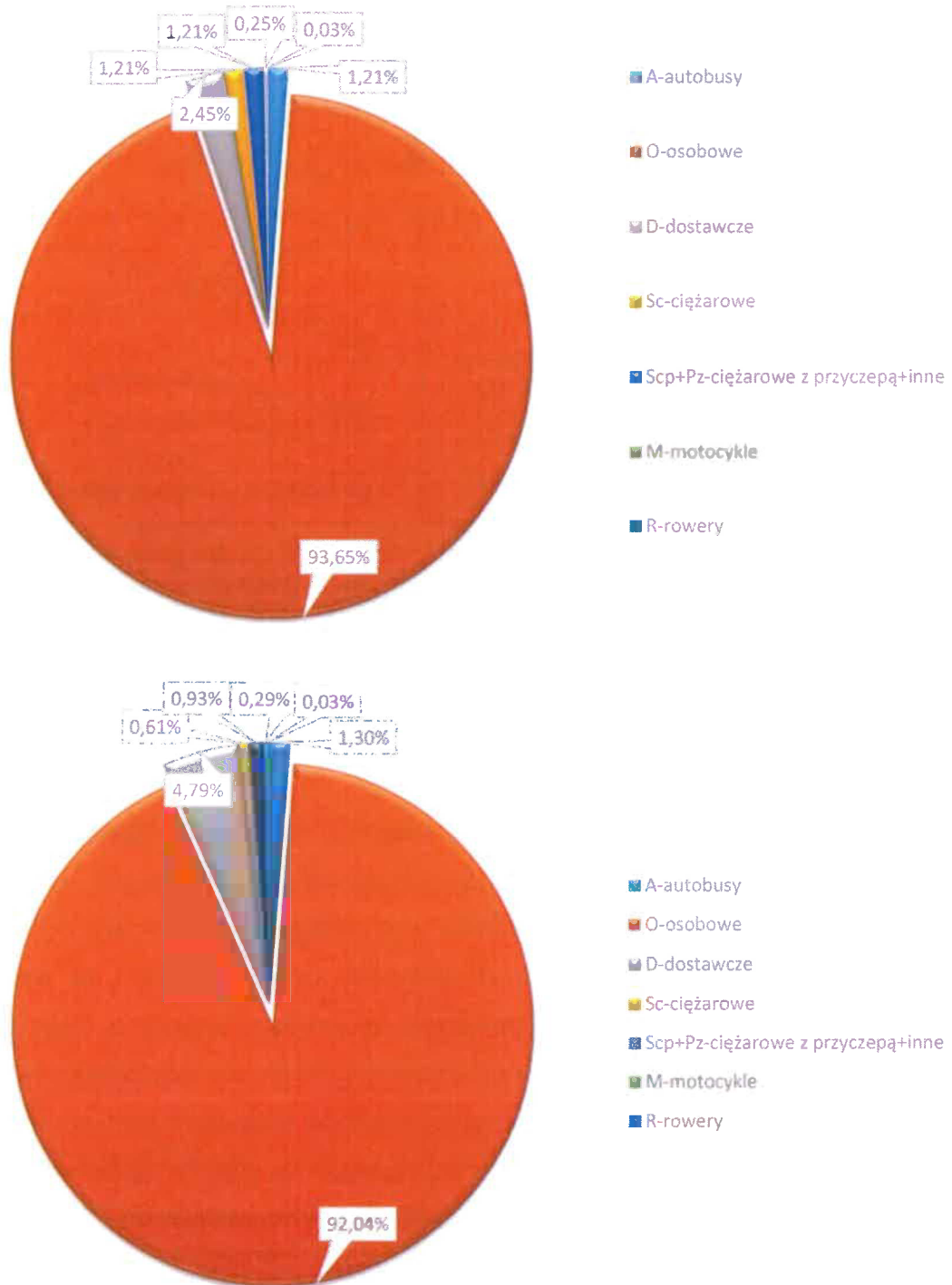
Zmienność ruchu na poszczególnych wlotach przedstawiona na rys. 2.3 w szczycie porannym wskazuje na utrzymywanie się proporcji natężenia ruchu, natomiast w szczycie popołudniowym zauważalny jest wzrost natężenia ruchu na wlocie D ul. Schumana do godziny 15.15. W obu szczytach najbardziej obciążonym wlotem jest ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920. Duże natężenie ruchu obserwowane jest także w szczycie porannym na wlocie ul. Bałtyckiej (A). Zauważalny spadek natężenia ruchu na tym wlocie w ciągu szczytu porannego związany jest zapewne z redukcją przepustowości wynikającą z większego natężenia nadrzędnego z wlotu B – pomiar wskazuje na wielkość przepustowości a nie zapotrzebowanie na przejazd. Wlot południowy ul. Bałtyckiej (C) jest najmniej obciążony w obu szczytach komunikacyjnych (15% ruchu na skrzyżowaniu rano i 18% ruchu popołudniowego).



Rys. 2.4. Zmienność natężenia ruchu na poszczególnych relacji Ronda Ofiar Katastrofy Smoleńskiej w okresie pomiarowym.

Rysunek 2.4 przedstawia zmienność natężenia ruchu poszczególnych relacji na skrzyżowaniu (na wykresach pominięto zawracanie). Dominującymi relacjami na skrzyżowaniu są kierunki na wprost z wlotów wschodniego B i zachodniego D. W szczycie porannym istotny ruchowo jest wlot ul. Bałtyckiej (relacje w lewo i na wprost). Na skrzyżowaniu występuje niewielkie zawracanie (pojedyncze pojazdy w ciągu interwału pomiarowego), przy czym największe wartości zarejestrowano na wlocie południowym C.

Na przedmiotowym skrzyżowaniu udział pojazdów osobowych (w tym mikrobusów) wynosi ponad 92%. Udział pojazdów ciężarowych (autobusy, pojazdy ciężarowe) jest mały – oscyluje w granicach 3% - 4%, natomiast pojazdy dostawcze stanowią od 2 % - 5 % całego ruchu w godzinach szczytu (rys. 2.5).



Rys. 2.5. Struktura rodzajowa na skrzyżowaniu a) szczyt poranny, b) szczyt popołudniowy.

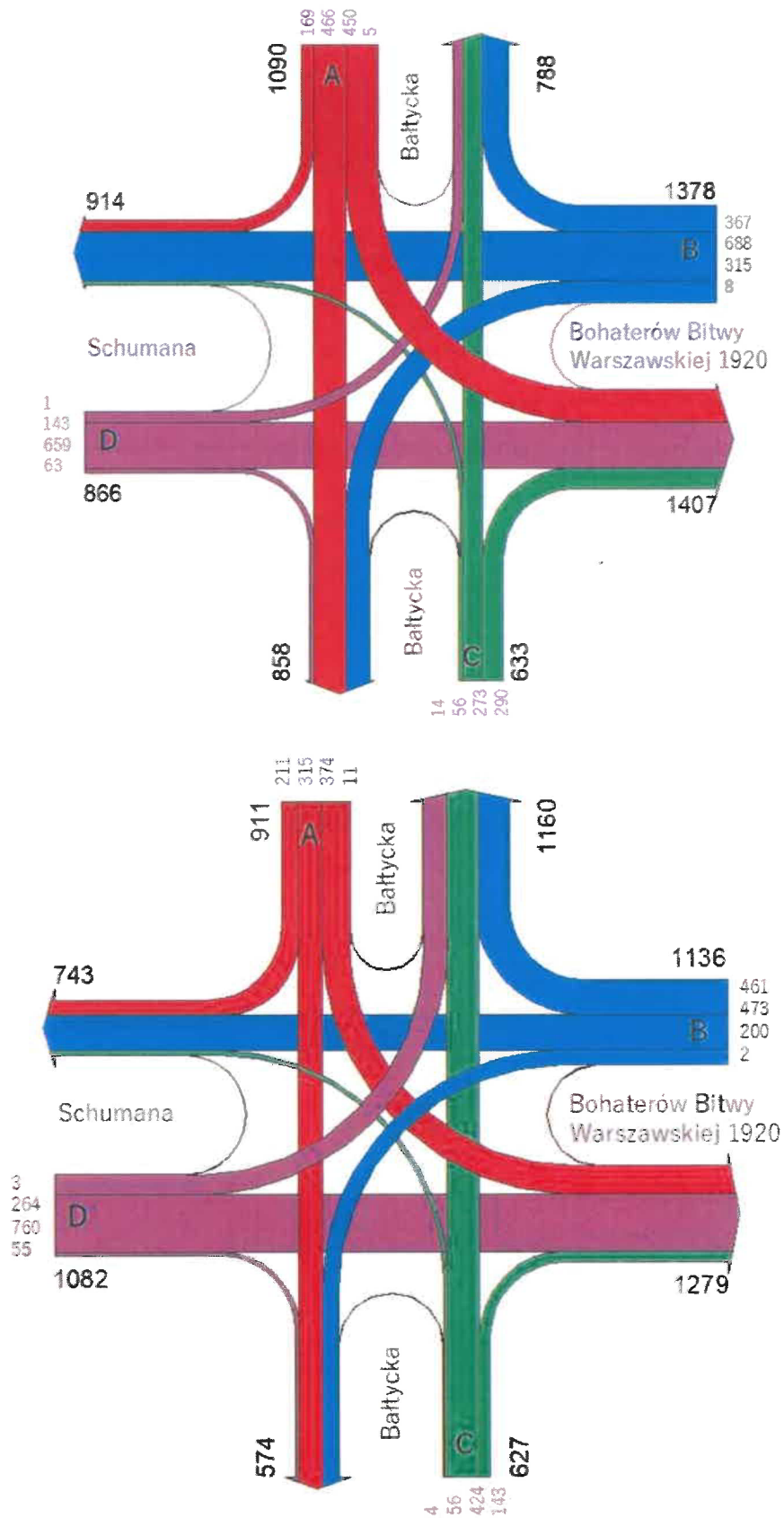
W tabeli 2.1 zestawiono natężenia ruchu z podziałem na relacje dla poszczególnych kierunków na wlotach dla wyznaczonej godziny szczytu. Godzinę szczytu ustalono wg kryterium maksymalnej wartości natężenia ruchu na całym skrzyżowaniu.

Tabl. 2.1. Pomierzone natężenia ruchu w godzinie szczytu na Rondzie Ofiar Katastrofy Smoleńskiej.

| Szczyt poranny 7.15 – 8.15 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------|-----|-----|----|--|-----|-----|-----|--------------------|-----|-----|----|------------------------------------|-----|----|------|
| Wlot | A - Bałtycka (N) | | | | B- Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 (E) | | | | C- Bałtycka (S) | | | | D - al. Roberta Schumana (W) | | | |
| | AL | AW | AP | AZ | BL | BW | BP | BZ | CL | CW | CP | CZ | DL | DW | DP | DZ |
| relacja | AL | AW | AP | AZ | BL | BW | BP | BZ | CL | CW | CP | CZ | DL | DW | DP | DZ |
| Qr [P/h] | 450 | 466 | 169 | 5 | 315 | 688 | 367 | 8 | 56 | 273 | 290 | 14 | 143 | 659 | 63 | 1 |
| Qr [E/h] | 462 | 486 | 188 | 5 | 317 | 728 | 394 | 9 | 59 | 284 | 296 | 14 | 162 | 687 | 67 | 2 |
| Uc | 2% | 4% | 9% | 0% | 0% | 3% | 5% | 25% | 9% | 5% | 0% | 0% | 10% | 3% | 8% | 100% |
| Qwl [P/h] | 1090 | | | | 1378 | | | | 633 | | | | 866 | | | |
| Qwl [E/h] | 1142 | | | | 1447 | | | | 653 | | | | 918 | | | |
| Uc | 3,9% | | | | 2,8% | | | | 2,8% | | | | 4,8% | | | |
| Qsk [P/h] | 3967 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Qsk [E/h] | 4160 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Uc | 3,6% | | | | | | | | | | | | | | | |

| Szczyt popołudniowy 15.00 – 16.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|-----|-----|----|--|-----|-----|-----|--------------------|-----|-----|----|------------------------------------|-----|----|----|
| Wlot | A - Bałtycka (N) | | | | B- Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 (E) | | | | C- Bałtycka (S) | | | | D - al. Roberta Schumana (W) | | | |
| | AL | AW | AP | AZ | BL | BW | BP | BZ | CL | CW | CP | CZ | DL | DW | DP | DZ |
| relacja | AL | AW | AP | AZ | BL | BW | BP | BZ | CL | CW | CP | CZ | DL | DW | DP | DZ |
| Qr [P/h] | 374 | 315 | 211 | 11 | 200 | 473 | 461 | 2 | 56 | 424 | 143 | 4 | 264 | 760 | 55 | 3 |
| Qr [E/h] | 379 | 327 | 224 | 11 | 201 | 488 | 464 | 3 | 59 | 433 | 144 | 4 | 273 | 785 | 58 | 3 |
| Uc | 2% | 5% | 5% | 0% | 1% | 3% | 1% | 50% | 7% | 4% | 1% | 0% | 3% | 3% | 7% | 0% |
| Qwl [P/h] | 911 | | | | 1136 | | | | 627 | | | | 1082 | | | |
| Qwl [E/h] | 941 | | | | 1155 | | | | 640 | | | | 1119 | | | |
| Uc | 3,6% | | | | 1,5% | | | | 3,2% | | | | 3,2% | | | |
| Qsk [P/h] | 3756 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Qsk [E/h] | 3853 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Uc | 2,8% | | | | | | | | | | | | | | | |
| Q – natężenie ruchu odpowiednio (r) – relacji, (wl) – wlotu, (sk) – na całym skrzyżowaniu Uc – udział pojazdów ciężkich (autobusy, ciężarowe, ciężarowe z przyczepą/naczepą, inne wolnobieżne) [P/h] – pojazdy rzeczywiste na godzinę [E/h] – pojazdy umowne (ekwiwalentne - osobowe) na godzinę | | | | | | | | | | | | | | | | |

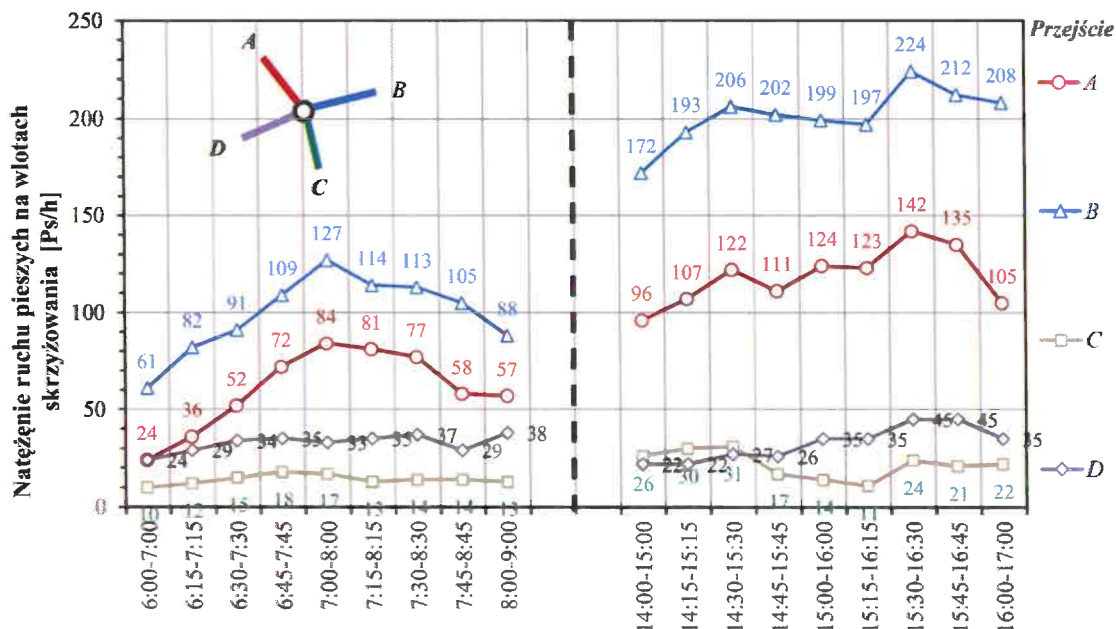
Na rysunku 2.6 przedstawiono rozkład ruchu na skrzyżowaniu w godzinach szczytu komunikacyjnego.



Rys. 2.6. Rozkład ruchu na skrzyżowaniu w godzinie a) szczytu porannego i b) popołudniowego.

2.4 Ruch pieszy

Przejścia dla pieszych w obrębie skrzyżowania obsługują niewielki ruch pieszych, około 250 Ps/h w szczycie porannym i 400 Ps/h w szczycie popołudniowym. Największe natężenie ruchu występuje na wlocie ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r. – ok. 200 Ps/h w szczycie popołudniowym. Zdarzają się chwilowe spiętrzenia ruchu na tarczy ronda spowodowane ruchem pieszym i rowerowym przez wylot A (ul. Bałtycka (N)) oraz B (ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r.), jednak nie wpływa to w sposób istotny na przepustowość całego skrzyżowania. Należy zauważyć, że omawiany obszar położony jest w bezpośrednim sąsiedztwie jeziora i rozległych terenów leśnych, charakteryzujących się dużymi walorami przyrodniczymi i turystycznymi. Otoczenie sprzyja rekreacji, odpoczynkowi i aktywnością na świeżym powietrzu, co w szczególności w okresie wiosennym i letnim oraz w dni wolne od pracy przedkłada się na wzrost ruchu pieszego i rowerowego - również na omawianym skrzyżowaniu, zwłaszcza w szczycie popołudniowym. Ocena tego wpływu jest utrudniona. W analizie przyjęto, że z uwagi na miejski charakter krzyżujących się ulic, wzrostowi ruchu pieszego w okresie wakacyjnym towarzyszyć będzie spadek natężenia ruchu kołowego, charakterystyczny dla większych ośrodków miejskich.



Rys. 2.7. Zmienność natężenia ruchu pieszego na poszczególnych przejściach w okresie pomiarowym.

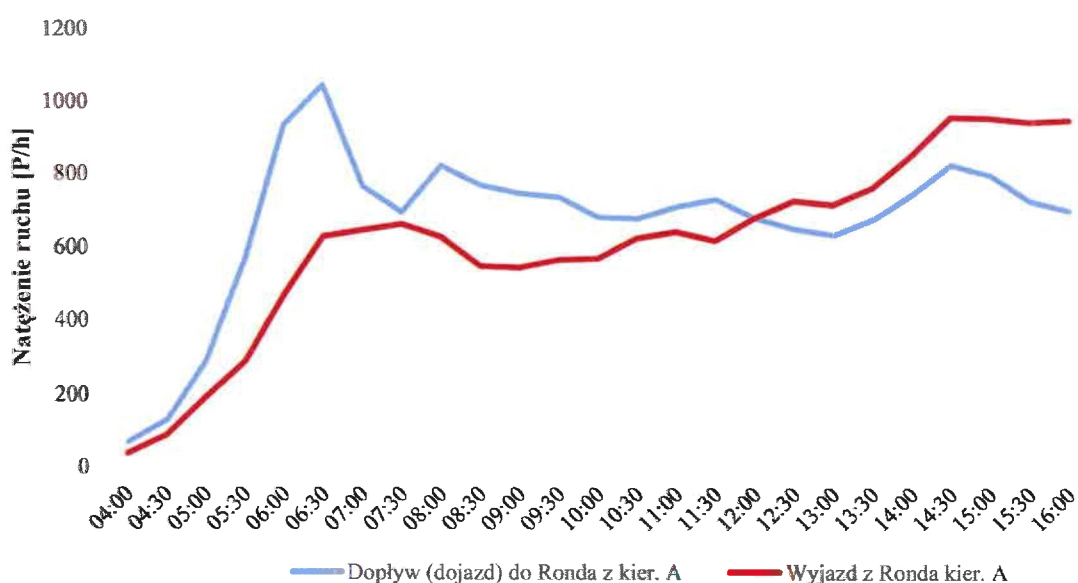
2.6 Analiza porównawcza potoków ruchu z Systemu Sterowania Ruchem

Mając na uwadze występowanie przeciążenia na poszczególnych wlotach Ronda, przeanalizowano wielkości potoków ruchu dopływającego do skrzyżowania pozyskane z Systemu Sterowania Ruchem w Olsztynie, przekazane przez Zamawiającego. Udostępnione wyniki obrazują ruch 7 października 2025 r (wtorek), w okresie o zbliżonych charakterystykach wpływających na wielkość potoków ruchu w obrębie miast i dróg zamiejskich. Analiza porównawcza może wskazać na powtarzalność wyników natężenia ruchu w porównaniu do dnia pomiarowego oraz wskazać sposób narastania kolejek, jeśli skrzyżowania znajdują się poza ich zasięgiem, a dopływ i odpływ między skrzyżowaniami a analizowanym rondem są niewielkie.

Pomiary automatyczne z wykorzystaniem systemu detekcji wymagają kalibracji i okresowej weryfikacji. Z uwagi na specyfikę pomiarową należy mieć na uwadze, że dokładność pomiaru z systemu sterowania ruchem może być ograniczona, dlatego analizę należy traktować jako pomocniczą.

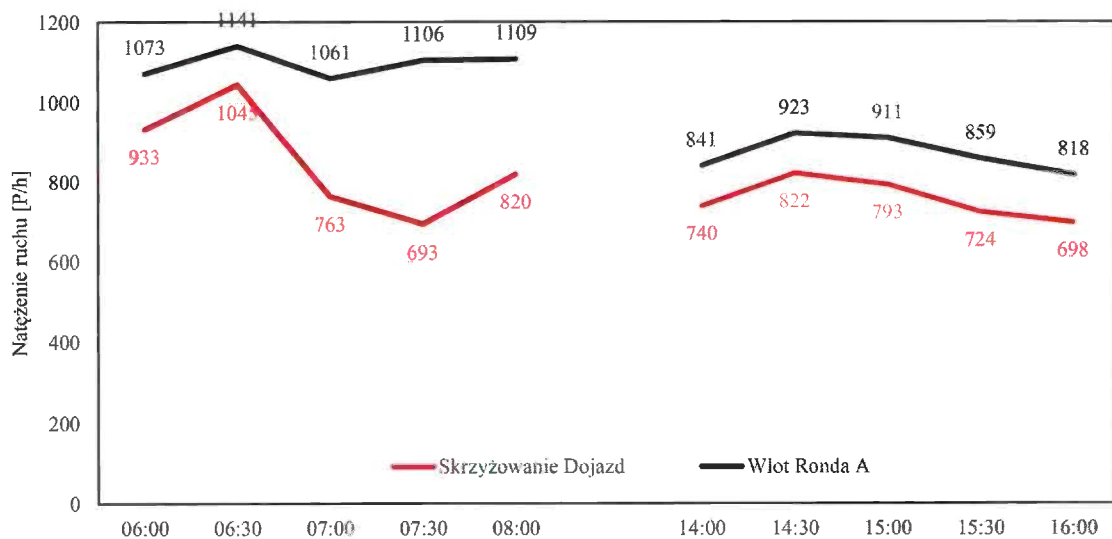
Wlot północny ul. Bałtyckiej – A

Skrzyżowanie znajduje się 1 km od analizowanego Ronda. Pomiędzy skrzyżowaniem a rondem występują punkty dostępności do drogi, w tym skrzyżowania, ale nie mają dużego znaczenia ruchowego, co pozwala założyć, że większość potoku ruchu dojeżdżającego do wlotu ronda i je opuszczającego w kierunku północnym będzie obsługiwane przez skrzyżowanie Bałtycka – Rybaki.

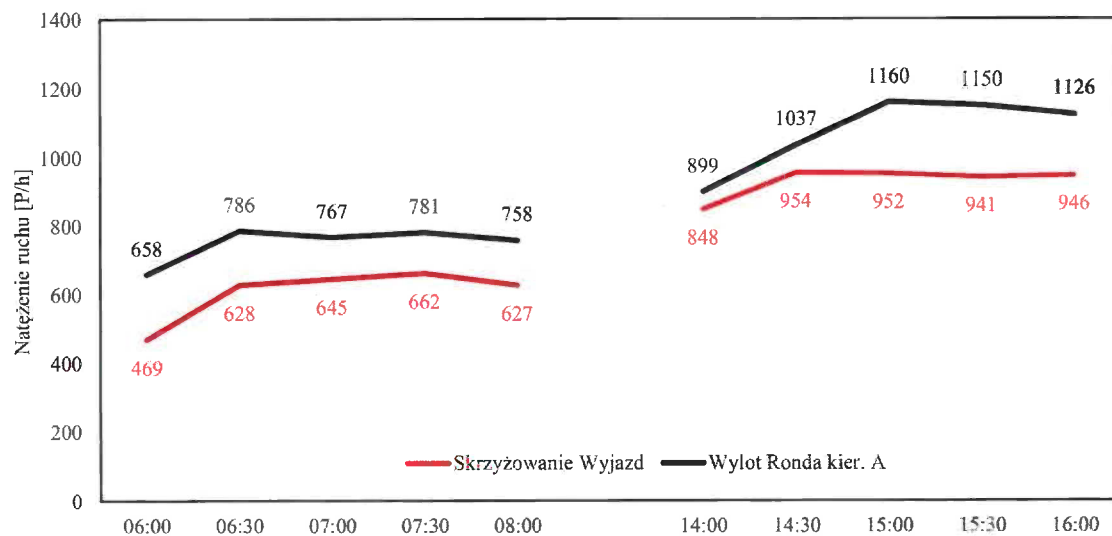


Rys. 2.9. Zmienność natężenia ruchu na skrzyżowaniu Bałtycka – Rybaki (kierunek od i do Ronda).

Zmienność ruchu na skrzyżowaniu wskazuje na największy dopływ o godzinie 6.30 a następnie spadek ruchu w kierunku ronda, który może być podyktowany długimi kolejkami i brakiem przepustowości wlotu. Jednocześnie na rondzie utrzymuje się stały odpływ na poziomie ok. 1100 P/h. W szczycie popołudniowym zmienność ruchu jest zbliżona. Obserwowane podobne większe natężenie ruchu na wlocie i wylocie ronda w stosunku do skrzyżowania może być związane z różnym dniem pomiaru, błędem systemu pomiarowego i odpływem/dopływem pojazdów między skrzyżowaniem a rondem.



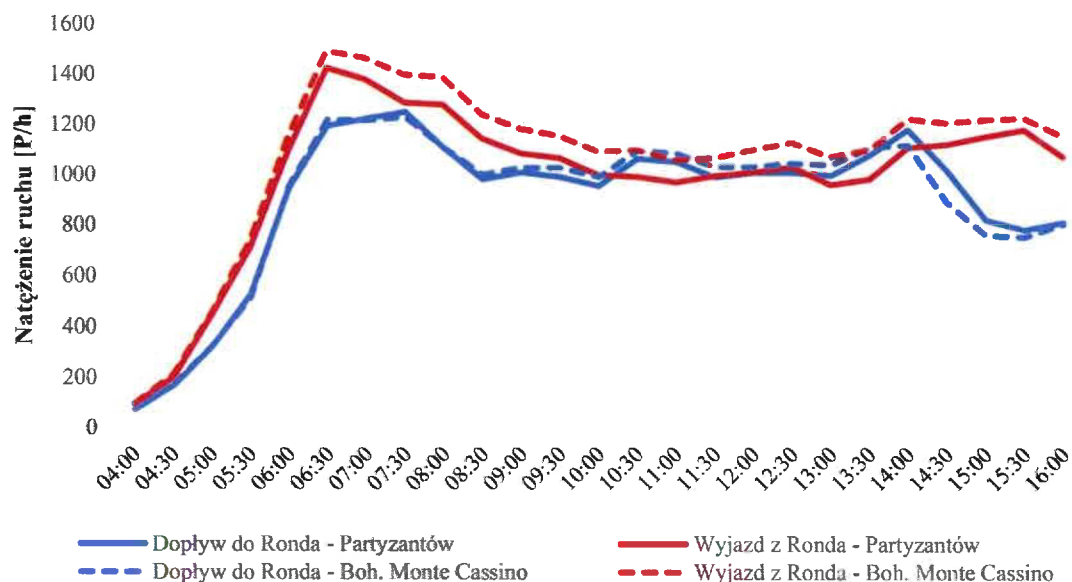
Rys. 2.10. Porównanie natężenia ruchu na skrzyżowaniu Bałtycka – Rybaki z wlotem A Ronda Ofiar Katastrofy Smoleńskiej (kierunek dojazdowy do ronda).



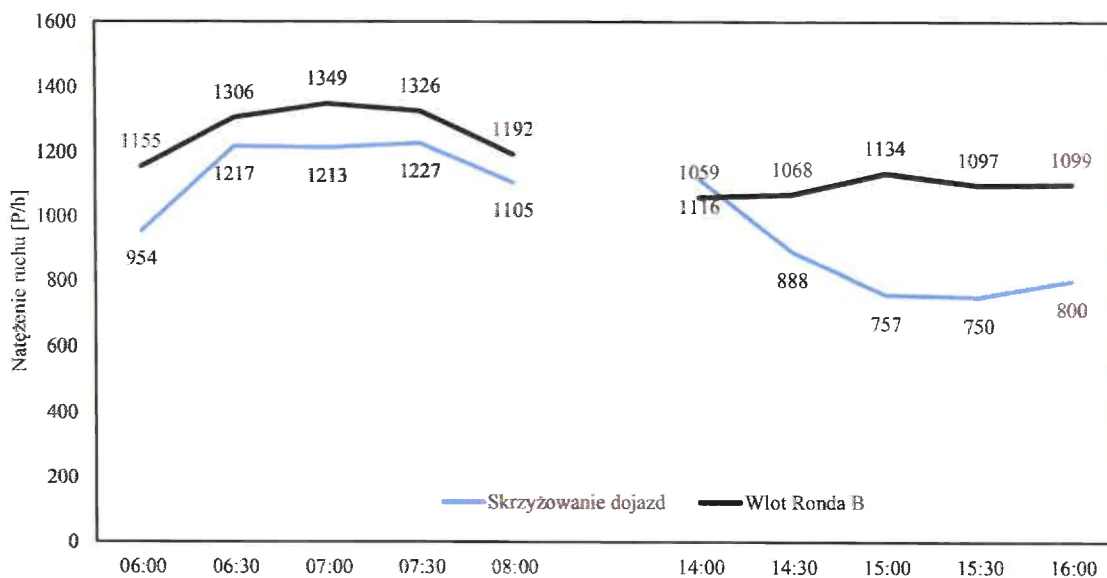
Rys. 2.11. Porównanie natężenia ruchu na skrzyżowaniu Bałtycka – Rybaki z wlotem A Ronda Ofiar Katastrofy Smoleńskiej (kierunek wyjazdowy z ronda).

Wlot wschodni ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 – B

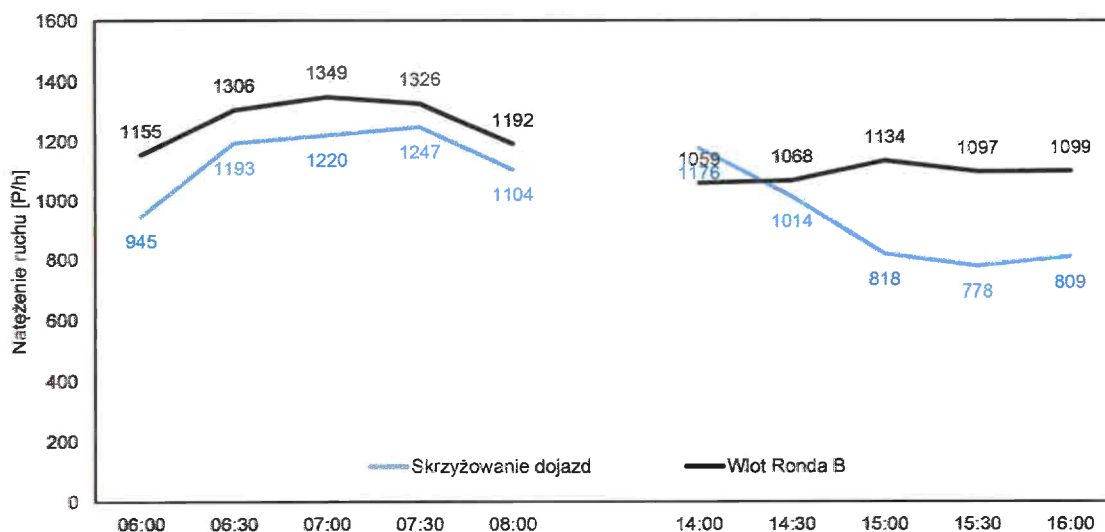
Dla wlotu B porównano natężenia ruchu ze skrzyżowaniem z ul. Bohaterów Monte Cassino oraz z ul. Partyzantów, które znajdują się odpowiednio ok. 350 m i 1 km od wlotu Ronda. Na obu skrzyżowaniach występuje bardzo podobna zmienność natężenia ruchu. Wielkość dopływu utrzymuje się na zbliżonym poziomie od godz. 8.30 do 14.00, natomiast po tej godzinie następuje znaczący spadek natężenia ruchu.



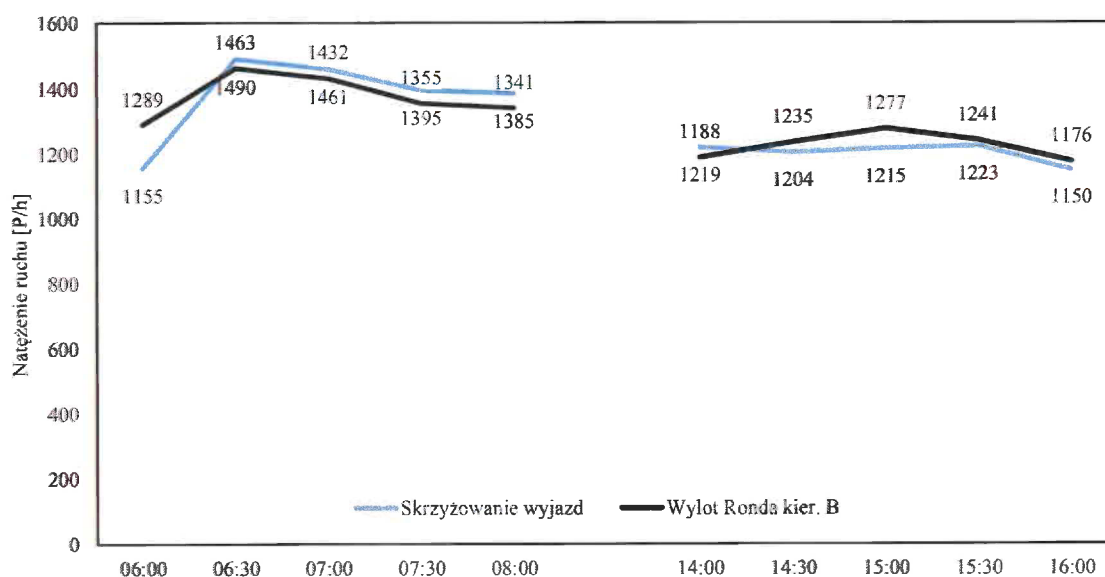
Rys. 2.12. Zmienność natężenia ruchu na skrzyżowaniu Bałtycka – Rybaki (kierunek od i do Ronda).



Rys. 2.13. Porównanie natężenia ruchu na skrzyżowaniu Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 – Bohaterów Monte Cassino z wlotem B Ronda Ofiar Katastrofy Smoleńskiej (kierunek dojazdowy do ronda).



Rys. 2.14. Porównanie natężenia ruchu na skrzyżowaniu Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 – Partyzantów z wlotem B Ronda Ofiar Katastrofy Smoleńskiej (kierunek dojazdowy do ronda).



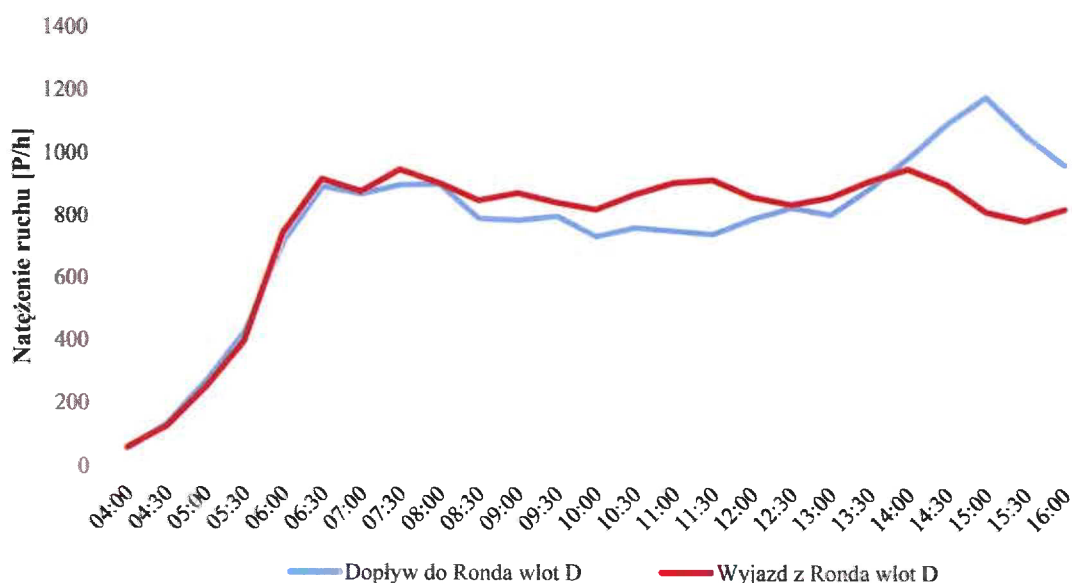
Rys. 2.15. Porównanie natężenia ruchu na skrzyżowaniu Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 – Bohaterów Monte Cassino z wlotem B Ronda Ofiar Katastrofy Smoleńskiej (kierunek wyjazdowy z ronda).

Różnice w ruchu dojazdowym a obsługiwaną liczbą pojazdów przez wlot B w szczycie porannym są zbliżone. Zwiększony przepływ przez wlot może być wynikiem ruchu z ul. Leśnej i ul. Artyleryjskiej lub kalibracji pętli. W szczycie popołudniowym wlot ronda pracuje na zbliżonym natężeniu ruchu rzędu 1100 P/h, natomiast wielkość ruchu dopływającego przez skrzyżowania z ul. Bohaterów Monte Cassino i ul. Partyzantów wyraźnie spada. Może to być związane z objazdem kolejki ul. Leśną i przeciążeniem na całej długości ulicy.

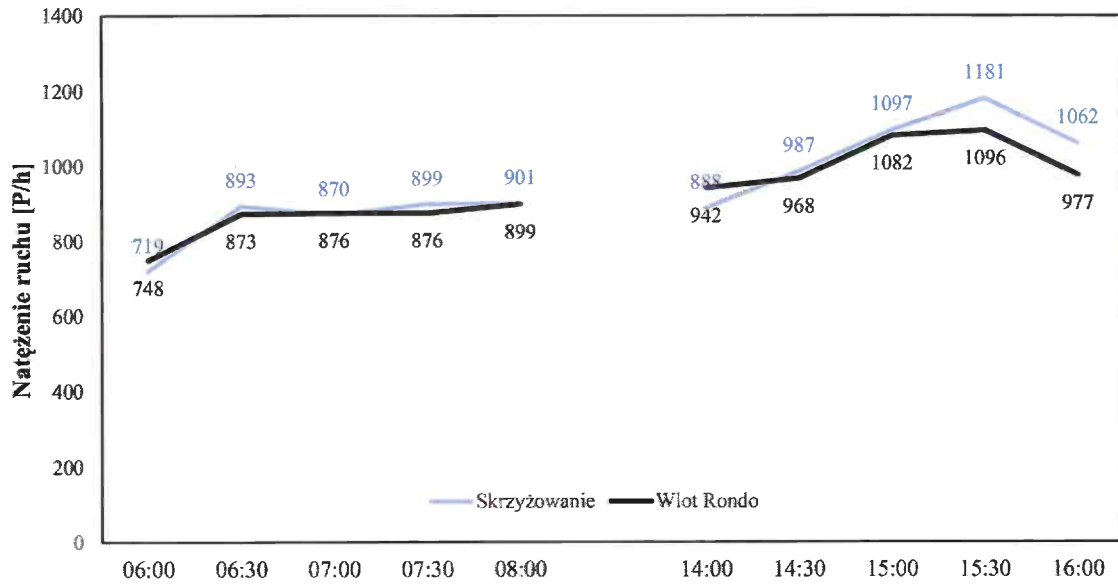
Wlot zachodni ul. R. Schumana – D

Wlot/wylot zachodni Ronda porównano z danymi ze skrzyżowania Sielska – Schumana zlokalizowanym w odległości ok. 650 m od analizowanego ronda. Między skrzyżowaniami nie występują punkty dostępności, które mogłyby wpłynąć na różnice w wielkości potoków ruchu. Stały poziom natężenia ruchu może wskazywać na natężenie bliskie przepustowości wynikającego z przepustowości wlotów ronda. W szczycie popołudniowym wyraźnie wzrasta ruch dopływający do ronda.

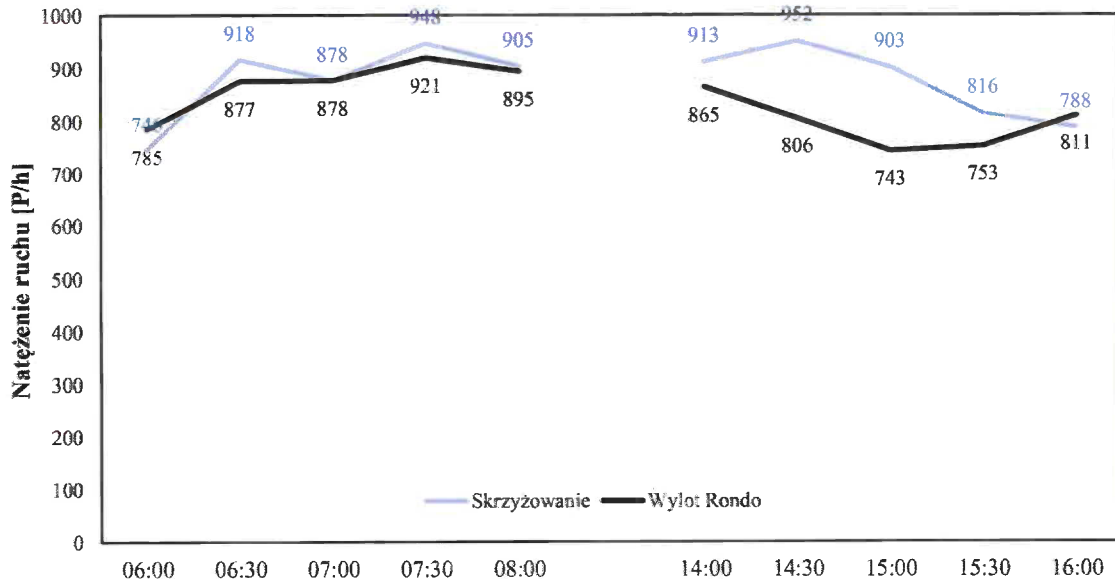
W szczycie porannym zaobserwowano bardzo dużą zgodność między potokami ruchu, co świadczy o zapewnieniu przepustowości w obu kierunkach. W szczycie popołudniowym niezgodność między obserwowanym potokiem zjazdowym z ronda i większym natężeniu na wlocie skrzyżowania nie znajduje wytłumaczenia innego niż specyfika dnia pomiarowego.



Rys. 2.16. Zmienność natężenia ruchu na skrzyżowaniu Sielska – Schumana (kierunek od i do Ronda).



Rys. 2.17. Porównanie natężenia ruchu na skrzyżowaniu Sielska – Schumana z wlotem D Ronda Ofiar Katastrofy Smoleńskiej (kierunek dojazdowy do ronda).



Rys. 2.18. Porównanie natężenia ruchu na skrzyżowaniu Sielska – Schumana z wlotem D Ronda Ofiar Katastrofy Smoleńskiej (kierunek wyjazdowy z ronda).

2.7 Prognoza ruchu na skrzyżowaniu

W celu oszacowania miarodajnego natężenia ruchu, które stanowi podstawę dalszych analiz wzięto pod uwagę:

- przeciążenie części wlotów w okresie pomiarowym,
- ograniczenia przepustowości sieci ulic miasta wpływające na ograniczoną możliwość wzrostu ruchu na układzie drogowym.

W celu uwzględnienia przeciążenia, do pomierzonego natężenia ruchu dodano natężenie ruchu wynikające z długości kolejek na poszczególnych wlotach skrzyżowania. Przyjęto długość stanowiska pojazdu wynoszącego 7,5 m (większa wartość odzwierciedla przemieszczanie się pojazdów w kolejce oraz występowanie lokalnych luk z tym związanych).

Ograniczenia przepustowości sieci oznaczają, że nie ma możliwości swobodnego wzrostu ruchu wynikającego z trendów zmian poziomu motoryzacji. Mając na uwadze te ograniczenia, przyjęto dopuszczalny umowny wzrost natężenia ruchu wynoszący 5%. Największy wzrost ruchu przyjęto: w szczycie porannym dla wlotu północnego ul. Bałtyckiej – 25%, w szczycie popołudniowym – dla wlotu wschodniego B. Udział pojazdów ciężkich pozostawiono bez zmian. Przyjęto także, że nie nastąpią istotne zmiany w zagospodarowaniu w pobliżu ronda, co oznacza brak istotnych zmian w wielkości potoków ruchu pieszego. Prognozowaną wielkość natężenia ruchu prezentuje tabela 2.3 (oznaczenia zgodnie z tab. 2.1).

Tabl. 2.3. Prognozowane natężenia ruchu w godzinie szczytu na Rondzie Ofiar Katastrofy Smoleńskiej.

| Szczyt poranny 7.15 – 8.15 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------|-----|-----|----|---|-----|-----|-----|-------------------|-----|-----|----|------------------------------------|-----|----|------|
| Wlot | A - Bałtycka (N) | | | | B - Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 (E) | | | | C - Łódzka (S) | | | | D - ul. Roberta Schumana (W) | | | |
| | AL | AW | AP | AZ | BL | BW | BP | BZ | CL | CW | CP | CZ | DL | DW | DP | DZ |
| Qr [P/h] | 567 | 587 | 213 | 6 | 340 | 743 | 396 | 8 | 59 | 287 | 305 | 15 | 151 | 697 | 67 | 1 |
| Qr [E/h] | 578 | 610 | 232 | 6 | 340 | 765 | 416 | 9 | 64 | 301 | 305 | 15 | 166 | 718 | 72 | 2 |
| U _c | 2% | 4% | 9% | 0% | 0% | 3% | 5% | 25% | 9% | 5% | 0% | 0% | 10% | 3% | 8% | 100% |
| Qwl [P/h] | 1373 | | | | 1487 | | | | 666 | | | | 916 | | | |
| Qwl [E/h] | 1426 | | | | 1530 | | | | 685 | | | | 958 | | | |
| U _c | 3,90% | | | | 2,80% | | | | 2,80% | | | | 4,80% | | | |
| Qsk [P/h] | 4442 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Qsk [E/h] | 4599 | | | | | | | | | | | | | | | |
| U _c | 3,60% | | | | | | | | | | | | | | | |

| Szczyt popołudniowy 15.00 – 16.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|-----|-----|----|---|-----|-----|-----|----------------------|-----|-----|----|------------------------------------|-----|----|----|
| Wlot | A - Bałtycka (N) | | | | B - Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 (E) | | | | C - Smoleńska (S) | | | | D - al. Roberta Schumana (W) | | | |
| relacja | AL | AW | AP | AZ | BL | BW | BP | BZ | CL | CW | CP | CZ | DL | DW | DP | DZ |
| Qr [P/h] | 393 | 331 | 222 | 12 | 260 | 615 | 599 | 2 | 59 | 445 | 150 | 4 | 296 | 851 | 62 | 3 |
| Qr [E/h] | 401 | 344 | 242 | 12 | 260 | 633 | 629 | 3 | 64 | 467 | 150 | 4 | 326 | 877 | 67 | 6 |
| Uc | 2% | 5% | 5% | 0% | 1% | 3% | 1% | 50% | 7% | 4% | 1% | 0% | 3% | 3% | 7% | 0% |
| Qwl [P/h] | 958 | | | | 1476 | | | | 658 | | | | 1212 | | | |
| Qwl [E/h] | 999 | | | | 1525 | | | | 685 | | | | 1276 | | | |
| Uc | 3,6% | | | | 1,5% | | | | 3,2% | | | | 3,2% | | | |
| Qsk [P/h] | 4304 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Qsk [E/h] | 4485 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Uc | 2,80% | | | | | | | | | | | | | | | |

3. METODOLOGIA ANALIZ WARUNKÓW RUCHU

3.1 Sposób analizy warunków ruchu

Do analiz funkcjonowania wariantów koncepcyjnych przebudowy skrzyżowania wykorzystano kombinację metod analityczno-empirycznych obliczania przepustowości:

- Metodę Obliczania Przepustowości Skrzyżowań z Sygnalizacją świetlną [e]
- Elementy Metody Obliczania Przepustowości Rond [f] zmodyfikowanej na potrzeby rond turbinowych
- oraz metodę symulacyjną przy użyciu programu do mikrosymulacji ruchu drogowego PTV Vissim 2025.

Przyjęto, że metody [e, f], bazując na wynikach obserwacji rzeczywistych skrzyżowań, wskazują na możliwą intensywność przepływu potoku pojazdów przy braku oddziaływania skrzyżowania z otoczeniem. Warunki te odwzorowano w programie Vissim. Następnie zmodyfikowano układ sieci do stanu rzeczywistego, aby oddać wpływ dodatkowych czynników możliwych do zasymulowania (np. sąsiadujące skrzyżowania, ograniczenia powierzchni akumulacyjnych itp.). W symulacji uwzględniono zmienność natężenia ruchu w okresie pomiarowym do oceny zmienności długości kolejki w czasie, natomiast do wyników

końcowych sprawdzenia warunków ruchu założono stały przepływ pojazdów z natężeniem ruchu wynikającym z prognozy ruchu dla godziny szczytu komunikacyjnego.

Analizy obliczeniowe prowadzono dla godziny szczytu porannego (7:15 ÷ 8:15) oraz szczytu popołudniowego (15:00 ÷ 16:00).

3.2 Obliczenia przepustowości i ocena warunków ruchu

Obliczenia przepustowości oraz ocenę warunków ruchu dla stanu istniejącego przeprowadzono wykorzystując Metodę Obliczania Przepustowości Rond [f]. Dla ronda turbinowego wykorzystano następujące założenia modyfikujące ze względu na brak polskiej metody. Do wyznaczenia przepustowości wyjściowej ronda turbinowego o niestandardowych układach pasów ruchu na wlocie i jezdni ronda wykorzystano częściowo metodę niemiecką. Procedura obliczeniowa stanowiła złożenie do spójnej całości następujących elementów:

- przepustowości wyjściowe pasów z dwoma strumieniami nadrzędnymi wyznaczone są ze wzoru Brilona-Wu, uwzględniającego minimalne odstępy międzypojazdowe t_0 oraz parametry modelu akceptacji luk t_f i t_g , a także proporcje obciążenia poszczególnych nadrzędnych pasów ruchu.
- rozkład ruchu na pasy na wlotach przyjęto zakładając wykorzystanie przez relacje mające możliwość wyboru pasa ruchu tak aby wyrównać natężenie ruchu obu pasów (spodziewana niska lub brak rezerwy przepustowości),
- wpływ pieszych na przepustowość wyznaczono wg krajowej metody [5] przyjmując, że natężenie ruchu pieszego nie będzie się zmieniać,
- nie wyznaczano przepustowości rzeczywistej całego ronda ze względu na jego nietypowy układ, podając jedynie wartość umowną,
- straty czasu i PSR wyznaczono wg MOP-R-04 [5],

3.3 Mikrosymulacja ruchu drogowego

Mikrosymulację funkcjonowania skrzyżowania wykonano w programie PTV Vissim. Odwzorowano w nim układ skrzyżowań wraz z odcinkami dojazdowymi. W celu ograniczenia wpływu innych zakłóceń na warunki ruchu, zrezygnowano z tych interakcji (np. zjazdy i wjazdy na drogę), które wprost nie wpływają na funkcjonowanie analizowanego skrzyżowania. Długość odcinków dojazdowych dostosowywano do zasięgu kolejek. W symulacji uwzględniono wlot ul. Leśnej przyjmując szacunkową wielkość potoku ruchu wyjazdowego z ulicy (w szczycie popołudniowym założono spadek natężenia ruchu, jeśli

warunki na ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r. ulegną poprawie). Ruch pieszy przyjęto z podziałem kierunkowym przejść 50/50, zakładając wielkość potoku z godziny szczytu. Ruch rowerowy został włączony do potoku pieszych z uwagi na znikome natężenie tej formy przemieszczania się. Udział pojazdów ciężkich przyjęto odrębnie dla każdego z wlotów.

Mikrosymulacja ruchu nie pozwala wprost wyznaczyć przepustowości pasów ruchu i wlotów, natomiast daje możliwość szacowania miar oceny warunków ruchu (strat czasu, zatrzymań, zużycia paliwa itp.). W celu oszacowania przepustowości, symulowano ruch z założeniem przeciążenia poszczególnych kierunków ruchu.

Kalibrację przeprowadzono do metody obliczania przepustowości:

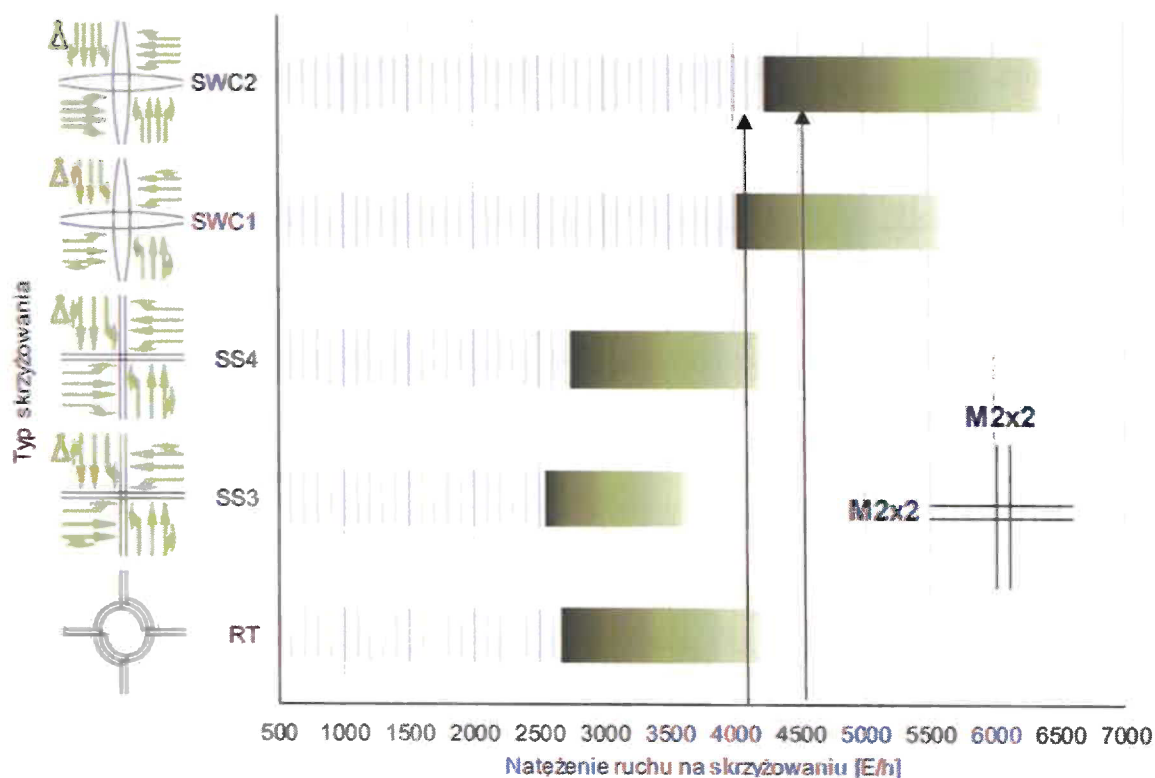
- w przypadku rond przyjmując odzwierciedlenie granicznych odstępów czasu t_g (zmniejszone ze względu na analizę luk a nie odstępów),
- w przypadku skrzyżowań dostosowując natężenie nasycenia potoku ruchu do teoretycznych wartości zależnych od geometrii układu drogowego.

Z uwagi na uwzględnienie szeregu dodatkowych efektów (np. krótkie pasy ruchu), wyniki symulacji przyjęto za wiążące wyniki analiz.

4. KONCEPCJE PROJEKTOWE

Podstawowym celem opracowania było zaproponowanie rozwiązania skrzyżowania, które usprawni ruch na wlotach cechujących się wyczerpaniem przepustowości (przede wszystkim północnym A i wschodnim B).

Zgodnie z WR-D-31-1 [1] wielkość potoków ruchu wskazuje, że typowe rozwiązania projektowe nie będą wystarczające przy natężeniu ruchu rzędu 4000 – 4500 E/h. Pewne szanse na sprawne funkcjonowanie skrzyżowania daje prawidłowo zoptymalizowane skrzyżowanie wyposażone w sygnalizację świetlną, natomiast formy rond turbinowych mają nikłe szanse spełnienia kryterium przepustowości i warunków ruchu (rys. 4.1). Zalecaną efektywną formą skrzyżowania może być wyspa centralna, przy czym uwarunkowania projektowe nie pozwalają na zastosowanie klasycznej formy skrzyżowania o rozsuniętych wlotach i wylotach z wyspą centralną (obecność wiaduktów, przejść podziemnych, przepompowni).



Rys. 4.1. Porównanie wielkości mierzonego i prognozowanego natężenia ruchu z możliwościami przepustowymi standardowych typów skrzyżowań.

Przyjęto, że teren niezabudowany infrastrukturą krytyczną (linie kolejowe, obiekty mostowe, przepompownie itp.) jest dostępny do projektowania. Założono możliwości przekształceń przekrojów ulic dojazdowych w ograniczonym zakresie wynikającym z zagospodarowania. Założono, że zawracanie na skrzyżowaniu nie jest niezbędną relacją i może zostać ograniczone lub zupełnie uniemożliwione.

W toku prac zaproponowano trzy podstawowe warianty wynikające z typu skrzyżowania:

- Przekształcenie istniejącego skrzyżowania do ronda turbinowego,
- Przebudowę do postaci skrzyżowania z sygnalizacją świetlną,
- Skrzyżowanie z sygnalizacją z powierzchniami akumulacyjnymi.

W toku analiz warianty poszczególnych typów skrzyżowań opracowywano w kolejnych podwariantach, między którymi mogą występować większe lub mniej istotne różnice. Wynika to z procesu optymalizacyjnego w trakcie prac analitycznych i projektowych oraz umożliwienia ocenę Zamawiającemu w przypadkach dyskusyjnych (ograniczenia relacji, konieczność zmiany układu funkcjonowania ulic). Część rozwiązań może być także stosowana zamiennie w poszczególnych wariantach.

Z uwagi na cel analiz oraz stosunkowo duży dostępny niezagospodarowany teren w otoczeniu skrzyżowania, w ramach analiz projektowych pominięto szereg czynników, które

powinny być brane na etapie projektowania szczegółowego (np. wpływ infrastruktury podziemnej, ochronę roślinności itp.). Nie projektowano także bardzo szczegółowo detali rozwiązań infrastruktury towarzyszącej, a podstawowe parametry projektowe (szerokości pasów ruchu, promienie skrętu itp.) przyjmowano jako standardowe. Koncepcje dołączone do niniejszego opracowania mają wyłącznie charakter poglądowy, prezentując ogólną ideę formy skrzyżowań (układ pasów ruchu, szacunkowa zajętość terenu), które po wyborze wariantu mogą stanowić podstawę do dalszych prac projektowych.

4.1 Rondo turbinowe

Koncepcje projektowe

Przebudowa do postaci ronda turbinowego ma za zadanie uporządkować ruch na rondzie, przyczyniając się do poprawy bezpieczeństwa ruchu i punktowej poprawy przepustowości skrzyżowania. Mając na uwadze szacunkowe wielkości przepustowości rond turbinowych (ok. 3500 E/h dla klasycznych rozwiązań) nie należy się spodziewać, aby ta forma skrzyżowania pozwoliła na znacząca poprawę sytuacji. Poza tym struktura kierunkowa w obu szczytach komunikacyjnych dla ronda jest niekorzystna. W związku z powyższym wypracowano warianty, które dają szansę na zmianę sytuacji ruchowej na skrzyżowaniu, a jednocześnie będą bezpieczniejsze od ronda wielopasowego (obecnie nie projektuje się już tego typu rozwiązań [c]). Rozwiązanie to w założeniach jest najtańsze i będzie wymagało najmniejszej ingerencji w układ drogowy. Układ pasów ruchu przedstawiono w tabeli 4.1.

Tabl. 4.1. Układ pasów ruchu na rondzie turbinowym.

| A | B | C | D |
|---|-----------------------------|---------------|----------------|
| 3 pasy | 3 pasy | 2 pasy | 2 pasy |
| Lewo | Lewo + Prosto | Lewo + prosto | Lewo + Prosto |
| Prosto + Lewo | Prosto + Prawo ¹ | Prawo | Prosto + Prawo |
| Prawo za jezdnią ronda | Prawo za jezdnią ronda | - | - |
| 1 – zakłada się brak wykorzystania ruchowego pasa do skrętu | | | |
| 2 – możliwość dodania pasa w prawo poza jezdnią ronda | | | |

Układ pasów wynika z następujących założeń i ograniczeń projektowych:

- na jezdni ronda nie ma dopuszczonego przecinania się strumieni ruchu,
- maksymalna dopuszczalna liczba nadrzędnych pasów ruchu na jezdni ronda wynosi dwa,
- w pierwszej kolejności należy zapewnić sprawny przejazd najbardziej obciążonych relacji (BW, AW, AL, BL),
- na jezdni ronda zastosowane są separatory oddzielające pasy ruchu,

- wykorzystanie istniejących jezdni – minimalizacja robót budowlanych.

Takie przeznaczenie pasów ruchu jest dostosowane do głównych dominujących natężeń ruchu kierunku wschód-zachód – BW i DW (1/3 całego potoku ruchu na skrzyżowaniu). Wadą rozwiązania jest prowadzenie dużego ruchu na wprost z wlotu północnego ul. Bałtyckiej (A) jednym pasem ruchu (inaczej nie jest możliwe utrzymanie bezpiecznej formy wjazdu na jezdnię ronda). Układ pasów ruchu preferuje obsługę wlotu wschodniego B, dla którego problemy ruchowe występują przede wszystkim w szczycie popołudniowym, natomiast nie będzie stanowić poprawy dla wlotu północnego.

Przyjęty układ ronda wymaga rozwiązania kwestii obsługi wlotu ul. Leśnej. Zapewnienie możliwości wyjazdu z ul. Leśnej w każdej relacji oraz trzypasowy przekrój ulicy Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r. wskazują konieczność zastosowania sygnalizacji świetlnej w celu zapewnienia bezpieczeństwa ruchu. Rozwiązanie to powinno także sprzyjać poprawie przepustowości wlotu północnego poprzez wzrost filtrowania potoku nadrzędnego w szczycie porannym. Na wlocie północnym założono, że przekrój dwupasowy powinien pozostać w rejonie przełączki do ul. Bałtyckiej – bocznej.

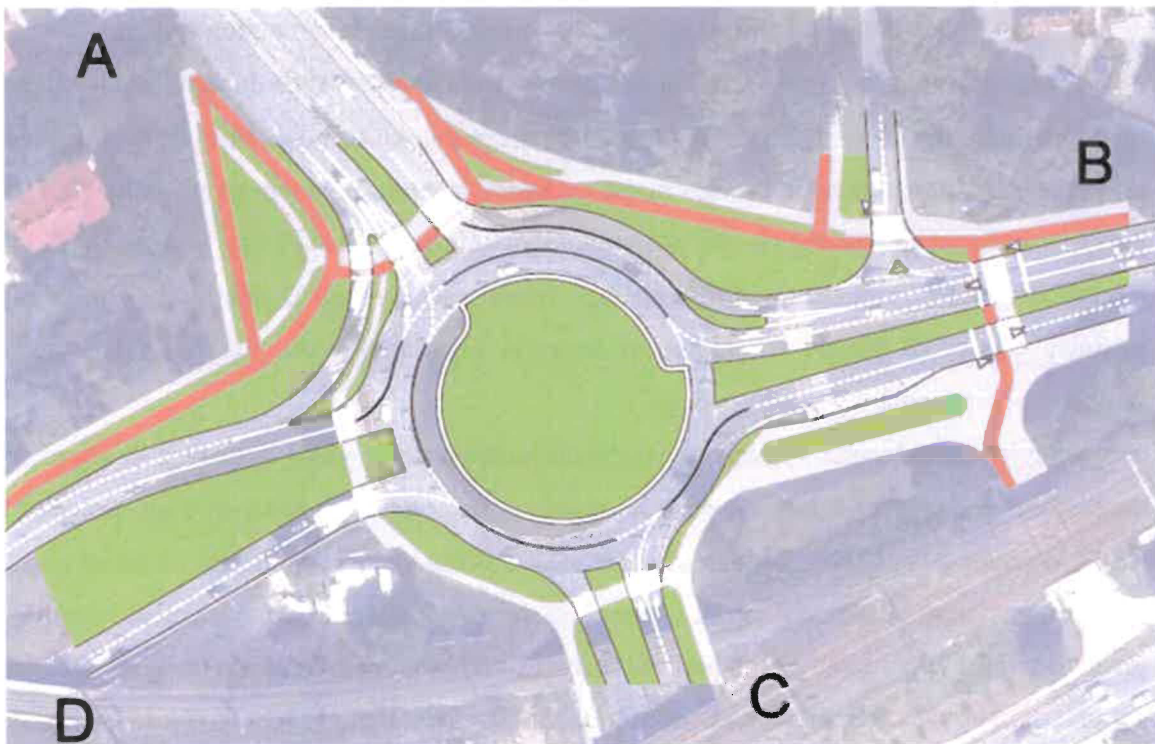
Podstawowe parametry ronda turbinowego wynoszą:

- szerokość pasów ruchu na jezdni ronda – 5,0 m,
- średnica zewnętrzna ronda – 82 m/92 m,
- szerokość pasów ruchu na wlotach – 3,5 m

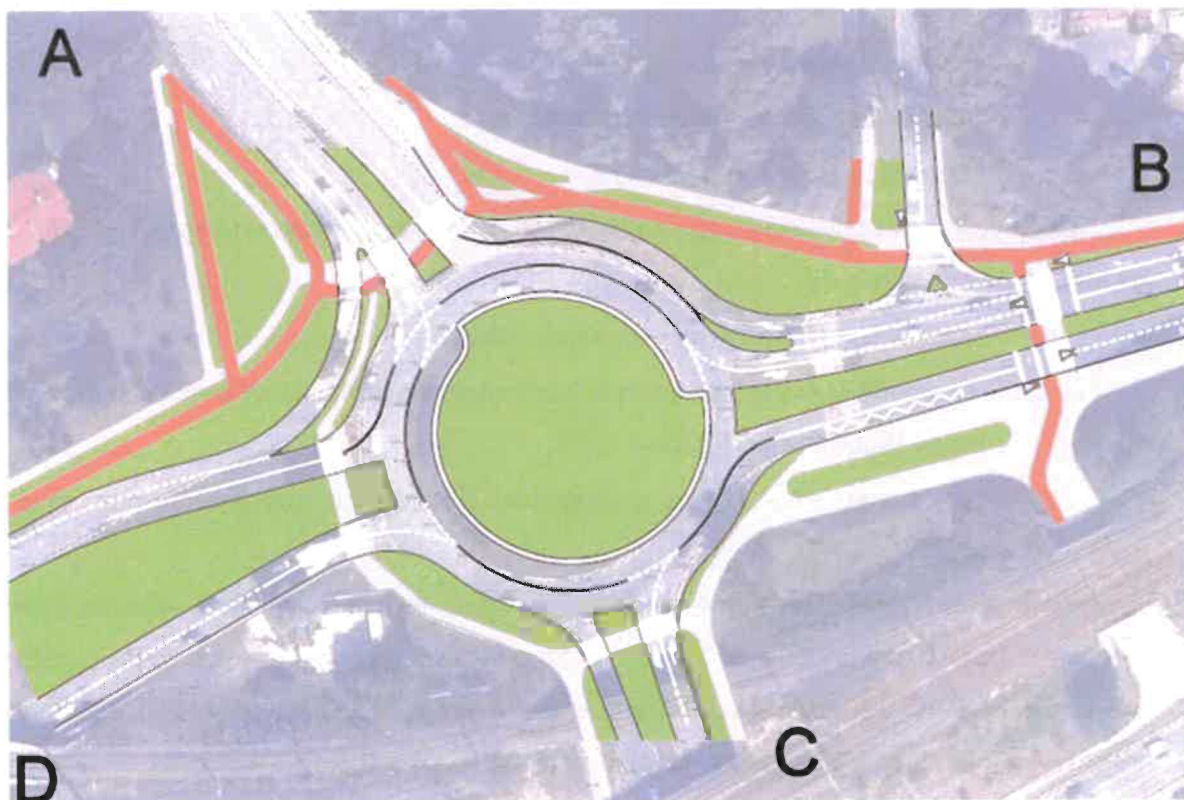
Geometrię ronda przedstawiono na rys. 4.2 – 4.4 w podziale na podwarianty, które różnią się nieznacznie między sobą:

- 1a – wariant podstawowy – zgodnie z tab. 4.1;
- 1b – podwariant 1a - przystanek autobusowy na jezdni na wylocie ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r.;
- 1c – wariant alternatywny z przejściem dla pieszych bezpośrednio przy wlocie ronda.

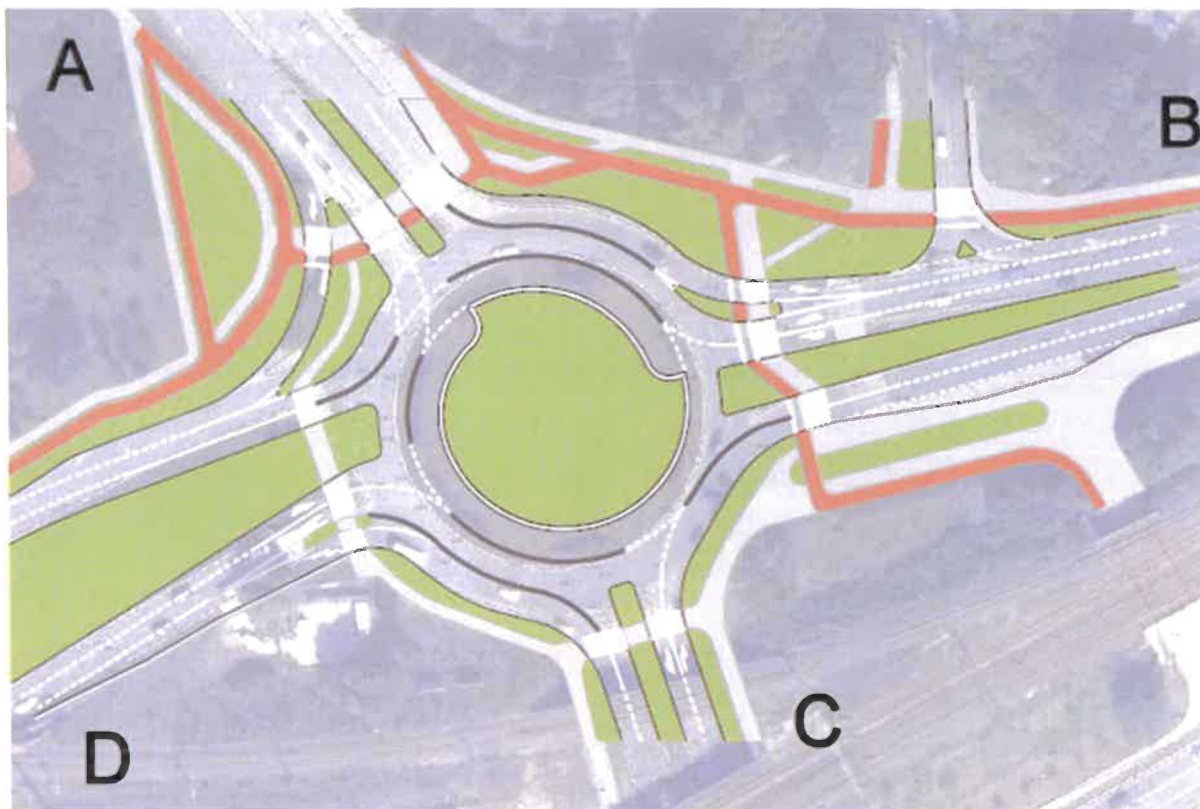
Ruch pieszy prowadzony jest maksymalnie przez dwa pasy ruchu w obrębie ronda (dopuszczalne po aktualizacji [c] w 2025 r.), co wymusza segregację pasów do skrętu w prawo wyspą dzielącą. W wariantcie 1a z uwagi na układ pasów ruchu wylot ul. R. Schumana projektowany jest jako jednopasowy. Można także rozważyć wykonanie przystanku transportu zbiorowego na wylocie ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r. zarówno w zatoce przystankowej jak i na jezdni.



Rys. 4.2. Wariant 1a – Podstawowa koncepcja ronda turbinowego



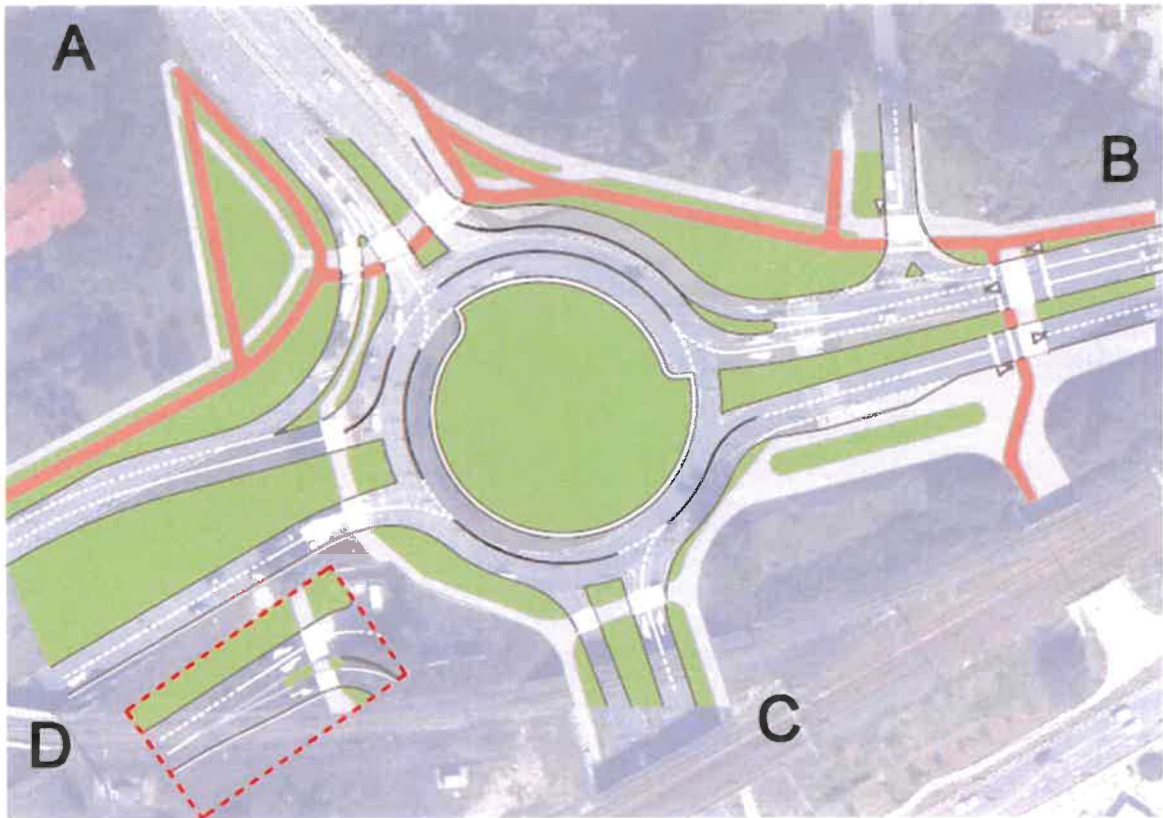
Rys. 4.3. Wariant 1b – Podwariant 1a – przystanek autobusowy na jezdni.



Rys. 4.4 Wariant 1c - Koncepcja ronda turbinowego z przejściami dla pieszych przy tarczy ronda.

Analizy ruchowe

Mając na uwadze niskie szanse na spełnienie kryterium przepustowości, analizę funkcjonowania skrzyżowania w postaci ronda turbinowego przeprowadzono dla postaci największej rozbudowy wlotów, tj. z wydzieleniem pasa ruchu na wlocie ul. Schumana. Metodę obliczeniową opisano w rozdziale 3.2. Należy zaznaczyć, że metoda obliczeniowa bazuje na wynikach empirycznych niewielkiej liczby rond w kraju, w dodatku o mniejszej średnicy ronda.



Rys. 4.5 Schemat analizowanego ronda turbinowego – wariacja wariantu 1a i 1c przyjęta do analiz symulacyjnych.

Tabl. 4.2. Wyniki analiz przepustowości metodą analityczną.

| Szczyt poranny | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------|---------------------------|-----|--|
| pas | Q [P/h] | Q _z [P/h] | Q _w [P/h] | C _o ¹ [E/h] | f _p [-] | f _c [-] | C _m [P/h] | X [%] | d ^{2,3} [s/P] | PSR | |
| A 1 AP | 213 | 601 | 0 | 654 | 0,95 | 0,98 | 609 | 35% | 14,1 | I | |
| A 1 AWL | 587 | 601 | 542 | 368 | 0,95 | 0,96 | 336 | 175% | 1383 | IV | |
| A 2 AL | 567 | 601 | 542 | 368 | 0,95 | 0,98 | 343 | 165% | 1219 | IV | |
| B 1 BP | 396 | 0 | 0 | 1230 | 0,95 | 0,95 | 1113 | 36% | 10,0 | I | |
| B 2 BWP | 542 | 151 | 0 | 1197 | 0,95 | 0,97 | 1104 | 49% | 11,4 | I | |
| B 3 BWL | 542 | 151 | 0 | 1197 | 0,95 | 0,98 | 1109 | 49% | 11,3 | I | |
| C 1 CP | 305 | 488 | 0 | 747 | 0,97 | 1,00 | 725 | 42% | 13,6 | I | |
| C 2 CWL | 346 | 488 | 776 | 310 | 0,97 | 0,94 | 284 | 122% | 474 | IV | |
| D 1 DP | 67 | 0 | 0 | 1230 | 0,95 | 0,99 | 1157 | 6% | 8,3 | I | |
| D 2 DW | 560 | 927 | 0 | 425 | 0,97 | 0,96 | 396 | 141% | 787 | IV | |
| D 3 DWL | 288 | 927 | 567 | 223 | 0,97 | 0,96 | 208 | 138% | 772 | IV | |
| Szczyt popołudniowy | | | | | | | | | | | |
| pas | Q [P/h] | Q _z [P/h] | Q _w [P/h] | C _o ¹ [E/h] | f _p [-] | f _c [-] | C _m [P/h] | X [%] | d ^{2,3} [s/P] | PSR | |
| A 1 AP | 222 | 497 | 0 | 739 | 0,92 | 0,98 | 667 | 33% | 13,1 | I | |
| A 1 AW | 361 | 497 | 438 | 476 | 0,93 | 0,96 | 426 | 85% | 54,5 | III | |
| A 2 AL | 363 | 497 | 438 | 476 | 0,93 | 0,98 | 434 | 84% | 50,9 | III | |
| B 1 BP | 599 | 0 | 0 | 1230 | 0,91 | 0,95 | 1066 | 56% | 12,7 | I | |
| B 2 BWP | 438 | 296 | 0 | 1033 | 0,91 | 0,97 | 913 | 48% | 12,6 | I | |
| B 3 BWL | 438 | 296 | 0 | 1033 | 0,91 | 0,98 | 917 | 48% | 12,5 | I | |
| C 1 CP | 150 | 596 | 0 | 659 | 0,96 | 1,00 | 633 | 24% | 12,5 | I | |
| C 2 CWL | 504 | 596 | 648 | 323 | 0,96 | 0,94 | 293 | 172% | 1347 | IV | |
| D DP | 62 | 0 | 0 | 1230 | 0,95 | 0,99 | 1157 | 5% | 8,3 | I | |
| D 1 DW | 689 | 591 | 0 | 662 | 0,97 | 0,96 | 617 | 112% | 265 | IV | |
| D 2 DWL | 458 | 591 | 393 | 446 | 0,97 | 0,96 | 416 | 110% | 264 | IV | |

1 – metoda nie uwzględniła ograniczenia dopływu strumienia nadrzędnego na skutek przeciążenia wlotów
 2 – straty czasu przy przeciążeniu są mogą być obciążone dużym błędem bezwzględnym,
 3 – straty czasu nie uwzględniają efektu krótkiego pasa ruchu

Oznaczenia przyjęte w tab. 4.2:

Q – przyjęte do obliczeń natężenie ruchu na pasach wlotu ronda [P/h] (prognozowane),

Q_z, Q_w – natężenie nadrzędne na jezdni ronda odpowiednio na pasie zewnętrznym i wewnętrznym [P/h],

f_i – współczynniki korygujące (p - wpływ pieszych na wlotach i c - pojazdów ciężkich)

C_o – przepustowość wyjściowa pasa ruchu na wlocie [E/h] (pomija wpływy dodatkowe),

C_m – przepustowość możliwa wlotu ronda [P/h],

d – średnie straty czasu przypadające na pojazd dla pasa/wlotu [s/P],

X – stopień wykorzystania przepustowości pasów ruchu [-],

PSR – poziom swobody ruchu (I do IV zgodnie z MOP-R-04).

Wyniki przeprowadzonych obliczeń przepustowości i warunków ruchu wskazują, że:

- rondo nie będzie mieć zapewnionej przepustowości na wlotach ul. Bałtyckiej A i Schumana D w szczycie porannym, korzystne warunki ruchu wystąpią na wlotach B i C,
- w szczycie porannym sytuacja na wlocie północnym ul. Bałtyckiej może nawet ulec pogorszeniu w porównaniu do stanu istniejącego,
- szczyt popołudniowy oznacza wyczerpanie przepustowości wlotu C i D oraz PSR III na wlocie A; złe warunki na południowym wlocie ul. Bałtyckiej są konsekwencją obsługi potoku na wprost i w lewo z jednego pasa ruchu,
- złe warunki ruchu na wlocie ul. Schumana są konsekwencją poprawy warunków na wlocie północnym i wschodnim; obecnie ograniczenia przepustowości wlotów A i B są korzystne do obsługi wlotu D.

Z uwagi na występowanie dodatkowych czynników wpływających (krótkie pasy ruchu, sąsiadujące skrzyżowania, filtrowanie potoku ruchu przez sąsiadujące sygnalizacje świetlne) przeprowadzono analizę symulacyjną funkcjonowania ronda. Na potrzeby analiz, skrzyżowanie obciążono prognozowanym ruchem godzinowym. W symulacji uwzględniono budowę sygnalizacji świetlnej obsługującej wlot ul. Leśnej (w koncepcji skręt na pas wewnętrzny z ul. Leśnej wymagałby przecięcia trzech strumieni ruchu). Wyniki symulacji zestawiono w tabl. 4.3.

Oznaczenia przyjęte w tab. 4.3:

- Q – uzyskane z symulacji natężenie ruchu na pasach wlotu ronda [P/h] (wynik symulacji),
 Ur – udział ruchu, jaki przenoszony jest przez grupę pasów w stosunku do wymaganego – oznacza jaki procent ruchu pas jest w stanie obsłużyć w stosunku do prognozowanego [-],
 d – średnie straty czasu przypadające na pojazd dla pasa/wlotu na dojeździe do ronda [s/P],
 d_{zat} – średnie straty czasu przypadające na pojazd dla pasa/wlotu w postoju [s/P],
 z – średnia liczba zatrzymań przypadająca na pojazd na dojeździe do ronda [zat/P],
PSR – poziom swobody ruchu (I do IV zgodnie z MOP-R-04).

Tabl. 4.3. Wyniki analiz warunków ruchu metodą symulacyjną.

| Szczyt poranny | | | | | | |
|--|----------------------|--------------|--------------|----------------------------|--------------------|-----------------|
| Grupa pasów | Natężenie ruchu | Udział ruchu | Strata czasu | Strata czasu pojazdów zat. | Wskaźnik zatrzymań | PSR |
| | Q [P/h] ¹ | Ur [-] | d [s/P] | d _{zat} [s/P] | z [zat/P] | |
| AP | 173 | 0,81 | 412 | 194 | 26,1 | IV |
| AWPI | 940 | 0,79 | 471 | 224 | 29,6 | IV |
| BP | 386 | 0,93 | 40 | 24 | 1,2 | III |
| BWL | 1084 | 0,98 | 59 | 30 | 2,5 | IV ² |
| CWPI | 652 | 0,98 | 53 | 26 | 3,3 | IV ² |
| DP | 48 | 0,67 | 461 | 222 | 29,3 | IV |
| DWP | 598 | 0,67 | 645 | 346 | 39,2 | IV |
| Wlot A | 1114 | 0,81 | 462 | 219 | 29,1 | IV |
| Wlot B | 1470 | 0,99 | 54 | 28 | 2,2 | IV ² |
| Wlot C | 652 | 0,98 | 53 | 26 | 3,3 | IV ² |
| Wlot D | 646 | 0,71 | 631 | 337 | 38,4 | IV |
| Całość | 3881 | 0,67 | 266,8 | 133,9 | 16,1 | IV |
| Szczyt popołudniowy | | | | | | |
| Grupa pasów | Natężenie ruchu | Udział ruchu | Strata czasu | Strata czasu pojazdów zat. | Wskaźnik zatrzymań | PSR |
| | Q [P/h] ¹ | Ur [-] | d [s/P] | d _{zat} [s/P] | z [zat/P] | |
| AP | 226 | 1,00 | 1,7 | 0 | 0,0 | I |
| AWPI | 736 | 1,00 | 15,8 | 5 | 1,1 | II |
| BP | 596 | 0,99 | 43,5 | 24 | 1,2 | III |
| BWL | 861 | 0,98 | 58,5 | 29 | 2,6 | IV ² |
| CWPI | 480 | 0,73 | 3544 | 147 | 25,6 | IV |
| DP | 47 | 0,76 | 3463 | 148 | 23,9 | IV |
| DWP | 875 | 0,69 | 4582 | 206 | 31,6 | IV |
| Wlot A | 963 | 1,00 | 12,5 | 4 | 0,8 | I |
| Wlot B | 1457 | 0,99 | 52,3 | 27 | 2,0 | IV ² |
| Wlot C | 480 | 0,73 | 354 | 147 | 25,6 | IV |
| Wlot D | 922 | 0,76 | 452 | 203 | 31,2 | IV |
| Całość | 3821 | 0,69 | 177 | 78,7 | 11,7 | IV |
| ¹ – z uwagi na stochastyczny charakter generacji ruchu, natężenie symulowane może różnić się nieznacznie od zadanego ² – PSR IV dopuszczalny (d < 75 s/P + rezerwa przepustowości). | | | | | | |



Rys. 4.6. Widok na przeciętny stan ruchu w szczycie porannym (przeciążenie wlotów A, C, D) – geometria ronda zgodna z założeniami rys. 4.5.



Rys. 4.7. Widok na przeciętny stan ruchu w szczycie popołudniowym (znaczne przeciążenie wlotu D ul. Schumana oraz pasa wewnętrznego wlotu C ul. Bałtyckiej) – geometria ronda zgodna z założeniami rys. 4.5.

Wyniki analiz symulacyjnych potwierdzają złe warunki ruchu na części wlotów ronda. Przebudowa natomiast jest w stanie poprawić sytuację na wlocie B w szczycie popołudniowym, jednakże kosztem gorszego wyjazdu z wlotu C od strony centrum miasta.

Niezależnie od układu pasów ruchu na wlocie ronda, wystąpi przeciążenie na co najmniej jednym z wlotów skrzyżowania. Mając na uwadze względy bezpieczeństwa ruchu oraz rozwiązanie problemu obsługi wlotu ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r. dany typ skrzyżowania można rozważyć jako najtańszy o ograniczonej przebudowie infrastruktury drogowej.

4.2 Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną

Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną zaprojektowano wykorzystując następujące założenia:

- Optymalizacja układu geometrycznego – organizacja ruchu – sposób sterowania ruchem,
- Długość cyklu sygnalizacyjnego nie powinna przekraczać 120 s.
- Dopuszcza się rozwiązania kolizyjne z ruchem pieszym przy skręcie w prawo.
- Sygnał „zielonej strzałki” stosowany jest bezkolizyjnie.
- Przerwy między sygnałami zielonymi (czasy międzyzielone) są przyjmowane szacunkowo (wykonano uproszczone obliczenia wybranych strumieni ruchu).
- Pieszym zapewnia się jednoetapowe przekraczanie wlotu i wylotu („na raz”).
- Na skrzyżowaniu dopuszcza się brak zawracania.
- Z uwagi na bliskie sąsiedztwo skrzyżowań i zwiększenie liczby pasów ruchu wlotów, sąsiadujące skrzyżowania muszą być objęte sterowaniem za pomocą sygnalizacji świetlnej lub relacje powinny być ograniczone.

W procedurze projektowej wypracowano rozwiązania geometryczne i organizacji ruchu, dla których ustalono program sygnalizacji świetlnej. Uwzględniając ograniczenia terenowe wlotów (poza ul. Schumana), przyjęto przekroje i przeznaczenie pasów ruchu jak w tabeli 4.4.

Tabl. 4.4. Układ pasów ruchu na skrzyżowaniu wariantu W2c wybranego do szczegółowych analiz.

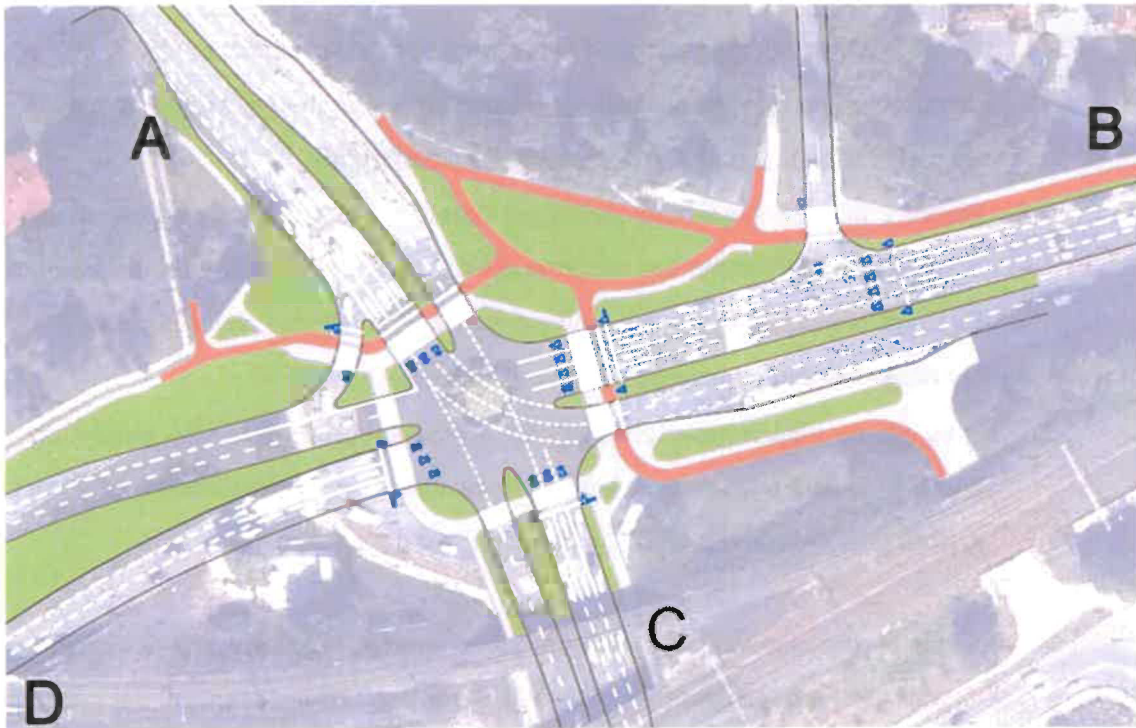
| A | B | | C | D |
|------------------------|---------|------------------|---------------|----------------|
| 4 pasy | 5 pasów | | 3 pasy | 3 pasy |
| Lewo | Lewo | | Lewo + prosto | Lewo |
| Lewo + Prosto | Prosto | | Prosto | Prosto |
| Prosto | Prosto | | Prawo | Prosto + Prawo |
| Prawo oddzielone wyspą | Prawo | Oddzielone wyspą | - | - |
| | Prawo | | | |

Przekrój A wynika z podobnych natężeń ruchu na wprost i w lewo (układ pasów pozwala na równomierny rozkład obu relacji na trzy pasy ruchu).

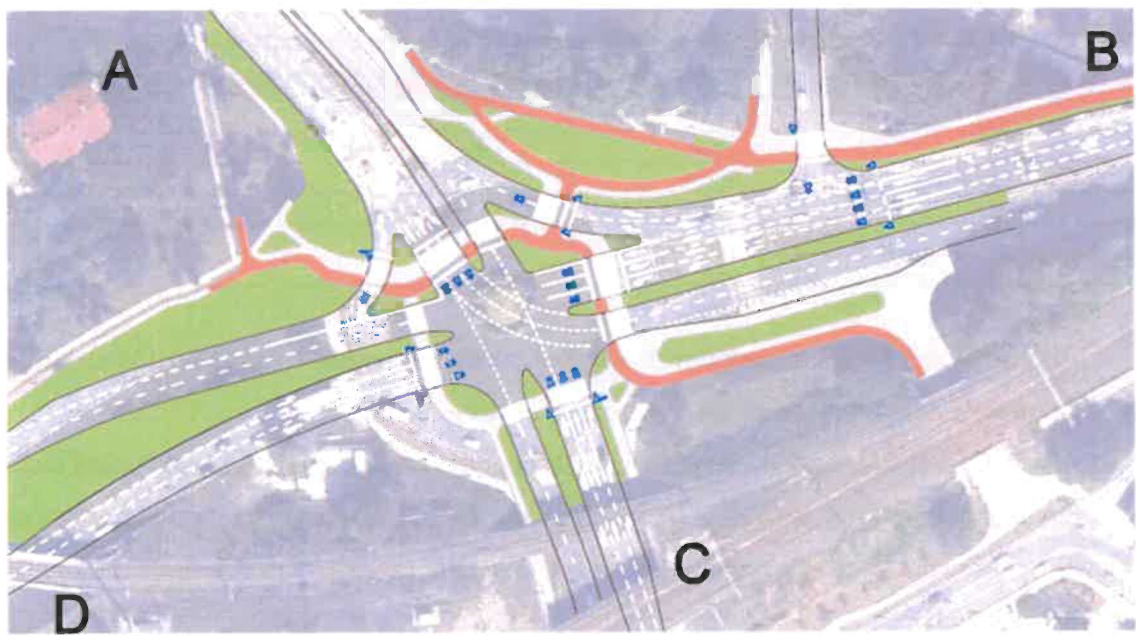
Na wlocie B dwa pasy do skrętu w prawo są podyktowane wysokim natężeniem ruchu w szczycie popołudniowym (600 P/h), których nie da się obsłużyć na sygnale zielonym z jednego pasa ruchu, przy założeniu wsparcia sygnałem dopuszczającym skręcanie w kierunku wskazanym strzałką.

Wlot D wymaga dodatkowego pasa ruchu do skrętu w lewo. Z uwagi na niewielki ruch w prawo, dodatkowy pas w dla tej relacji nie ma uzasadnienia.

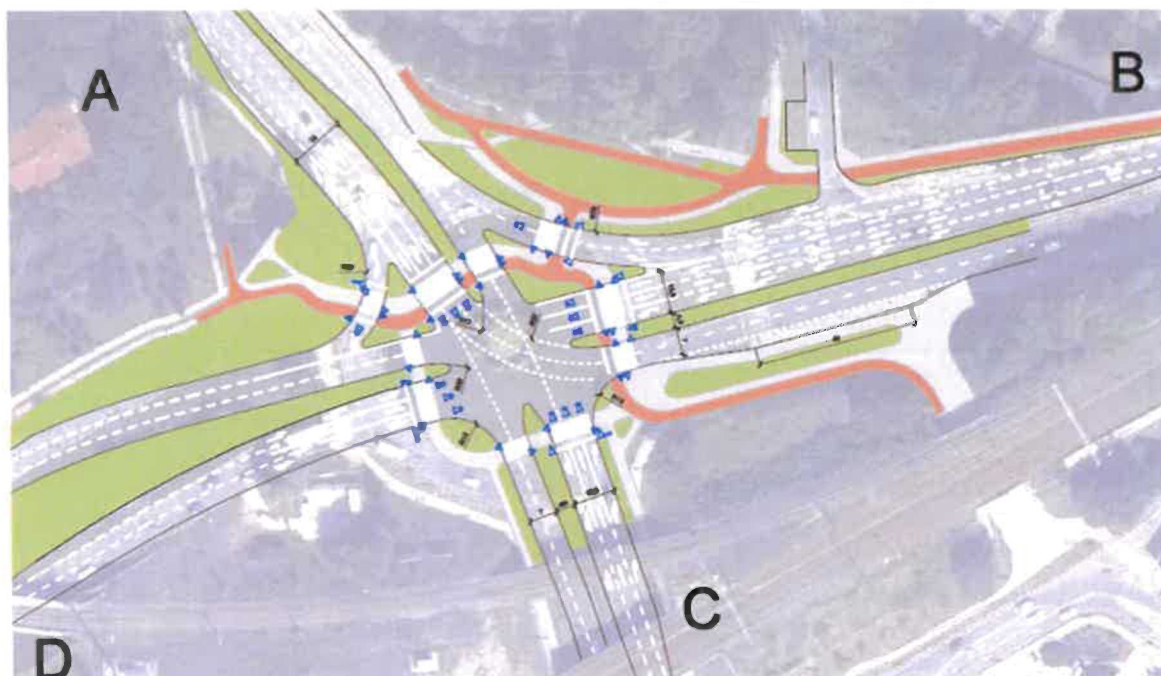
Na rysunkach 4.8-4.10 przedstawiono koncepcje projektowe sporządzone na potrzeby analizy wielowariantowej. Wariant 2a ze względu na brak zapewnienia przepustowości dla relacji skrętu w prawo z wlotu B nie był dalej szczegółowo analizowany. Do dalszych analiz, zgodnie z opisem w przedmiotowym rozdziale brane pod uwagę zostały wariant 2b oraz 2c.



Rys. 4.8. Wariant 2 a – Koncepcja skrzyżowania z sygnalizacją świetlną z jednym pasem do skrętu w prawo z wlotu B (brak przepustowości na wlocie B w szczycie popołudniowym)



Rys. 4.9. Wariant 2b – Koncepcja skrzyżowania z sygnalizacją świetlną spełniająca wymogi przepustowości.



Rys. 4.10. Wariant 2c – Koncepcja skrzyżowania z sygnalizacją świetlną (likwidacja wyjazdu z ul. Leśnej).

Warianty te o największej rozbudowie wlotów, który zapewnia przepustowość w szczycie porannym i popołudniowym. Wariant ten powinien funkcjonować z wykluczeniem lub ograniczeniem wyjazdu z ul. Leśnej. Wynika to z konieczności wydłużenia pasów ruchu poza skrzyżowanie z ul. Leśną w obręb ulicy Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r., którego poszerzenie jest problematyczne.

Tabl. 4.5. Parametry sterowania przyjęte do symulacji ruchu.

| Wlot | A | | B | | | C | | D | | |
|---------------------|------|-----|-----|-----|-----|---------|-----|---------|-----|-----|
| Szczyt poranny | | | | | | | | | | |
| Pas | P | LW | P | W | L | P | LW | P | W | L |
| G | 55s | 30s | 28s | 28s | 28s | 15s+26s | 15s | 25s+13s | 25s | 24s |
| T | 120s | | | | | | | | | |
| Szczyt popołudniowy | | | | | | | | | | |
| Pas | P | LW | P | W | L | P | LW | P | W | L |
| G | 43s | 17s | 48s | 28s | 24s | 18s+12s | 18s | 32s+20s | 32s | 24s |
| T | 120s | | | | | | | | | |

Uwzględniając wielkość potoków ruchu, rozwiązaniem, które dawało najlepsze efekty, było sterowanie wlotami w szczycie porannym. W szczycie popołudniowym wloty wschodni i zachodni są obsługiwane równocześnie, a następnie skrzyżowanie w lewo. Z uwagi na długi cykl sygnalizacji świetlnej ($T = 120s$) zasięg kolejek jest duży i wykracza poza wyznaczone dodatkowe pasy ruchu, wpływając na redukcję natężenia nasycenia i w efekcie przepustowości pasów ruchu. Aby uwzględnić ten efekt, wyniki przepustowości i miar oceny warunków ruchu pozyskano za pomocą symulacji komputerowej.

Wyniki przebiegów symulacyjnych (3x godzina szczytu porannego/popołudniowego) zestawiono w tab. 4.6. Tabela 4.7 przedstawia warunki ruchu w podziale na grupy pasów, przy czym obejmuje ona analizę wyłącznie do pierwszej linii zatrzymania. W tabeli 4.7 zestawiono miary warunków ruchu z podziałem na relacje, obejmujące przejazd przez całe skrzyżowanie, aż do jego opuszczenia.

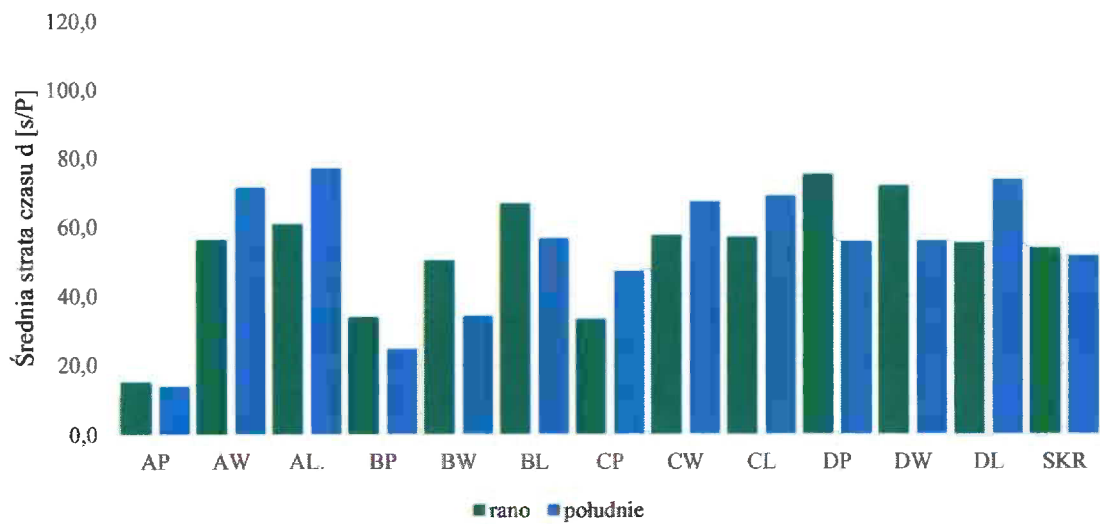
Tabl. 4.6. Wyniki analiz symulacyjnych miar oceny warunków ruchu na dojeździe do linii zatrzymania.

| Szczyt poranny | | | | | |
|---------------------|----------------------|--------------|----------------------------|--------------------|------------|
| Grupa pasów | Natężenie ruchu | Strata czasu | Strata czasu pojazdów zat. | Wskaźnik zatrzymań | PSR |
| | Q [P/h] ¹ | d [s/P] | d _{zat} [s/P] | z [zat/P] | |
| AP | 218 | 15,2 | 9,6 | 0,70 | I |
| AWPL | 1173 | 58,5 | 47,5 | 1,11 | III |
| BP | 408 | 34,1 | 26,8 | 0,71 | II |
| BW | 757 | 51,0 | 41,7 | 0,91 | III |
| BL | 358 | 67,4 | 56,4 | 1,10 | III |
| CP | 302 | 32,5 | 25,5 | 0,79 | II |
| CW | 368 | 56,8 | 48,5 | 0,98 | III |
| DWP | 767 | 71,9 | 61,4 | 1,16 | III |
| DL | 147 | 54,9 | 46,5 | 1,01 | III |
| Całość | 4498 | 53,9 | 44,5 | 0,99 | III |
| Szczyt popołudniowy | | | | | |
| Grupa pasów | Natężenie ruchu | Strata czasu | Strata czasu pojazdów zat. | Wskaźnik zatrzymań | PSR |
| | Q [P/h] | d [s/P] | d _{zat} [s/P] | z [zat/P] | |
| AP | 223 | 13,7 | 9,7 | 0,57 | I |
| AWPL | 733 | 74,2 | 63,9 | 1,16 | III |
| BP | 619 | 25,5 | 18,0 | 0,62 | II |
| BW | 629 | 35,2 | 27,4 | 0,73 | II |
| BL | 271 | 57,3 | 47,8 | 0,96 | III |
| CP | 149 | 46,6 | 38,4 | 1,14 | III |
| CW | 514 | 67,0 | 58,0 | 1,12 | III |
| DWP | 935 | 55,8 | 46,1 | 1,03 | III |
| DL | 281 | 73,3 | 60,4 | 1,29 | III |
| Całość | 4354 | 51,7 | 42,7 | 0,95 | II |

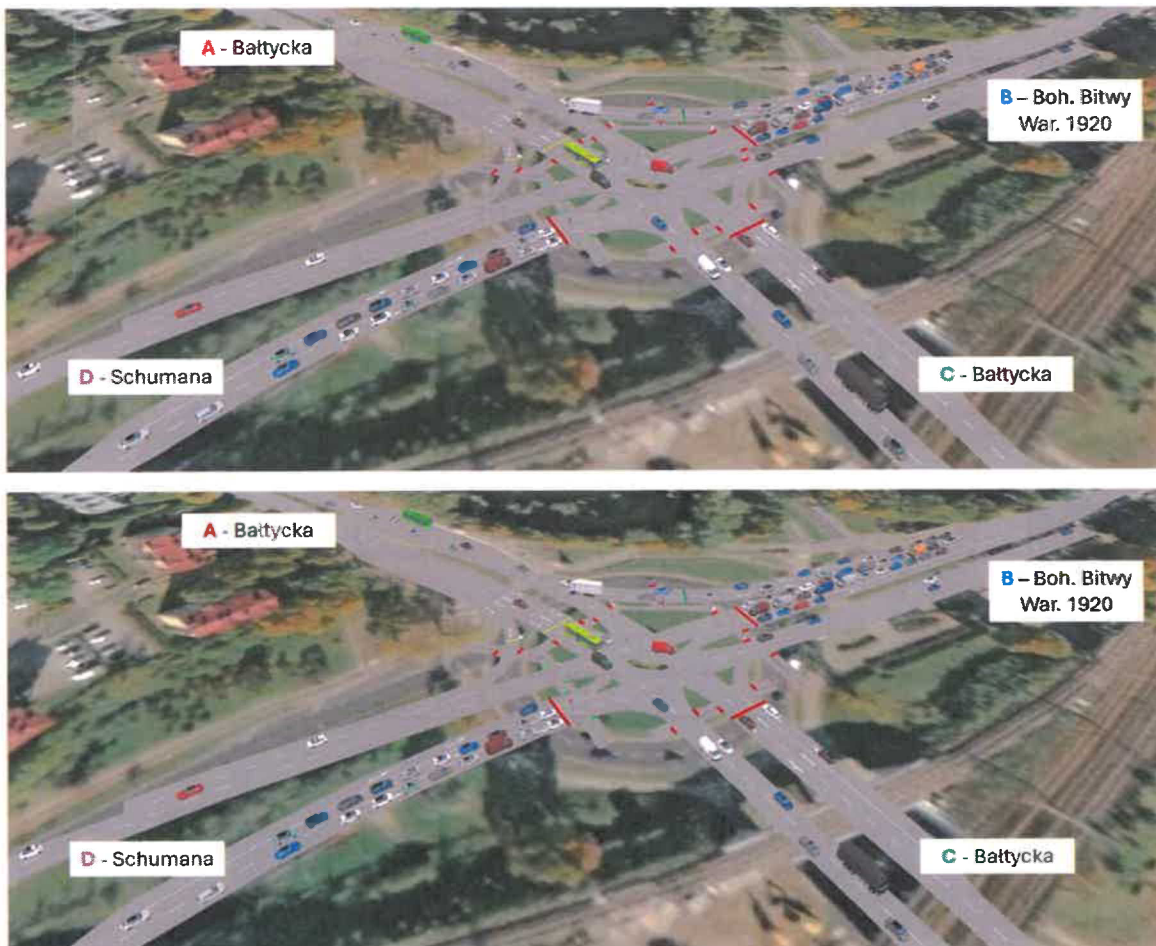
¹ – z uwagi na stochastyczny charakter generacji ruchu, natężenie symulowane może różnić się nieznacznie od zadanego

Tabl. 4.7. Wyniki analiz symulacyjnych miar oceny warunków ruchu na dojeździe do linii zatrzymania i przejeździe przez skrzyżowanie.

| Szczyt poranny | | | | | | | |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|---|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----|
| Relacja | Natężenie ruchu Q [P/h] | Strata czasu d [s/P] | Strata czasu poj. zat. d _{zat} [s/P] | Wskaźnik zatrzymań z [zat/P] | Średnia kolejka K [m] | Maksymalna kolejka KM [m] | PSR |
| AP | 218 | 15,1 | 9,6 | 0,70 | 5 | 51 | I |
| AW | 596 | 56,4 | 45,6 | 1,09 | 66 | 218 | II |
| AI | 577 | 60,9 | 49,5 | 1,12 | 66 | 218 | III |
| BP | 409 | 33,9 | 26,8 | 0,70 | 18 | 153 | II |
| BW | 753 | 50,3 | 41,5 | 0,89 | 36 | 171 | III |
| BI | 357 | 66,8 | 56,3 | 1,06 | 36 | 171 | III |
| CP | 301 | 33,3 | 25,6 | 0,85 | 29 | 98 | II |
| CA | 306 | 57,6 | 48,4 | 0,98 | 29 | 98 | III |
| CI | 62 | 57,1 | 49,0 | 0,98 | 29 | 98 | III |
| DW | 70 | 75,3 | 63,9 | 1,25 | 66 | 186 | III |
| DV | 697 | 71,9 | 61,2 | 1,16 | 66 | 186 | III |
| DI | 147 | 55,4 | 46,5 | 1,01 | 66 | 186 | III |
| SKR | 4493 | 54,0 | 44,4 | 0,99 | - | - | III |
| Szczyt popołudniowy | | | | | | | |
| Relacja | Natężenie ruchu Q [P/h] | Strata czasu d [s/P] | Strata czasu poj. zat. d _{zat} [s/P] | Wskaźnik zatrzymań z [zat/P] | Średnia kolejka K [m] | Maksymalna kolejka KM [m] | PSR |
| AP | 223 | 13,7 | 9,7 | 0,57 | 6 | 54 | I |
| AW | 340 | 71,5 | 60,9 | 1,12 | 49 | 153 | II |
| AI | 393 | 77,1 | 66,4 | 1,20 | 49 | 153 | III |
| BP | 619 | 24,7 | 17,9 | 0,61 | 21 | 138 | II |
| BW | 629 | 34,3 | 27,2 | 0,70 | 30 | 120 | III |
| BI | 271 | 56,8 | 47,6 | 0,94 | 30 | 120 | III |
| CP | 149 | 47,2 | 38,6 | 1,19 | 39 | 125 | II |
| CA | 449 | 67,5 | 57,7 | 1,12 | 39 | 125 | III |
| CI | 64 | 69,1 | 60,3 | 1,12 | 39 | 125 | III |
| DW | 64 | 55,8 | 45,4 | 1,06 | 80 | 204 | III |
| DV | 872 | 56,1 | 46,1 | 1,03 | 80 | 204 | III |
| DI | 281 | 73,8 | 60,4 | 1,29 | 80 | 204 | III |
| SKR | 4354 | 51,6 | 42,6 | 0,95 | - | - | III |



Rys. 4.8. Wariant 2c – Straty czasu pojazdów na skrzyżowaniu (wyniki symulacji).



Rys. 4.11. Wariant 2c – Przykładowa sytuacja ruchowa na skrzyżowaniu a) szczyt poranny, b) szczyt popołudniowy.

Podsumowanie

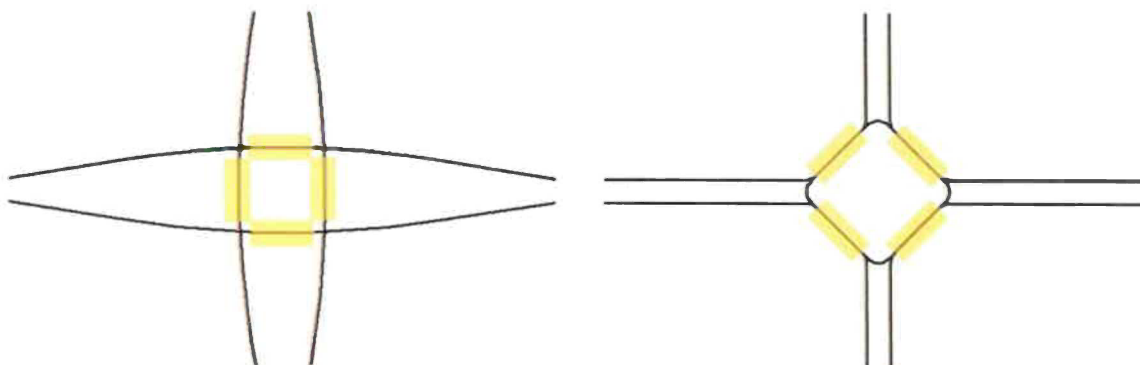
Wyniki wskazują na spełnienie kryterium przepustowości i maksymalnych dopuszczalnych strat czasu. Jednakże skrzyżowanie cechuje się niewielką rezerwą przepustowości a warunki ruchu plasują się w większości przypadków na PSR III. Zasięg kolejek jest duży i wymaga poszerzenia wlotu B na dłuższym odcinku i dobudowy pasa ruchu na wlocie D do wiaduktu kolejowego. Korzystnym byłoby także wydłużenie pasów ruchu na wlocie A (nie uwzględniono w koncepcji i analizie symulacyjnej).

Tabl. 4.8. Uwagi dotyczące wariantu W2b.

| Zalety | Wady |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ spełniona przepustowość skrzyżowania i kryterium PSR, ▪ możliwość optymalizacji sterowania zmiennoczasowego systemem obszarowego sterowania ruchem oraz ewentualnej koordynacji sygnalizacji świetlnej w ciągu ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 ▪ jednoetapowa, zsynchronizowana obsługa pieszych na sąsiadujących przejściach | <ul style="list-style-type: none"> ▪ rozbudowany układ pasów ruchu na wlocie, ▪ ingerencja w przekrój ulic na odcinku dojazdowym ▪ zalecane jest zamknięcie wlotu ul. Leśnej, a także zjazdu do ul. Bałtyckiej Bocznej ▪ długie zasięgi kolejki maksymalnej ▪ występują cykle z zauważalną kolejką pozostającą ▪ brak zawracania na skrzyżowaniu (wymaga przetrasowania linii autobusowej) |

4.3 Skrzyżowanie z sygnalizacją z powierzchniami akumulacyjnymi

Wariant 3 stanowi skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną w formie zbliżonej do ronda turbinowego wyposażonego w sygnalizację świetlną. Skrzyżowanie stanowi zmodyfikowaną formę wyspy centralnej o rozsuniętych wlotach i wylotach z tą różnicą, że powierzchnie akumulacyjne nie znajdują się między jezdniami, lecz na obwodni zbliżonej do formy kołowej.



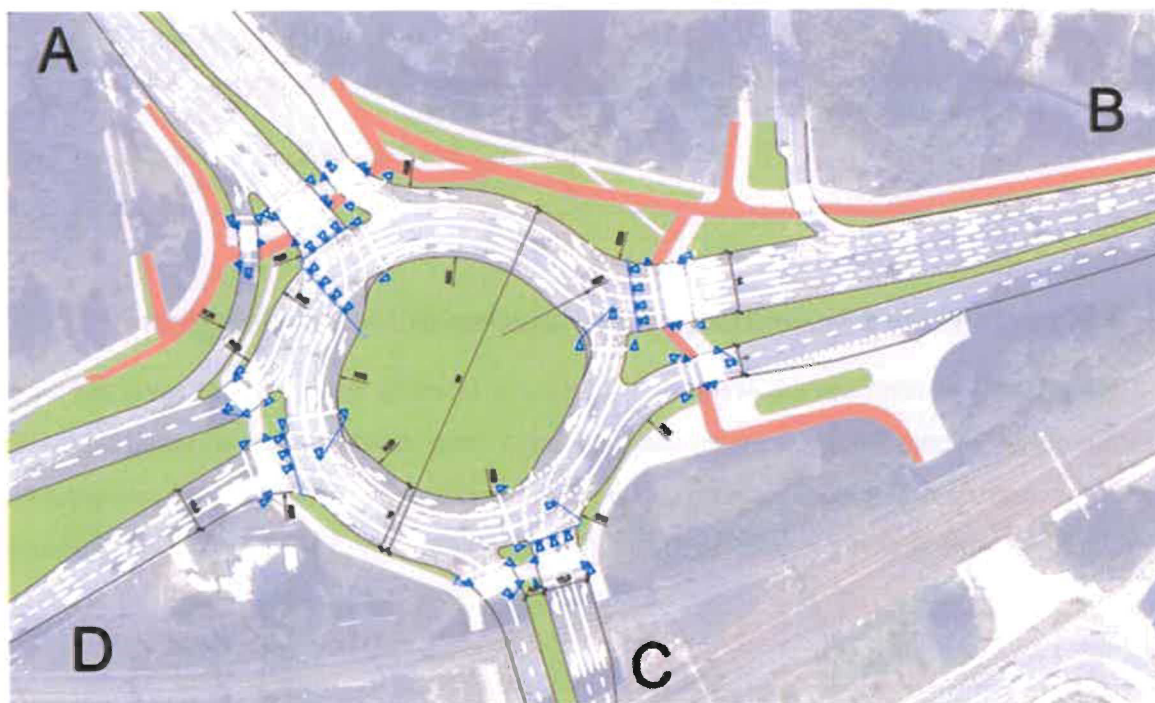
Rys. 4.10. Idea lokalizacji powierzchni akumulacyjnych na klasycznej wyspie centralnej i zaproponowanym rozwiązaniu.

Tego typu rozwiązania są rzadko stosowane – zwykle wykorzystuje się, gdy występują ograniczenia terenowe uniemożliwiające rozsuniecie wlotów lub przez wyspę centralną prowadzone jest torowisko tramwajowe.

Przyjęte rozwiązanie zakłada sterowanie ruchem za pomocą sygnalizacji tak, by na wewnętrznych powierzchniach akumulacyjnych zatrzymywać relacje o mniejszym natężeniu ruchu. W obrębie skrzyżowania nie ma przeplatania. Możliwa jest bezpieczna zmiana pasa ruchu przy zajmowaniu powierzchni akumulacyjnej (wydzielenie pasa – zmiana pasa ruchu bez ruchu kolizyjnego).

Tabl. 4.9. Układ pasów ruchu na skrzyżowaniu.

| A | B | C | D |
|------------------------|----------------|---------------|----------------|
| 4 pasy | 4 pasy | 3 pasy | 3 pasy |
| Lewo | Lewo | Lewo + prosto | Lewo |
| Lewo + Prosto | Prosto | Prosto | Prosto |
| Prosto | Prosto + Prawo | Prawo | Prosto + Prawo |
| Prawo oddzielone wyspą | Prawo | - | - |



Rys. 4.11. Wariant 3 – Koncepcja skrzyżowania z sygnalizacją świetlną z powierzchniami akumulacyjnymi

Na potrzeby analizy opracowano program sygnalizacji świetlnej. Z uwagi na konieczność kontroli powierzchni akumulacyjnych, skrzyżowanie może funkcjonować prawidłowo z krótkim cyklem sygnalizacyjnym (ograniczono do 80 s). Układ trzech linii zatrzymania (na danym wlocie, przy krzyżowaniu z kolejnym wlotem i na wylocie w celu

zabezpieczenia przejścia dla pieszych) pozwala na wybór zatrzymywania poszczególnych potoków ruchu. Program sygnalizacji świetlnej wymaga zastosowania przesunięć fazowych między początkami i końcami sygnałów zielonych tak, aby kontrolować napełnianie powierzchni akumulacyjnych. Na potrzeby analizy przyjęto program sterowania wg tab. 4.10.

Tabl. 4.10. Parametry sterowania przyjęte do symulacji ruchu.

| Włot: | A | B | C | D |
|---|-----|-----|-----------|-----|
| Szczyt poranny | | | | |
| Sygnal zielony G | 25s | 38s | 18s + 10s | 15s |
| Cykl T | 80s | | | |
| Szczyt popołudniowy | | | | |
| Sygnal zielony G | 14s | 19s | 14s | 19s |
| Cykl T | 70s | | | |
| ¹ – na wlocie C zastosowano sygnał S-2 („zielona strzałka”), konieczny do obsługi skrętu w szczycie porannym | | | | |

Z uwagi na specyfikę funkcjonowania skrzyżowania charakteryzować się będzie ono więcej niż jednokrotnym zatrzymaniem dla kilku relacji. W sterowaniu przyjęto, że są to przede wszystkim relacje CL (skręt w lewo z ul. Bałtyckiej S w ul. R. Schumana), DL – skręt w lewo z ul. Schumana w ul. Bałtycką (N) i BL - skręt w lewo z ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r. w ul. Bałtycką (N).

Krótki cykl sygnalizacyjny, pozwala na zmniejszenie długości kolejek na wlotach, co pozwala na skrócenie długości dodatkowych pasów ruchu i ograniczenie ingerencji w przekrój drogi na odcinkach dojazdowych. Możliwe jest utrzymanie wyjazdu z ul. Leśnej w trybie skoordynowanym.

Analizy ruchowe

Skrzyżowanie poddano podobnym analizom jak dla Wariantu W2. Z uwagi na oddziaływanie na siebie układu pasów ruchu oraz powierzchni akumulacyjnych przepustowość i warunki ruchu wyznaczono metodą symulacyjną po skalibrowaniu programu do warunków wyjściowych. Z uwagi na geometrię torów jazdy, w symulacji założono, że pojazdy nie poruszają się szybciej po skrzyżowaniu niż z prędkością 30 km/h.

Wyniki przebiegów symulacyjnych (3x godzina szczytu porannego/popołudniowego) zestawiono w tabelach 4.11. i 4.12. Tabela 4.11 przedstawia warunki ruchu w podziale na grupy pasów, przy czym obejmuje ona analizę wyłącznie do pierwszej linii zatrzymania. W tabeli 4.12 zestawiono miary warunków ruchu z podziałem na relacje, obejmujące przejazd przez całe skrzyżowanie, aż do jego opuszczenia. Z tego względu wyniki między zestawieniem dla grup i relacji różnią się.

Tabl. 4.11. Wyniki analiz symulacyjnych miar oceny warunków ruchu na dojeździe do linii zatrzymania.

| Szczyt poranny | | | | | |
|---------------------|----------------------|--------------|----------------------------|--------------------|-----------|
| Grupa pasów | Natężenie ruchu | Strata czasu | Strata czasu pojazdów zat. | Wskaźnik zatrzymań | PSR |
| | Q [P/h] ¹ | d [s/P] | d _{zat} [s/P] | z [zat/P] | |
| AP | 219 | 10,2 | 6,1 | 0,46 | I |
| AWPL | 1173 | 30,7 | 21,8 | 0,87 | II |
| BWPL | 1513 | 15,0 | 9,7 | 0,54 | I |
| CWPL | 669 | 32,6 | 23,6 | 1,05 | II |
| DWPL | 915 | 52,0 | 41,8 | 1,18 | III |
| Całość | 4489 | 29,0 | 21,3 | 0,83 | II |
| Szczyt popołudniowy | | | | | |
| Grupa pasów | Natężenie ruchu | Strata czasu | Strata czasu pojazdów zat. | Wskaźnik zatrzymań | PSR |
| | Q [P/h] | d [s/P] | d _{zat} [s/P] | z [zat/P] | |
| AP | 225 | 11,4 | 7,7 | 0,50 | I |
| AWPL | 752 | 36,5 | 27,1 | 1,01 | II |
| BWPL | 1501 | 16,8 | 10,5 | 0,62 | II |
| CWPL | 672 | 28,9 | 22,3 | 0,86 | II |
| DWPL | 1206 | 46,6 | 35,3 | 1,26 | III |
| Całość | 4356 | 30,0 | 21,9 | 0,89 | II |

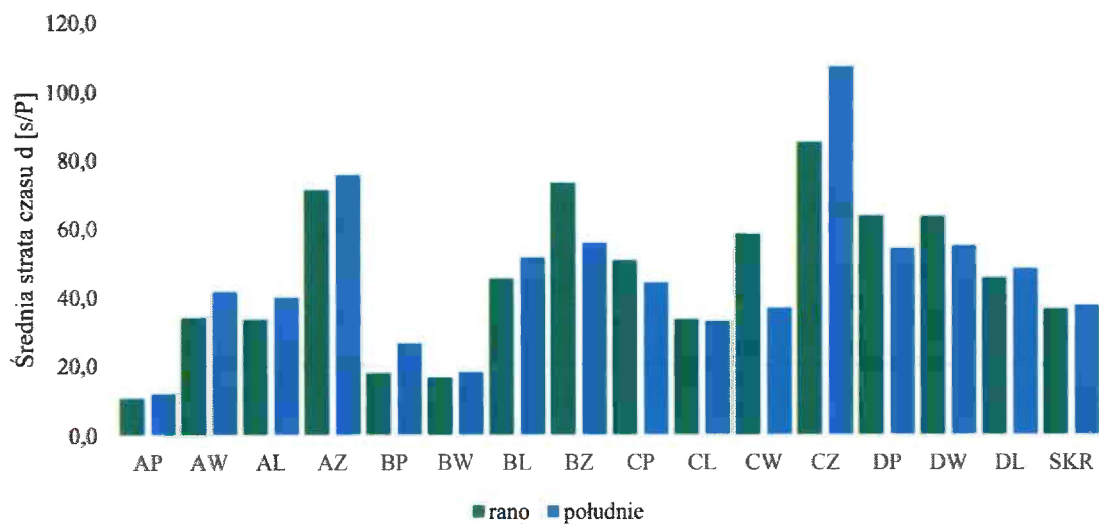
¹ – z uwagi na stochastyczny charakter generacji ruchu, natężenie symulowane może różnić się nieznacznie od zadanego

Skrzyżowanie funkcjonuje przy dobrym i lokalnie bardzo dobrym PSR. W szczycie popołudniowym z uwagi na większe natężenie ruchu relacji skrzyżnych warunki ruchu są nieznacznie gorsze. Układ sterowania preferuje obsługę wlotów A i B, stąd występują na nich najlepsze warunki ruchu.

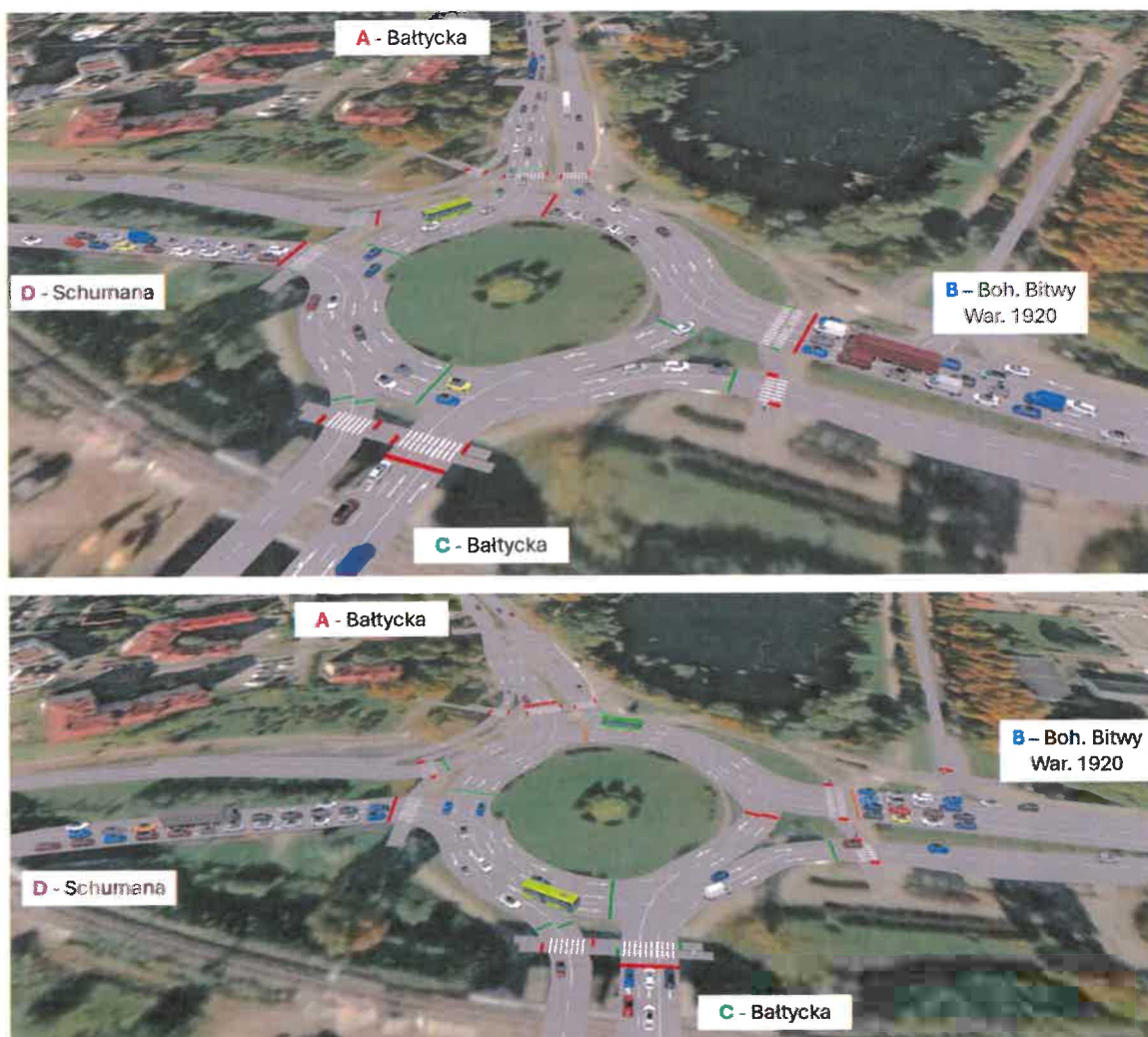
Jeśli brać pod uwagę funkcjonowanie całego skrzyżowania z uwzględnieniem dodatkowych zatrzymań na wewnętrznych powierzchniach akumulacyjnych, PSR relacji skrzyżnych i zawracania wynosi przeciętnie III. Najmniej korzystne warunki ruchu dotyczą wlotu ul. Schumana, co wynika z założeń sterowania ruchem.

Tabl. 4.12. Wyniki analiz symulacyjnych miar oceny warunków ruchu na dojeździe do linii zatrzymania i przejeździe przez całe skrzyżowanie z uwzględnieniem oczekiwania na powierzchniach akumulacyjnych.

| Szczyt poranny | | | | | | | |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|--|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----|
| Relacja | Natężenie ruchu Q [P/h] | Strata czasu d [s/P] | Strata czasu poj. zat. d_{zat} [s/P] | Wskaźnik zatrzymań z [zat/P] | Średnia kolejka K [m] | Maksymalna kolejka KM [m] | PSR |
| AP | 219 | 10,7 | 6,1 | 0,46 | 3,1 | 49,1 | I |
| AW | 594 | 34,1 | 23,5 | 0,94 | 1,2 | 111,1 | II |
| AI | 575 | 33,6 | 21,2 | 0,90 | 1,2 | 111,1 | II |
| AZ | 5 | 71,4 | 53,9 | 2,06 | 1,2 | 111,1 | III |
| BP | 399 | 18,0 | 11,5 | 0,76 | 6,0 | 50,5 | I |
| BW | 749 | 16,5 | 10,7 | 0,57 | 6,0 | 50,5 | I |
| BI | 355 | 45,5 | 30,1 | 1,93 | 6,0 | 50,5 | III |
| BZ | 9 | 73,4 | 48,7 | 3,06 | 6,0 | 50,5 | III |
| CP | 299 | 50,7 | 31,8 | 2,48 | 21,9 | 88,8 | III |
| CI | 293 | 33,6 | 24,2 | 0,83 | 21,9 | 88,8 | II |
| CW | 57 | 58,4 | 43,7 | 1,87 | 21,9 | 88,8 | III |
| CZ | 18 | 85,3 | 65,4 | 2,88 | 21,9 | 88,8 | IV |
| DP | 67 | 63,8 | 48,6 | 1,79 | 48,6 | 146,6 | III |
| DW | 698 | 63,6 | 49,8 | 1,55 | 48,6 | 146,6 | III |
| DI | 147 | 45,7 | 32,1 | 1,82 | 48,6 | 146,6 | III |
| SKR | 4484 | 36,5 | 25,5 | 1,2 | 15,6 | 91,5 | II |
| Szczyt popołudniowy | | | | | | | |
| Relacja | Natężenie ruchu Q [P/h] | Strata czasu d [s/P] | Strata czasu poj. zat. d_{zat} [s/P] | Wskaźnik zatrzymań z [zat/P] | Średnia kolejka K [m] | Maksymalna kolejka KM [m] | PSR |
| AP | 225 | 12,0 | 7,7 | 0,50 | 4,1 | 41,8 | I |
| AW | 339 | 41,7 | 29,0 | 1,11 | 8,2 | 139,4 | II |
| AI | 390 | 40,0 | 27,5 | 1,10 | 8,2 | 139,4 | II |
| AZ | 9 | 75,8 | 53,4 | 2,59 | 8,2 | 139,4 | III |
| BP | 615 | 26,6 | 17,0 | 1,16 | 8,0 | 40,1 | II |
| BW | 622 | 18,1 | 11,8 | 0,66 | 8,0 | 40,1 | I |
| BI | 275 | 51,6 | 36,9 | 1,67 | 8,0 | 40,1 | III |
| BZ | 2 | 55,9 | 35,3 | 2,17 | 8,0 | 40,1 | III |
| CP | 151 | 44,3 | 31,9 | 1,86 | 6,0 | 87,2 | II |
| CI | 455 | 33,1 | 23,0 | 0,96 | 7,0 | 87,2 | II |
| CW | 55 | 36,9 | 23,3 | 1,54 | 7,0 | 87,2 | II |
| CZ | 3 | 107,3 | 83,8 | 3,13 | 7,0 | 87,2 | IV |
| DP | 63 | 54,3 | 41,3 | 1,42 | 57,2 | 185,1 | Iii |
| DW | 864 | 55,1 | 41,5 | 1,46 | 57,2 | 185,1 | III |
| DI | 286 | 48,3 | 29,1 | 2,11 | 57,2 | 185,1 | III |
| SKR | 4354 | 37,7 | 26,3 | 1,2 | 21,4 | 104,6 | II |



Rys. 4.12. Wariant 3 – Koncepcja skrzyżowania z sygnalizacją świetlną z powierzchniami akumulacyjnymi



Rys. 4.13. Wariant 3 – Przykładowy stan ruchu uzyskany z symulacji ruchu (szczyt poranny i popołudniowy).

Obserwacje przebiegu symulacji wskazują na występowanie zatrzymań na wybranych wlotach. Przeprowadzone procedury korygowania programu sygnalizacji wskazały, że zapewnienie płynnego przebiegu ruchu przez całe skrzyżowanie wymaga przyjęcia niekorzystnych parametrów sterowania. Mogą występować pojedyncze przypadki przepełnienia powierzchni akumulacyjnej (dotyczy zwłaszcza relacji BL rano). Mimo to, skrzyżowanie uzyskuje najlepsze efekty funkcjonowania ze wszystkich trzech wariantów.

Podsumowanie

W toku analiz symulacyjnych zaproponowane rozwiązanie daje najlepsze wyniki pod kątem strat czasu oraz ma możliwość obsługi potoków ruchu w szczycie porannym i popołudniowym.

Tabl. 4.13. Ocena wariantu W3.

| Zalety | Wady |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ wysoka przepustowość skrzyżowania i akceptowalne warunki ruchu ▪ krótki zasięg kolejek (wynik krótkiego cyklu sygnalizacyjnego) ▪ dobre warunki ruchu (najkorzystniejsze z wszystkich rozwiązań), ▪ możliwe utrzymanie ruchu wyjazdowego z ul. Leśnej ▪ możliwość zawracania w każdej z relacji, ▪ zasięg rozbudowy wlotów zbliżony do wariantu W2 lub nieznacznie mniejszy | <ul style="list-style-type: none"> ▪ nietypowy układ geometryczny wymaga prawidłowego oznakowania i prowadzenia kierujących przez skrzyżowanie, ▪ brak możliwości efektywnego wydłużania cyklu sygnalizacyjnego, wymagana kontrola przesunięć fazowych w celu niedopuszczenia do przepełnienia powierzchni akumulacyjnych ▪ zatrzymywanie pojazdów na wewnętrznych powierzchniach akumulacyjnych, ▪ jednoetapowe przekraczanie przejść przez pieszych przy nierównomiernym momencie nadawania sygnału zielonego dla pieszych ▪ sztywna struktura sterowania może wykluczyć koordynację sygnalizacji świetlnej z sąsiadującymi |

5. PODSUMOWANIE I REKOMENDACJE

Opracowanie dotyczy analizy funkcjonowania Ronda Ofiar Katastrofy Smoleńskiej w Olsztynie oraz wskazania możliwych kierunków jego przebudowy w celu poprawy przepustowości i bezpieczeństwa ruchu. Przeprowadzone badania obejmowały pomiary ruchu (wideorejestracja, liczba i długość kolejek, ruch pieszy i autobusowy), analizę potoków z Systemu Sterowania Ruchem oraz prognozę natężeń. Następnie wykonano analizy przepustowości metodami empiryczno-analitycznymi i mikrosymulacyjnymi (PTV Vissim). W stanie istniejącym skrzyżowanie jest wyraźnie przeciążone – w obu szczytach komunikacyjnych odnotowano wyczerpanie przepustowości na głównych wlotach, zwłaszcza A (Bałtycka N) i B (Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920). Największe natężenia ruchu osiągają 4160 E/h rano i 3853 E/h popołudniu, co przekracza możliwości klasycznego ronda dwupasowego oraz ronda turbinowego. Występują również zjawiska niepożądane: częste zmiany pasów na jezdni ronda, blokowanie wylotów przez pieszych, ryzykowne włączanie się do ruchu oraz brak rezerwy przepustowości. Struktura rodzajowa ruchu jest typowa dla układu miejskiego – ponad 92% stanowią samochody osobowe.

Analiza potoków z Systemu Sterowania Ruchem potwierdziła wysokie obciążenie skrzyżowania oraz wskazała, że na części wlotów pojawia się niedoszacowanie wyników pomiaru z powodu „obcinania” ruchu przez kolejki. Prognozy uwzględniające przeciążenie wlotów i niewielki wzrost ruchu (5%) wykazały, że przepustowość skrzyżowania w stanie istniejącym pozostaje istotnym ograniczeniem dalszego rozwoju układu drogowego w tej części miasta.

W ramach analiz zaproponowano trzy warianty koncepcyjne:

1. Rondo turbinowe (z możliwością lokalnego zastosowania sygnalizacji na ul. Leśnej).
2. Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną.
3. Skrzyżowanie z sygnalizacją i powierzchniami akumulacyjnymi.

W przypadku ronda turbinowego kluczowe ograniczenie stanowi sekwencja natężeń ruchu na wlotach, które w przypadku zapewnienia przepustowości będą blokować wyjazd z następnego wlotu (np. wlot B ogranicza przepustowość wlotu ul. Bałtyckiej). Mimo uporządkowania trajektorii pojazdów rondo wykazuje przeciążenie na kilku wlotach, zwłaszcza A i D rano oraz C i D po południu. Warunki ruchu w wielu relacjach spadają do PSR IV, co świadczy o braku wystarczającej przepustowości. W efekcie rondo turbinowe może poprawić bezpieczeństwo i zwiększyć czytelność organizacji ruchu, ale nie rozwiąże zasadniczego

problemu braku przepustowości. Korzyści odnosi wlot ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 r., jednakże kosztem wyjazdu od strony Centrum (ul. Bałtycka (S)). Analizy wskazują także, że poprawa przepustowości wlotu A i B powoduje przeciążenie na wlocie ul. Schumana. Symulacja komputerowa potwierdza powyższe wnioski. Należy zaznaczyć, że nie wypracowano dotychczas w kraju metody analizy rond turbinowych. W analizach wykorzystano dostępną wiedzę i badania prowadzone na dotychczas eksploatowanych rondach turbinowych. Mając na uwadze większą średnicę zastępczą ronda oraz większą presję na przejazd przez skrzyżowanie (przeciążenie), warunki ruchowe mogą być lepsze niż wykazane w symulacji. Nie zmienia to jednakże wniosków końcowych.

Realizacja wariantu W1 jest rekomendowana tylko ze względów bezpieczeństwa i uporządkowania ruchu na rondzie, w przypadku niewielkich kosztów inwestycyjnych.

Wariant skrzyżowania z sygnalizacją świetlną jest rozwiązaniem kosztownym, wymagającym ingerencji w układ drogowy miasta oraz konieczność rozbudowy wlotów do szerszych przekrojów (dodatkowe pasy ruchu, zwłaszcza na wlocie ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920. Zoptymalizowany układ faz ruchu oznacza oddzielną obsługę wlotów ul. Bałtyckiej (sterowanie wlotami), w dużej mierze ze względu na ograniczenie rozbudowy przekroju wlotu północnego do czterech pasów ruchu. Wloty wschodni i zachodni są obsługiwane inaczej w szczycie porannym i popołudniowym (rano optymalny jest układ sterowania wlotami, popołudniu z fazą obsługującą razem skręty w lewo). Prawidłowe rozwiązanie geometrii i organizacji ruchu pozwala na sterowanie ruchem zapewniające przepustowość. O ile warunki ruchu zwykle będą plasować wloty skrzyżowania na poziomie PSR III i występować będą cykle z koniecznością oczekiwania więcej niż jednokrotnie na sygnał zielony, istnieje duża szansa na obsługę potoku pojazdów, która obecnie nie ma możliwości przejazdu ze względu na ograniczoną przepustowość wlotów (A rano i B popołudniu). Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną daje także szansę na zarządzanie ruchem poprzez możliwość dostosowania programu sygnalizacji do bieżącej sytuacji ruchowej.

Wariant W3 stanowi rzadziej spotykaną formę skrzyżowania z wyspą centralną. Korzystne warunki ruchu uzyskano dzięki zastosowaniu sterowania z krótkim cyklem sygnalizacyjnym, która, jednakże wymaga zatrzymania części pojazdów na tarczy skrzyżowania. W przyjętej metodzie sterowania potoki zatrzymywane to skręt w lewo z ul. Bałtyckiej (wlot C) oraz skręty z wlotów wschodniego B i zachodniego D. Prawidłowe funkcjonowanie skrzyżowania wymaga precyzyjnego opracowania programu sygnalizacji świetlnej. Główną wadą rozwiązania jest wysoka podatność na wzrost natężenia ruchu powyżej wielkości przyjętych do analiz. Niezależnie od powyższego, skrzyżowanie to zapewnia

najlepsze warunki ruchu prognozowanego oraz umożliwi ograniczoną ingerencję w przekrój ulic dochodzących do skrzyżowania.

Tabl. 4.14. Uproszczone porównanie wariantów.

| Kryterium | Wariant istniejący | Rondo turbinowe | Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną | Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną i powierzchnią akumulacyjną |
|---|--------------------|--|--|---|
| Bezpieczeństwo | niskie | średnie | średnie | średnie |
| Przepustowość | niska | niska | wysoka | wysoka |
| Warunki ruchu | złe | złe | akceptowalne | dobrze |
| Niezawodność | mała | bardzo mała podatność na zmianę struktury kierunkowej | wysoka | przeciętna podatność na wzrost natężenia ruchu relacji skrajnych |
| Obsługa pieszych | bardzo dobra | bardzo dobra | przeciętna długi czas oczekiwania, przejścia głównie jednoetapowe | przeciętna krótki czas oczekiwania, niska synchronizacja |
| Ingerencja w przekrój ul. Bohaterów Bitwy Warszawskiej 1920 | brak | ograniczona | duża | duża (mniejsza przy zamknięciu wlotu ul. Leśnej) |
| Obsługa ul. Leśnej | tak | tylko z sygnalizacją | niezalecana, dop. z sygnalizacją | tylko z sygnalizacją |