
**Analiza mikrosymulacyjna dla skrzyżowania Krakowska –
Sikorskiego – Narutowicza w Tarnowie**

WERSJA: **1.0**

OBIEKT: **Miasto Tarnów**

ZAMAWIAJĄCY: **Gmina Miasta Tarnowa
ul. Mickiewicza 2
33-100 Tarnów**

WYKONAWCA: **Jaros Inżynieria Ruchu sp. z O.O.
ul. Złota 9
80-297 Rębichowo**

OPRACOWAŁ: **mgr inż. Daniel Jaros**



Spis treści

1.	Wiadomości ogólne.....	3
1.1	Przedmiot i zakres opracowania	3
1.2	Inwestor	3
1.3	Wykonawca	3
1.4	Podstawa opracowania.....	3
2.	Opis eksperymentu symulacyjnego	5
2.1	Przebieg procesu.....	5
2.2	Pomiary ruchu	5
2.3	Wariant 1a – rondo	6
2.4	Wariant 2a – skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną	7
3.	Model mikrosymulacyjny	13
3.1	Narzędzia do budowy modelu	13
3.2	Budowa modelu	14
3.2.1	Parametry symulacji.....	14
3.2.2	Model sieci drogowej	15
3.2.3	Natężenie ruchu, struktura ruchu – generatory pojazdów, trasy przejazdów, struktury pojazdów	17
3.2.4	Pola kolizji.....	19
3.2.5	Obszary ograniczonej prędkości	20
3.2.6	Prędkości pojazdów	22
3.2.7	Punkty Pomiarowe.....	22
3.3	Sygnalizacja świetlna.....	25
3.3.1	Sygnalizatory.....	25
3.3.2	Programy sygnalizacji	26
3.4	Elementy graficzne	28
3.4.1	Organizacja pozioma	28
3.5	Kalibracja modelu.....	28
3.5.1	Definicja kalibracji i jej kryteria.....	28
3.6	Analizowane Scenariusze.....	29
3.6.1	Wariant 1a - rondo	30
3.6.2	Wariant 2a - sygnalizacja	30
3.6.3	Wynik Strat czasu	31
3.6.4	Długości kolejek.....	31
4.	Wnioski i rekomendacje.....	33
4.1	Dokładność modelu i jego wykorzystanie.....	33
4.2	Wpływ ruchu pieszych na proponowane warianty	33
4.3	Wybór korzystniejszego rozwiązania	33
4.4	Dodatkowe rekomendacje	33

1. Wiadomości ogólne

1.1 Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem opracowania jest:

- Wykonanie modelu ruchu dla wariantu z rondem oraz sygnalizacją świetlną
- Wykonanie koncepcji pracy sygnalizacji dla przedmiotowego skrzyżowania
- Wykonanie analizy porównawczej warunków ruchu na przedmiotowym skrzyżowaniu
- Sprawdzenie wpływu napływu ruchu ze skrzyżowania z ulicą Bandrowskiego
- Opracowanie wniosków i rekomendacji dla przedmiotowego skrzyżowania

1.2 Inwestor

Gminą Miasta Tarnowa
ul. Mickiewicza 2
33-100 Tarnów

1.3 Wykonawca

Jaros Inżynieria Ruchu Daniel Jaros
ul. Cyprysowa 19
80-297 Banino

1.4 Podstawa opracowania

- umowa nr ZDiK.TS.272.4.2025
- dane uzyskane od Zamawiającego i zawarte w ogłoszeniu o zamówieniu;
- ustalenia pomiędzy Zamawiającym i Wykonawcą dokonywane podczas spotkań roboczych oraz drogą e-mailową;
- obowiązujące normy i przepisy:
 - Ustawa Prawo Budowlane z dnia 4 lipca 1994 roku z późniejszymi zmianami (tekst jednolity Dz.U. 2020 poz. 1333)
 - 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 (tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 2311 z późn. zm.),
 - Rozporządzenie Ministrów Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 lipca 2002 roku w sprawie znaków i sygnałów drogowych. (tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 2310),
 - Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 23 września 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków zarządzania ruchem na drogach oraz wykonywania nadzoru nad tym zarządzaniem (tekst jednolity Dz.U. 2017 poz. 784),
 - Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. (tekst jednolity Dz. U. 2016 poz. 124 z późn.zm.),

- Ustawa z dnia 20 czerwca 1997r. - Prawo o ruchu drogowym (tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 1643 z późn.zm.),
- Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych (tekst jednolity Dz.U. 2020 poz. 470 z późn.zm.).

2. Opis eksperymentu symulacyjnego

2.1 Przebieg procesu

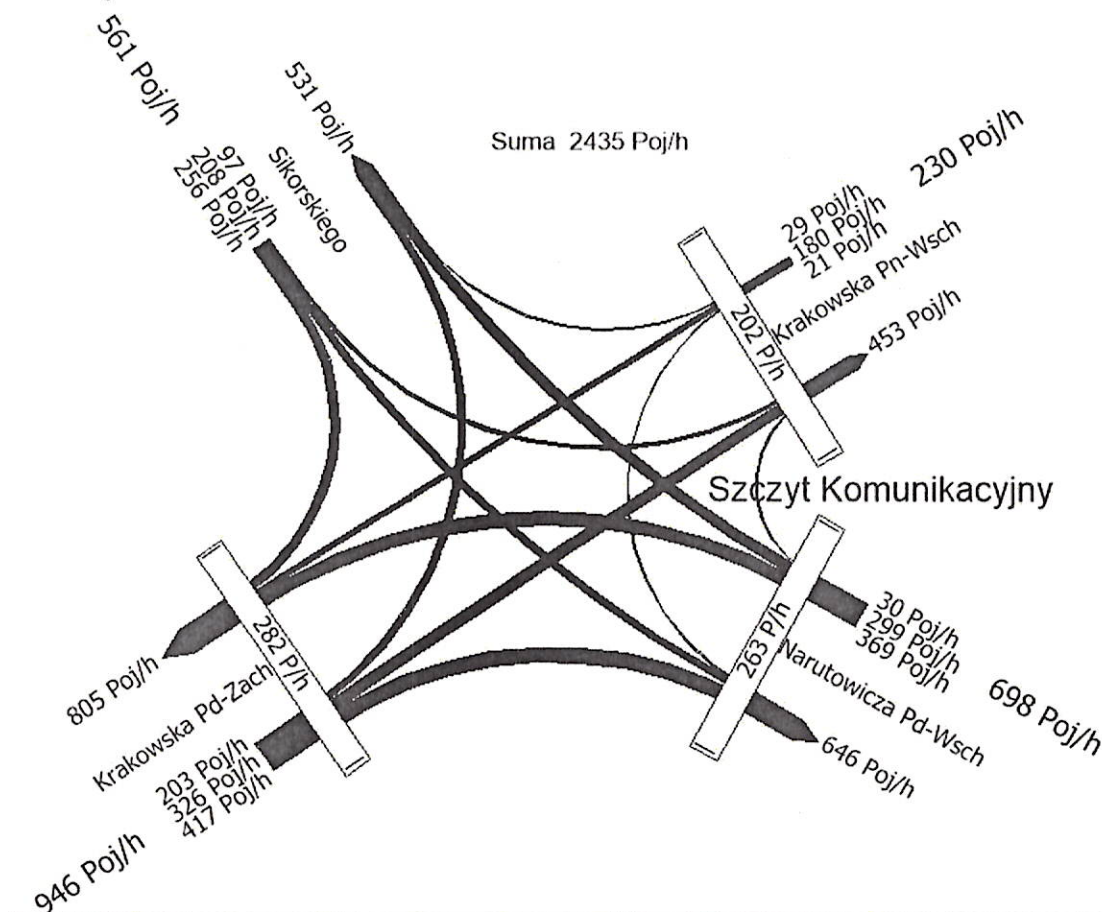
Eksperyment symulacyjny zostanie przeprowadzony na dwóch wariantach przebudowy układu drogowego, tak aby wskazać korzystniejsze rozwiązanie dla całego układu.

Pierwszym etapem jest analiza pomiarów przekazanych przez zamawiającego – wykonanych specjalnie dla tego zadania. Następnie sporządzone zostaną dwa modele mikrosymulacyjne bazujące na tych samych warunkach ruchowych tak, aby symulacja porównawcza dała jak najbardziej porównywalne wyniki.

Ponadto zasymulowane sąsiednie skrzyżowanie na ulicy Narutowicza – z ulicą Bandrowskiego, tak, aby zbadać wpływ tego skrzyżowania na poszczególne warianty.

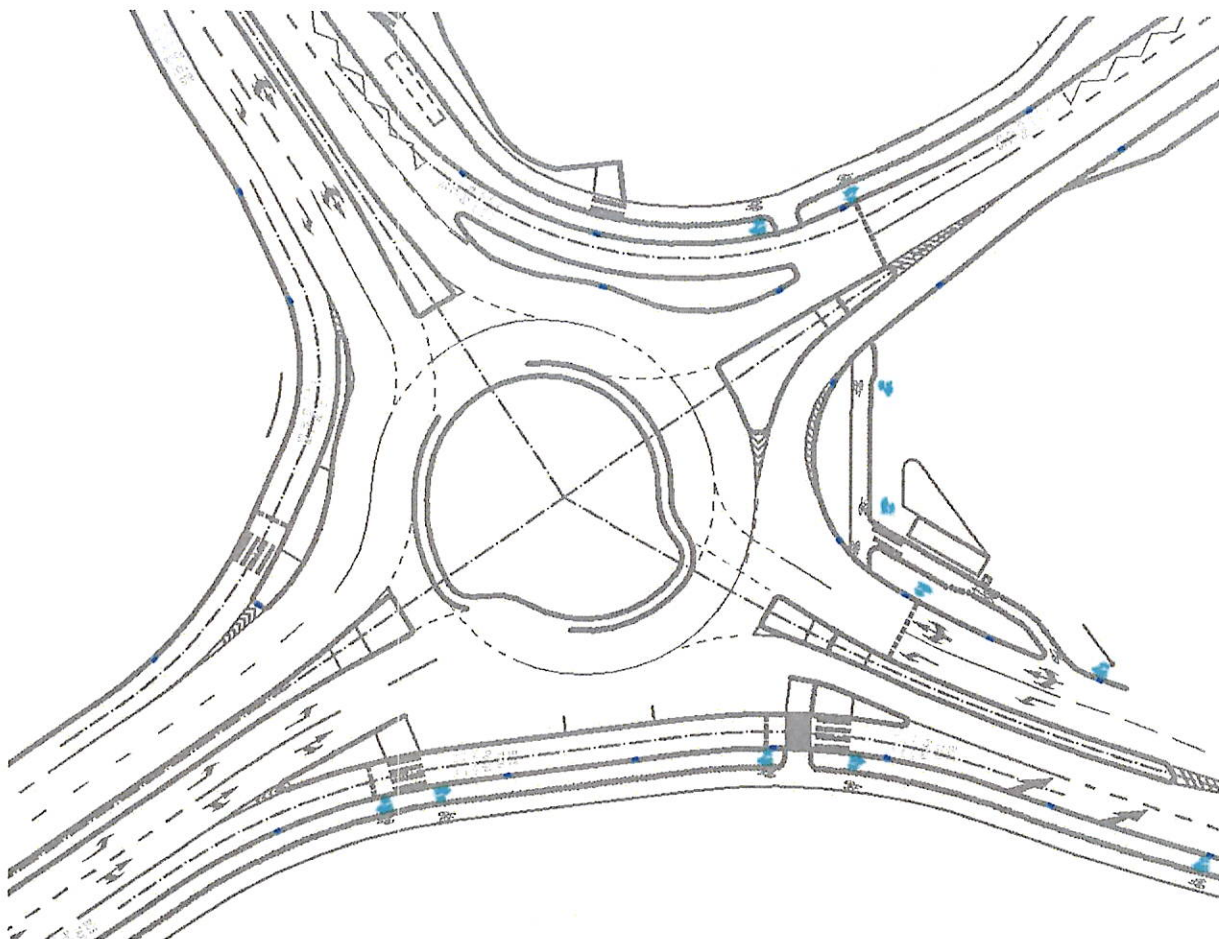
2.2 Pomiary ruchu

Na potrzeby przeprowadzenia symulacji, zamawiający przekazał wykonane pomiary ruchu. Pomiary wykonano zarówno dla pojazdów, jak i pieszych poruszających się po przedmiotowym skrzyżowaniu. Wyniki pomiarów zaprezentowano poniżej w postaci kartogramu ruchu.



2.3 Wariant 1a – rondo

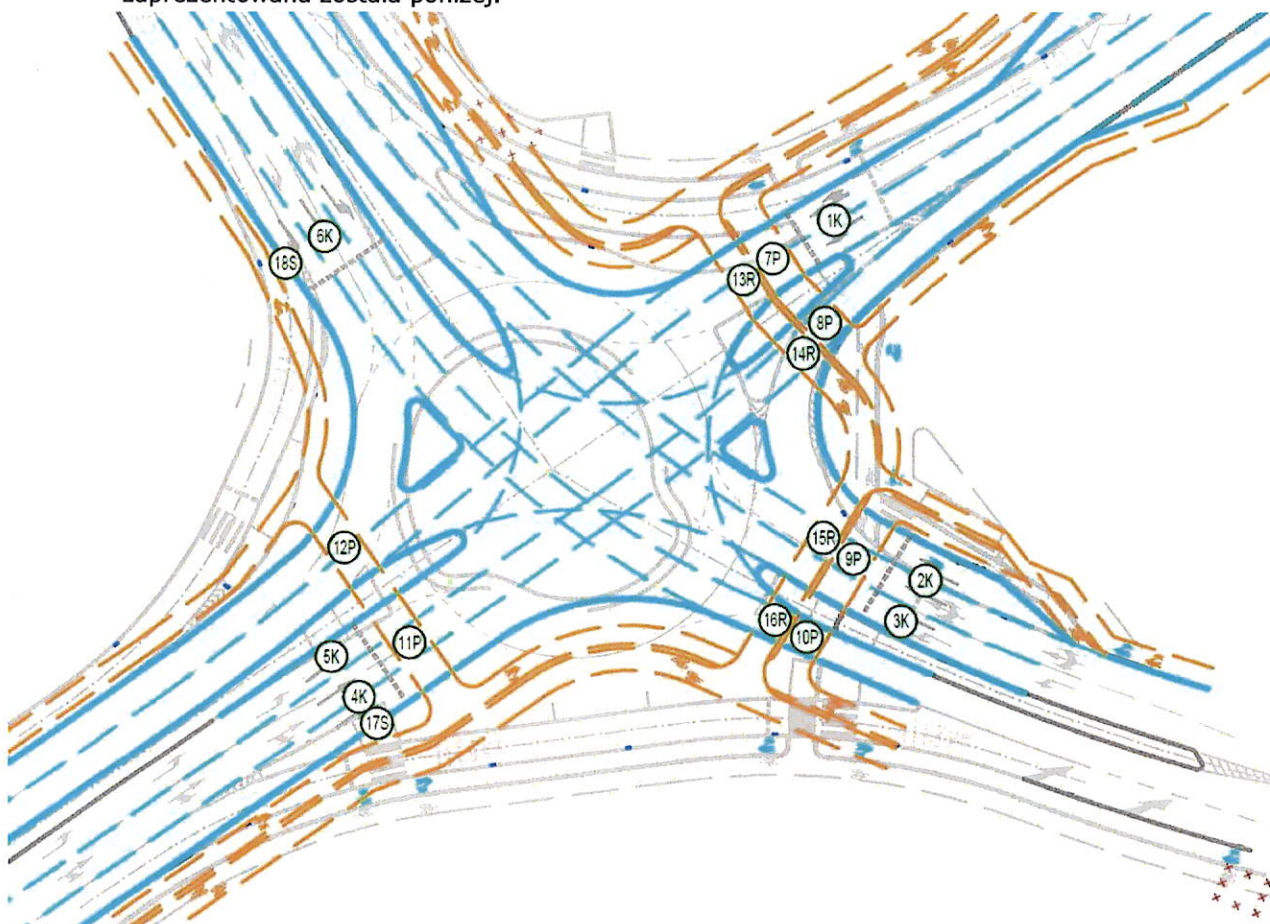
Na potrzeby przeprowadzenia symulacji, zamawiający przekazał planowaną geometrie ronda. Geometria, wraz z układem pasów zaprezentowana została na poniższym obrazku.



2.4 Wariant 2a – skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną

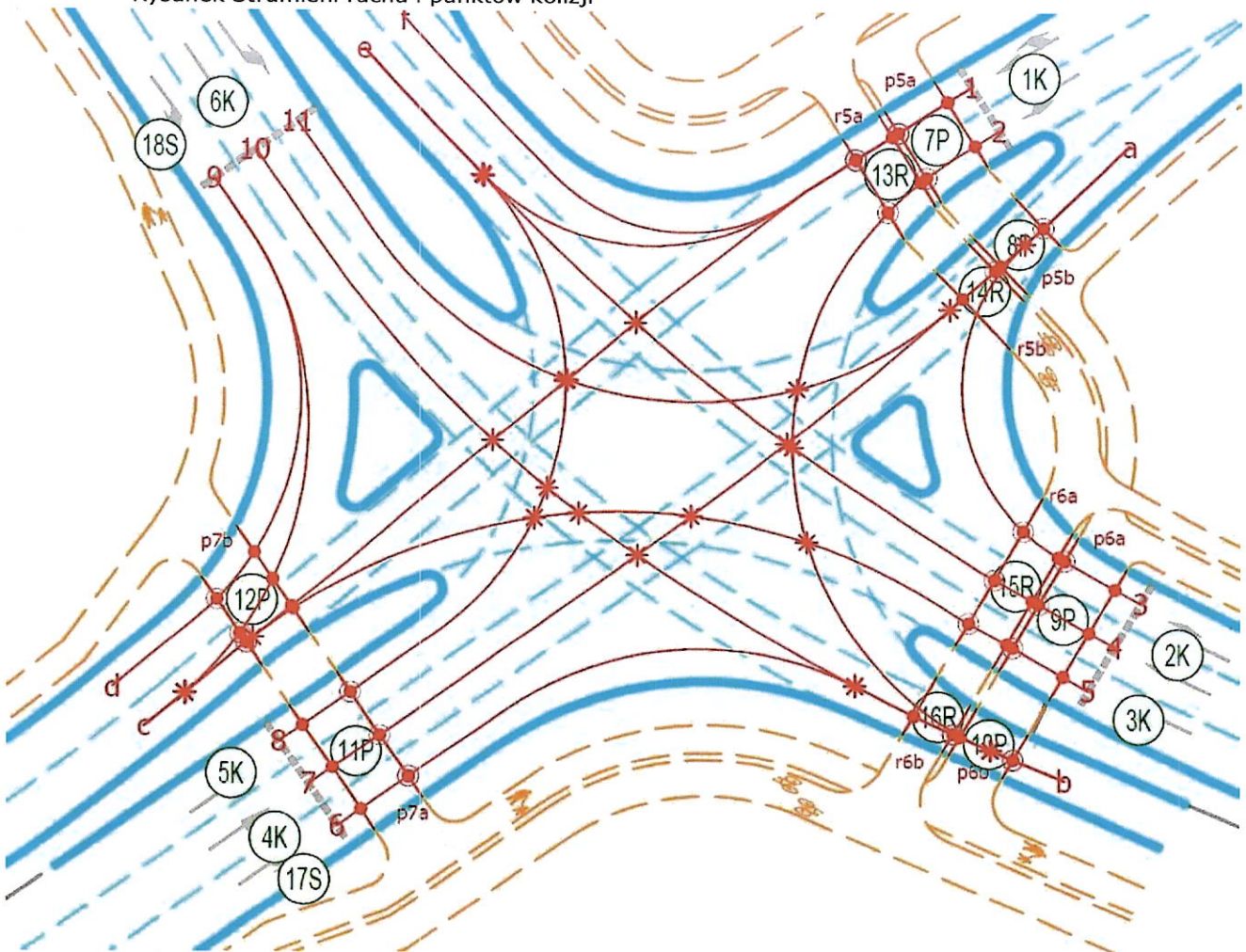
Na potrzeby przeprowadzenia symulacji, wykonano koncepcje sygnalizacji świetlnej wraz z programami sygnalizacji świetlnej oraz obliczeniami przepustowości dla tego układu.

Zaproponowana geometria skrzyżowania (nałożona na geometrie ronda) zaprezentowana została poniżej.



Dla sygnalizacji wysowano strumienie ruchu oraz wyliczono kolizje i tablicę czasów międzyzielonych.

Rysunek Strumieni ruchu i punktów kolizji



Wyliczona tablica czasów międzyzielonych

Tablica Sumarycznych Min. Czasów Międzyzielonych dla Krakowska-Narutowicza

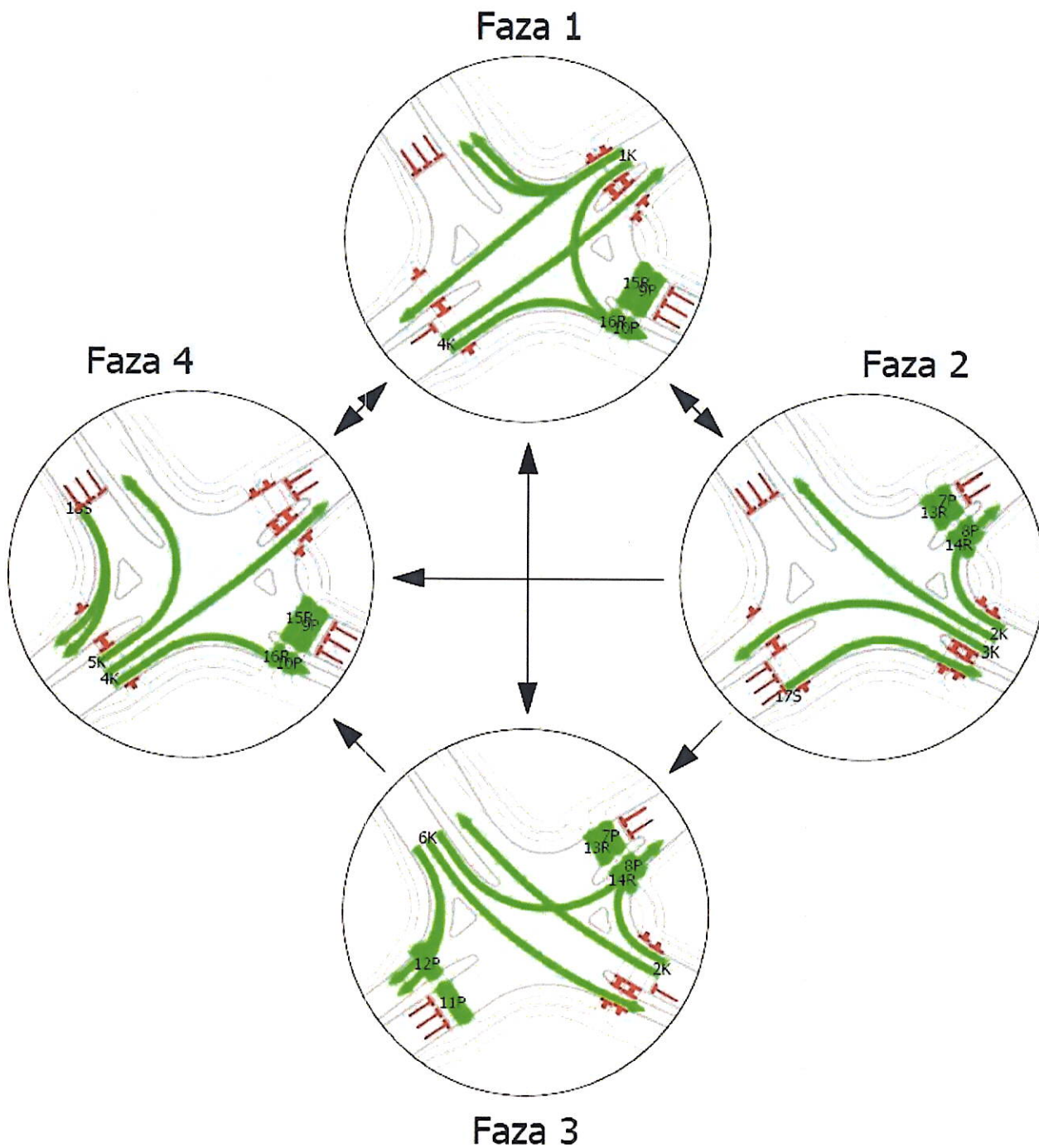
DOJAZD

	1K	2K	3K	4K	5K	6K	7P	8P	9P	10P	11P	12P	13R	14R	15R	16R	17S	18S
1K		5	6		4	6	6	6			10	10	6	6			3	5
2K	5			3	4				6	6					6	6		
3K	5			4	5	6			5	5	10	10			5	5		5
4K		6	4			4	10	10			5	5	10	10			3	
5K	6	5	3			5					5	5						
6K	6		4	5	4				11	11					11	11	4	3
7P	5			1														
8P	5			1														
9P		7	7			1											1	
10P		7	7			1											1	
11P	1		1	7	7												7	2
12P	1		1	7	7												7	2
13R	5			1														
14R	5			1														
15R		7	7			1											1	
16R		7	7			1											1	
17S	2			1		1			8	8	4	4			8	8		
18S	1		1			1					6	6						

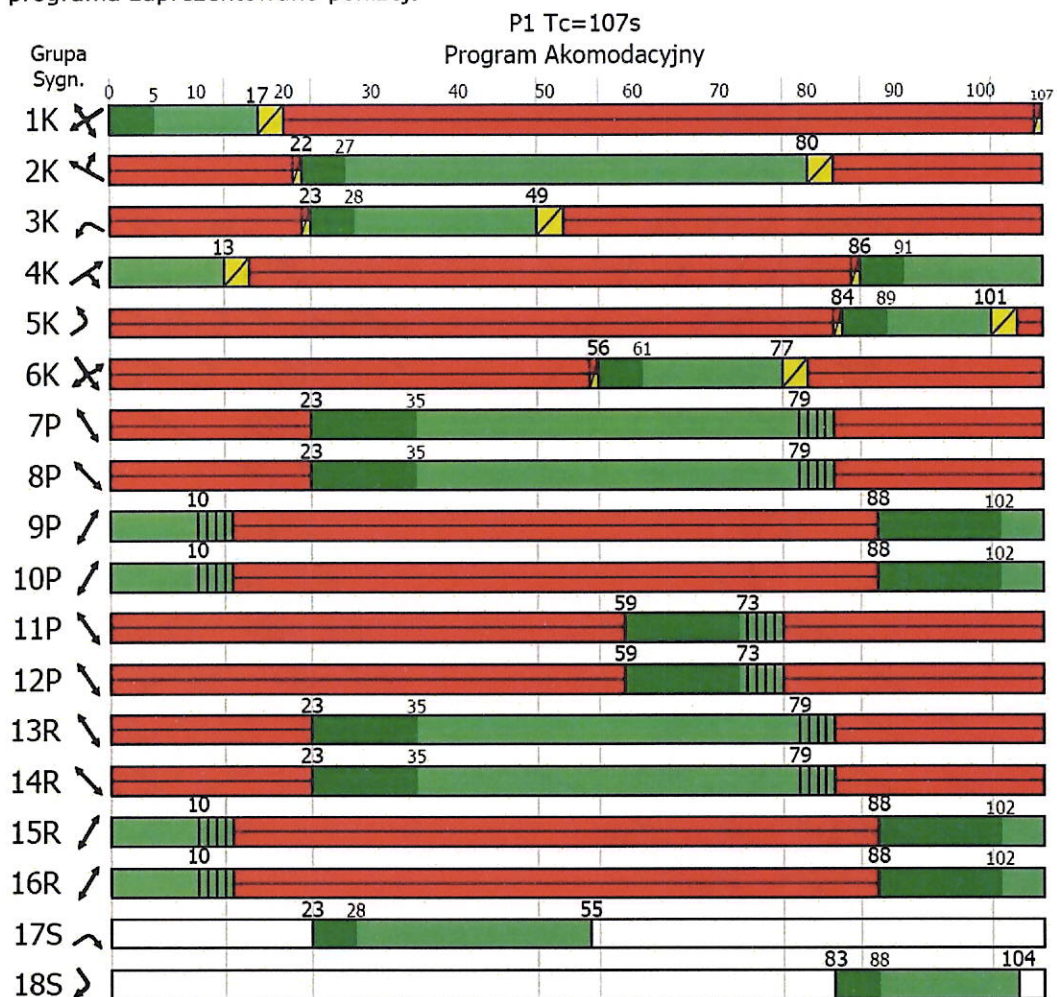
EWAKUACJA

Dla sygnalizacji zaproponowano układ 4-fazowy z fazami lewoskrętnymi dla relacji z dużym obciążeniem dla lewoskrętów, tj wlot zachodni ulicy krakowskiej oraz wlot ul. Narutowicza.

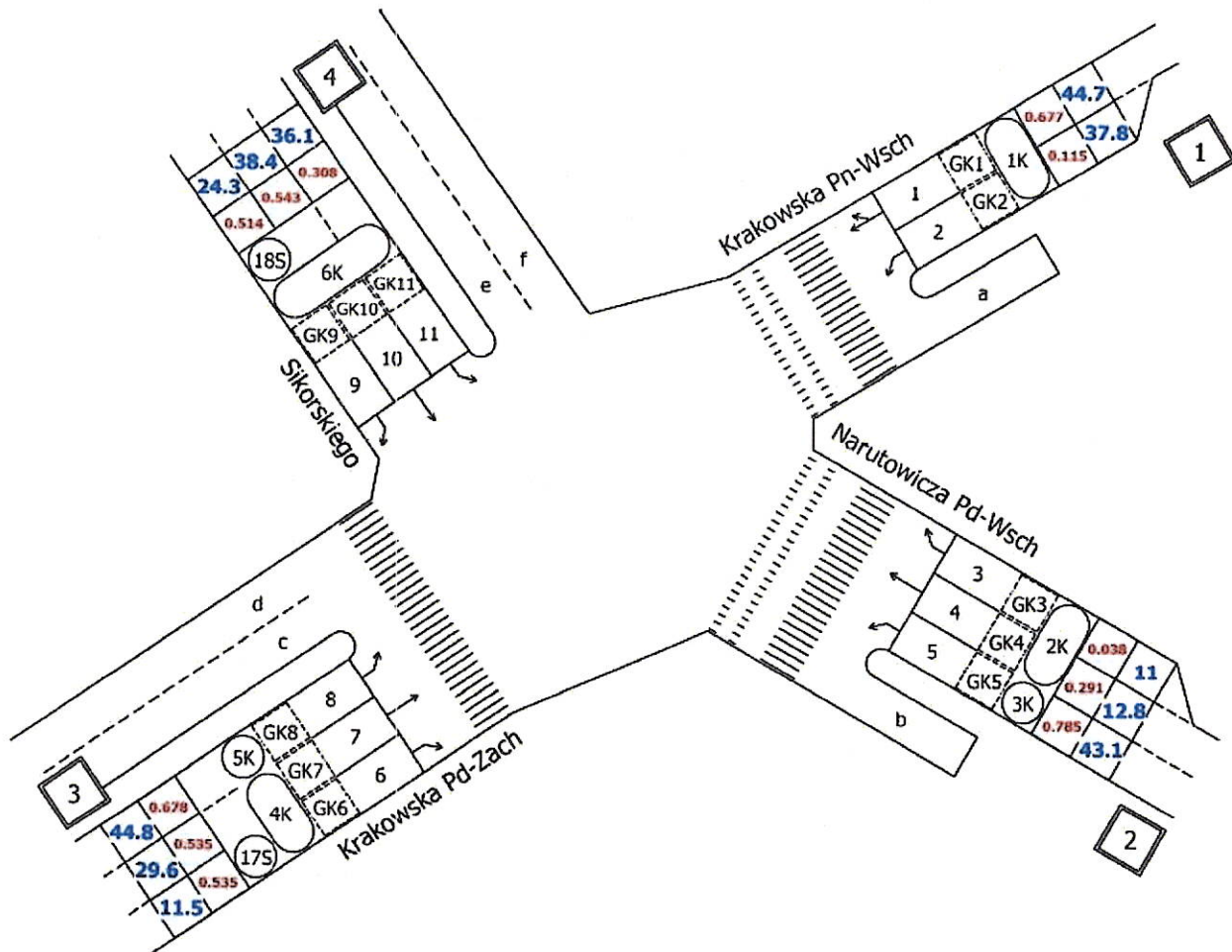
Układ faz ruchu zaprezentowano poniżej:



Dla tego układu ułożono optymalny program sygnalizacji. Diagramy stanów tego programu zaprezentowano poniżej.



Wykonano pełne obliczenia przepustowości sygnalizacji, a wyniki w postaci graficznej zaprezentowano poniżej.



Stopień obciążenia grupy pasów Xgr [-]
Średnie straty czasu grupy pasów dgr [s/P]

3. Model mikrosymulacyjny

3.1 Narzędzia do budowy modelu

Do przygotowania mikrosymulacyjnego modelu ruchu użyty został PTV Vissim w wersji 2022.SP.13 Program umożliwiający analizę i ocenę warunków ruchu, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu sygnalizacji świetlnej, geometrii, konfiguracji pasów ruchu, struktury rodzajowej pojazdów, natężenia ruchu zarówno dla ruchu kołowego jak i pieszego oraz rowerowego.

Program pozwala na analizę warunków ruchu zarówno kołowego oraz komunikacji zbiorowej, z uwzględnieniem wielu zmiennych. Dodatkowym atutem jest możliwość modelowania ruchu pieszych oraz ruchu rowerowego z transportem publicznym i ruchem indywidualnym. Vissim jest bardzo dokładnym programem symulacyjnym wykorzystującym w ruchu logikę, działając jak psychofizyczny model, który „naśladuje” zachowania poszczególnych pojazdów w ruchu. Dodatkowo symulator ruchu w programie, uwzględnia takie sytuacje jak np. ustąpienia pierwszeństwa dwóm sąsiednim pojazdom na przeciwległych pasach ruchu na drodze wielopasowej, czy też fakt, iż w odległości 100 m od sygnalizacji świetlnej uwaga kierujących jest podwyższona. To tylko niektóre czynniki, które w połączeniu z modelem Wiedemann’a 74 sprawiają, że symulator ruchu w programie Vissim jest bardzo dokładny.

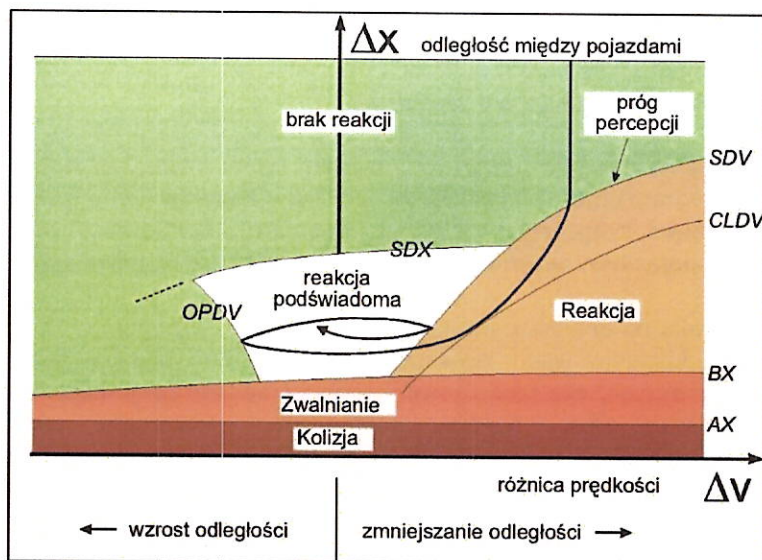
Podstawowym założeniem modelu Wiedemann’a jest to, że kierowca szybciej poruszającego się pojazdu zaczyna hamować, gdy osiągnie swój indywidualny próg percepcji pojazdu poruszającego się wolniej. Ponieważ nie może on dokładnie określić prędkości pojazdu wolniejszego, więc hamuje tak długo aż jego prędkość spadnie poniżej prędkości tamtego pojazdu i następnie lekko przyspiesza po osiągnięciu kolejnego progu percepcji. Prowadzi to do iteracyjnego procesu przyspieszania i hamowania. Poniżej pokazano graficzną interpretację modelu jazdy za liderem Wiedemann’a.

Rozkłady stochastyczne progów prędkości i progów przestrzennych odwzorowują charakterystyki indywidualnych zachowań kierowcy. Model był kalibrowany drogą wielokrotnych pomiarów terenowych na Uniwersytecie Technicznym w Karlsruhe. Okresowe pomiary i w ich wyniku uaktualnienie parametrów modelu gwarantują uwzględnianie zmian w zachowaniu kierowców i konstrukcji pojazdów.

Na drogach wielopasowych kierowcy w modelu zaimplementowanym w Vissimie „biorą pod uwagę” nie tylko samochody jadące przed nimi, ale także pojazdy na sąsiednich pasach ruchu.

Model wykonany w programie Vissim symuluje ruch jako przemieszczanie się jednostkowych pojazdów przez sieć. Każdy kierowca ze swoim określonym konkretnym typem zachowania jest przypisany do konkretnego pojazdu. W konsekwencji zachowanie kierowców jest wynikiem technicznych parametrów ich pojazdów. Każda jednostka poruszająca się po sieci może być scharakteryzowana przez trzy typy cech:

- Cechy pojazdu (np. długość, maksymalna prędkość, maksymalne przyspieszenie, pozycja w sieci, prędkość i przyspieszenie chwilowe);
- Cechy kierowcy (np. zdolność do szacowania, skłonność do ryzyka, czas reakcji, pamięć, wybór przyspieszenia w zależności od warunków na drodze);
- Niezależność pojedynczego pojazdu od innych (np. położenie i interakcje względem innych pojazdów, odcinków sieci, węzłów, sygnalizacji).



Model jazdy za liderem Wiedemanna

Jedną z wielu zalet programu PTV Vissim jest różnorodność dodatkowych modułów pozwalających na uzyskiwanie wyników do przeprowadzenia zróżnicowanych analiz opartych na wynikach symulacji ruchu takich jak: analizy efektywności ruchu drogowego, warunków ruchu, ekonomicznych czy środowiskowych.

3.2 Budowa modelu

3.2.1 Parametry symulacji

Czas trwania symulacji to 5400s – pełna godzina symulacji, z której otrzymywane są wyniki i poprzedzający ją 15 minutowy okres „rozgrzania sieci” oraz kończący 15 minutowy okres „wychłodzenia sieci”.

Dla uśrednienia wyników z przeprowadzonych symulacji wykonano 3 przebiegów dla każdego analizowanego okresu ze zmiennymi danymi wejściowymi, czyli tzw. „ziarnem”. Dzięki takiemu podejściu w bardziej wiarygodny sposób odwzorowuje się losowy napływ pojazdów do sieci. Pozostałe parametry pozostawiono bez zmian w ustawieniu domyślnym. Poniżej zrzut ekranu z parametrami symulacji.

 Simulation parameters

? ×

General Meso

Comment:

Period: 5400 s Simulation seconds

Start time: 00:00:00

Start date: 12/ 1/2025

Simulation resolution: 10 Time step(s) / simulation second

Random Seed: 42

Number of runs: 3

Random seed increment: 1

Dynamic assignment volume increment: 0.00 %

Simulation speed:

☐ Factor: 10.0

☒ Maximum

☐ Retrospective synchronization

☐ Break at: 0 s Simulation seconds

Number of cores: use all cores

OK

Cancel

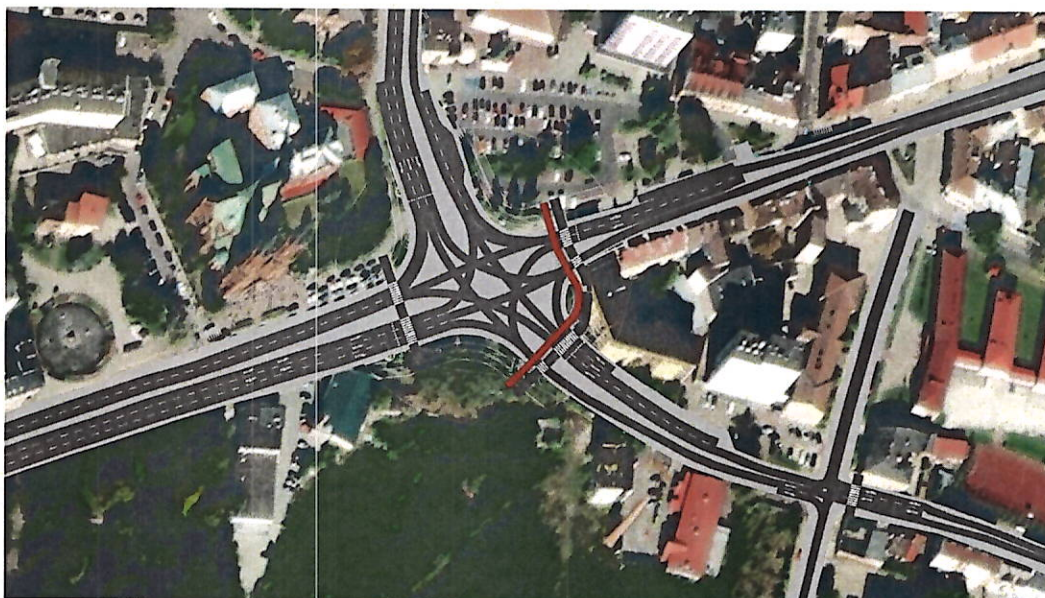
3.2.2 Model sieci drogowej

Modele sieci drogowej zostały wykonane w oparciu o plik dwg dostarczony przez Zamawiającego. Geometria skrzyżowania została odwzorowana na podstawie projektowanej oraz proponowanej sieci drogowej. Szerokości poszczególnych elementów zostały dostosowane do plików projektowych. Odwzorowano organizację ruchu oraz infrastrukturę drogowo-transportową, w tym Transport Publiczny.

Przy budowie modelu sieci drogowej Wykonawca symulacji bazował na instrukcji przygotowanej przez producenta oprogramowania PTV Vissim, zachowując przy tym wszystkie normy oraz wytyczne budowy modelu mikrosymulacji. Model do testów został przygotowany w skali 1:1.

Poniżej przedstawiono kilka grafik obrazujących wygląd modelu sieci drogowej zbudowanego w programie PTV Vissim.

Do budowy modelu wykorzystano „odcinki”, które są standardowymi odcinkami i tzw. łącznikami. Podstawową zasadą budowy modelu było, zgodnie z wytycznymi do modelowania, wykorzystanie jak najmniejszej liczby odcinków, aby pojazdy w poprawny sposób zmieniały pasy ruchu.



3.2.3 Natężenie ruchu, struktura ruchu – generatory pojazdów, trasy przejazdów, struktury pojazdów

Do modelu wprowadzono natężenia ruchu zgodne z kartogramami przedstawionymi w części dotyczącej syntezy wyników z pomiarów ruchu.

Natężenia, które zostały wygenerowane w generatorach natężenia („Generatory pojazdów”), są równe tym wyznaczonym przez Zamawiającego. Generatory ruchu zostały umieszczone na odcinkach nie krótszych niż 100 metrów, co zapewnia wystarczającą odległość dla zdefiniowania oraz poprawnego funkcjonowania „drogi pojazdów” (Statyczne Trasy Przejazdów), która odpowiada za kierunkowe rozłożenie natężenia ruchu.

Natężenia ruchu i ich rozkład kierunkowy zostały wprowadzone do modelu z zachowaniem interwałów 15 minutowych. W modelu pojawiają się 6 interwałów (wartości podane w sekundach):

Count: 6	Start	End
1	0,0	900,0
2	900,0	1800,0
3	1800,0	2700,0
4	2700,0	3600,0
5	3600,0	4500,0
6	4500,0	MAX

Pierwszy okres to okres tzw. rozgrzania sieci – wyniki z tych 15 minut nie są brane do analizy, jednak okres ten jest konieczny, aby napełnić sieć pojazdami i odwzorować rzeczywiste warunki ruchu na skrzyżowaniu. Jeżeli nie pojawiłby się taki okres w analizie, wyniki byłyby zaburzone, ponieważ na skrzyżowaniu nie było by np. kolejek z poprzedniego okresu. Przez to uzyskalibyśmy zakłamanie, że warunki ruchu są lepsze niż w rzeczywistości.

Kolejne okresy od 900 s do 4500 to 4 kolejne 15 minutowe okresy odpowiadające analizowanej godzinie. Natężenia podane dla poszczególnych interwałów są podane w jednostce „pojazdy/godzinę” a nie „pojazdy/interwał”, ponieważ taka jest specyfika programu PTV Vissim.

Ostatni okres to tzw. wychłodzenie sieci, które pozwala na zakończenie przez pojazdy, które rozpoczęły swój przejazd w analizowanej godzinie, swoich podróży. Okres ten nie jest uwzględniany w analizie, jednak jest konieczny, aby wyniki z modelu nie zostały zakłamane.

Struktury pojazdów zostały nieco uproszczone względem kategorii pojazdów z pojazdów, jednak z uwagi na niewielki wpływ na wyniki symulacji zdecydowano wprowadzić do modelu podział pojazdów na: osobowe, ciężarowe i autobusy. Z uwagi na niski udział pojazdów ciężkich na skrzyżowaniu (co wskazano w części raportu dotyczącej badań ruchu) zdecydowano się na zastosowanie uproszczenia – przyjęto 2% udział pojazdów. Dodatkowo niezależnie zamodelowano linie autobusowe z natężeniami zgodnymi badaniem ruchu.

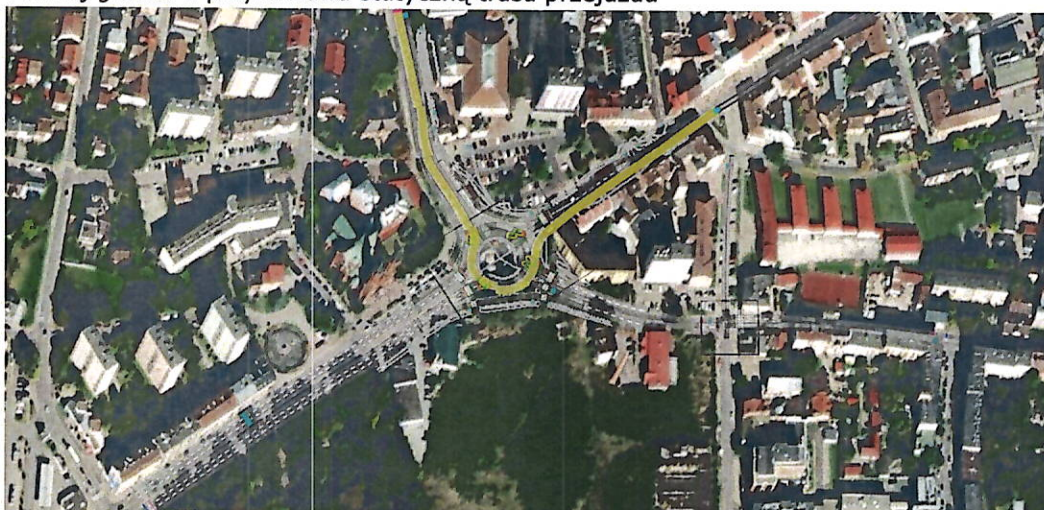
Funkcje i rozkłady (tj. parametry dotyczące rozkładów masy czy mocy pojazdów oraz funkcje określające parametry przyspieszenia i opóźnienia pojazdów) pozostawiono w modelu bez zmian względem ustawień domyślnych.

Poniżej przedstawiono grafikę pokazującą listę generatorów pojazdów

Symulacja porównawcza na skrzyżowaniu ul. Krakowska - Narutowicza – Sikorskiego.

Count: 13	No	Name	Link	Volume(0-900)	Volume(900-1800)	Volume(1800-2700)	Volume(2700-3600)	Volume(3600-4500)
1	1	Sikorskiego wlot Polnoc	6	528.0	472.0	620.0	564.0	560.0
2	2	Krakowska wlot Wschod	22	148.0	176.0	196.0	280.0	228.0
3	3	Narutowicza wlot Południe	58	616.0	684.0	644.0	604.0	776.0
4	4	Krakowska wlot Zachod	2	760.0	892.0	928.0	928.0	896.0
5	5	Krakowska Wschod Piesi	33	31.0	128.0	100.0	88.0	88.0
6	6	Krakowska Wschod Piesi	32	31.0	128.0	100.0	88.0	88.0
7	7	Narutowicza Południe Piesi	31	57.0	196.0	112.0	192.0	184.0
8	8	Narutowicza Południe Piesi	30	35.0	120.0	72.0	88.0	88.0
9	9	Krakowska Zachod Piesi	29	53.0	200.0	152.0	108.0	108.0
10	10	Krakowska Zachod Piesi	28	72.0	156.0	140.0	192.0	72.0
11	11	Bandrowskiego Polnoc	53	84.0	88.0	60.0	84.0	52.0
12	12	Narutowicza Bandrowskiego Piesi	60	25.0	19.0	20.0	18.0	15.0
13	13	Narutowicza Bandrowskiego Piesi	61	25.0	19.0	20.0	18.0	15.0

Poniżej grafika z przykładową statyczną trasą przejazdu



W modelu zaimplementowano transport zbiorowy zgodnie dostarczonym badaniem ruchu, Poniżej przedstawiono przykładową implementację linii transportu zbiorowego.

Count: 8	No	Name	EntryLink	DestLink	DestPos	EntTmOffset	VehType	DesSpeedDistr	Color
1	1		22	12	106.450	0.0	300: Bus	50: 50 km/h	(255, 190, 0, 0)
2	2		6	5	228.290	0.0	300: Bus	50: 50 km/h	(255, 0, 168, 0)
3	3		22	5	231.482	0.0	300: Bus	50: 50 km/h	(255, 224, 224, 0)
4	4		58	5	142.138	0.0	300: Bus	50: 50 km/h	(255, 0, 168, 168)
5	5		58	12	106.714	0.0	300: Bus	50: 50 km/h	(255, 168, 0, 168)
6	6		2	12	105.802	0.0	300: Bus	50: 50 km/h	(255, 0, 0, 0)
7	7		2	18	395.117	0.0	300: Bus	50: 50 km/h	(255, 127, 255, 212)
8	8		2	59	143.464	0.0	300: Bus	50: 50 km/h	(255, 138, 43, 226)

Poniżej przedstawiono grafikę z przebiegiem przykładowej linii transportu zbiorowego.

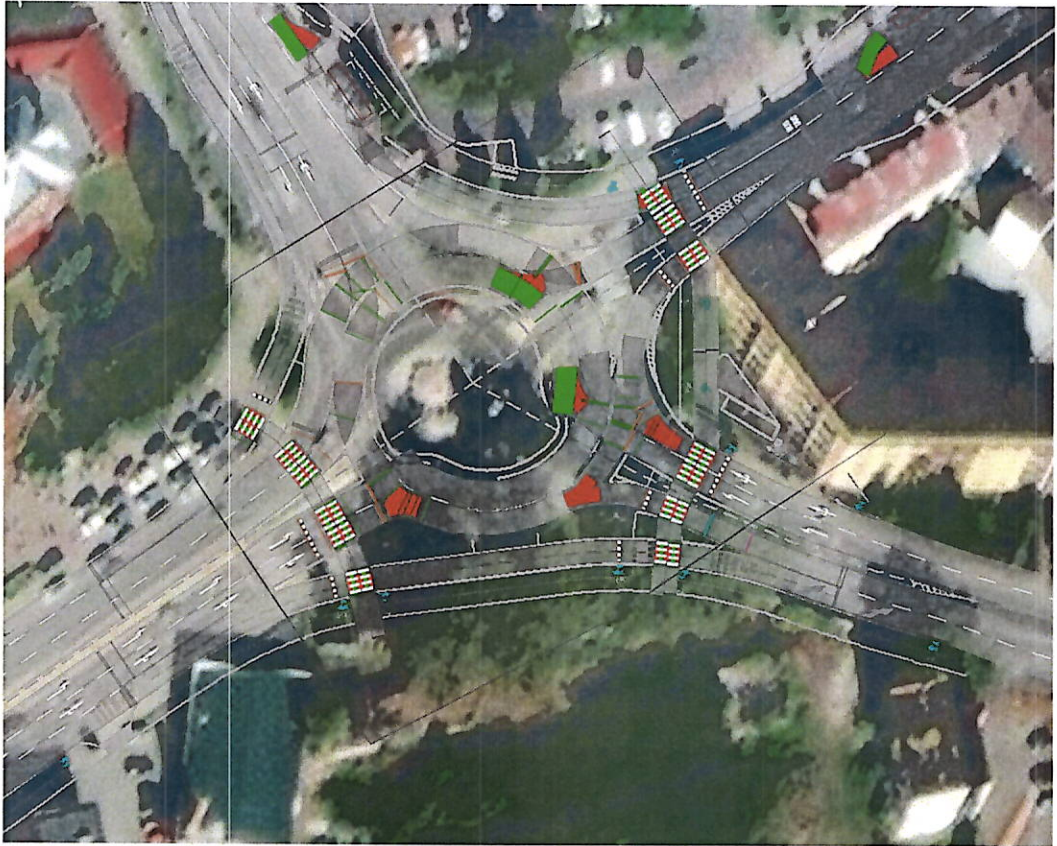


W modelu odwzorowano również ruch pieszych na przejściach dla pieszych na podstawie danych dostarczonych przez Zamawiającego.

3.2.4 Pola kolizji

W modelu zostały zastosowane pola kolizji oraz punkty pierwszeństwa w celu modelowania punktów kolizji między pojazdami oraz pieszymi. Zgodnie z wytycznymi producenta oprogramowania punkty zostały zdefiniowane, aby odwzorować inteligentne zachowanie pojazdów oraz aby definiować pierwszeństwo przecinających się potoków ruchu.

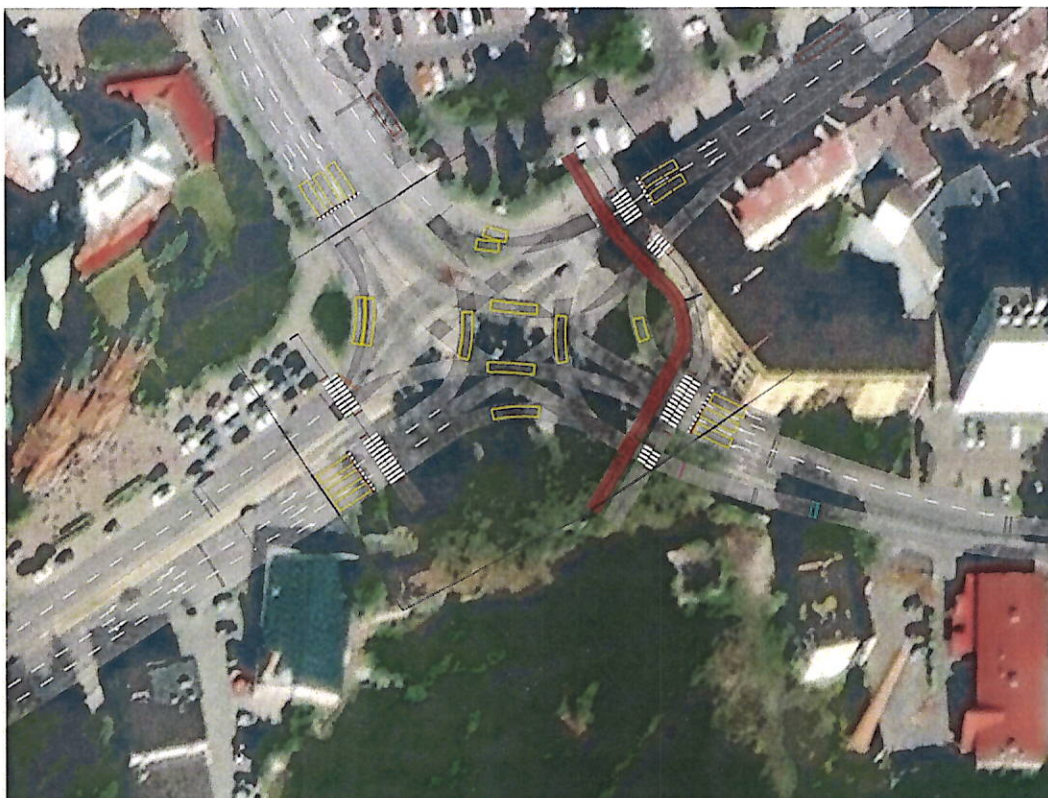
Na grafice poniżej przedstawiono zaimplementowane i skonfigurowane w modelu pola kolizji.



3.2.5 Obszary ograniczonej prędkości

W celu odwzorowania jak najbardziej rzeczywistych zachowań kierowców na skrętach zastosowano obszary ograniczonej prędkości, które mają na celu ograniczenie prędkości na łuku. Poniżej pokazano jak strefy wyglądają w Vissimie oraz pokazano przykład rozkładu prędkości pożądanej, który jest wykorzystywany przy omawianych strefach.

Poniżej zrzut ekranu z modelu z zaimplementowanymi strefami redukcji prędkości.



Poniżej zrzut ekranu z listą stref redukcji prędkości z przypisanymi im rozkładami prędkości w oparciu o promienie skreću.

Count: 21	No	Name	Lane	Pos	Length	TimeFrom	TimeTo	DesSpeedDistr(10)
1	5		10023 - 1	11.154	4.820	0	MAX 25: 25 km/h	
2	11		10009 - 1	18.802	4.820	0	MAX 25: 25 km/h	
3	12		10060 - 1	20.856	4.820	0	MAX 25: 25 km/h	
4	13		10065 - 1	11.513	9.961	0	MAX 25: 25 km/h	
5	14		10055 - 1	32.307	9.961	0	MAX 25: 25 km/h	
6	15		10064 - 1	28.556	9.961	0	MAX 25: 25 km/h	
7	16		10062 - 1	19.899	9.961	0	MAX 25: 25 km/h	
8	18		10068 - 1	13.714	9.961	0	MAX 25: 25 km/h	
9	19		10067 - 1	8.853	9.961	0	MAX 25: 25 km/h	
10	20		10059 - 1	12.439	9.961	0	MAX 25: 25 km/h	
11	21		1 - 1	19.650	8.000	0	MAX 25: 25 km/h	
12	22		1 - 2	19.653	8.000	0	MAX 25: 25 km/h	
13	23		1 - 3	19.641	8.000	0	MAX 25: 25 km/h	
14	24		69 - 3	8.631	8.000	0	MAX 25: 25 km/h	
15	25		69 - 2	8.671	8.000	0	MAX 25: 25 km/h	
16	26		69 - 1	8.237	8.000	0	MAX 25: 25 km/h	
17	27		20 - 2	12.327	8.000	0	MAX 25: 25 km/h	
18	28		20 - 1	12.190	8.000	0	MAX 25: 25 km/h	
19	29		8 - 3	41.597	8.000	0	MAX 25: 25 km/h	
20	30		8 - 2	41.866	8.000	0	MAX 25: 25 km/h	
21	31		8 - 1	41.803	8.000	0	MAX 25: 25 km/h	

3.2.6 Prędkości pojazdów

W modelu odwzorowano obowiązujące na analizowanym obszarze ograniczenia prędkości. W całym modelu przyjęto prędkość 50 km/h. Punkty pomiarowe

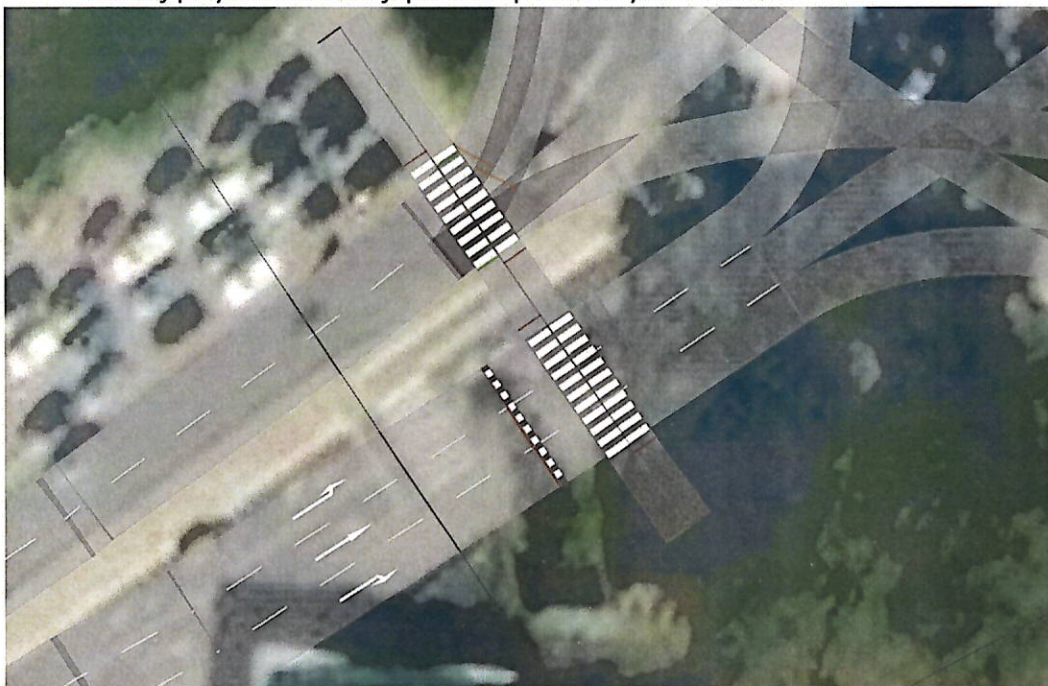
W modelu zostały zastosowane punkty pomiarowe, z których zostały pozyskane dane do analizy modelu. Wszystkie punkty pomiarowe zostały rozlokowane zgodnie ze standardami budowy modelu mikrosymulacyjnego oraz wytycznymi producenta oprogramowania Vissim.

3.2.7 Punkty Pomiarowe

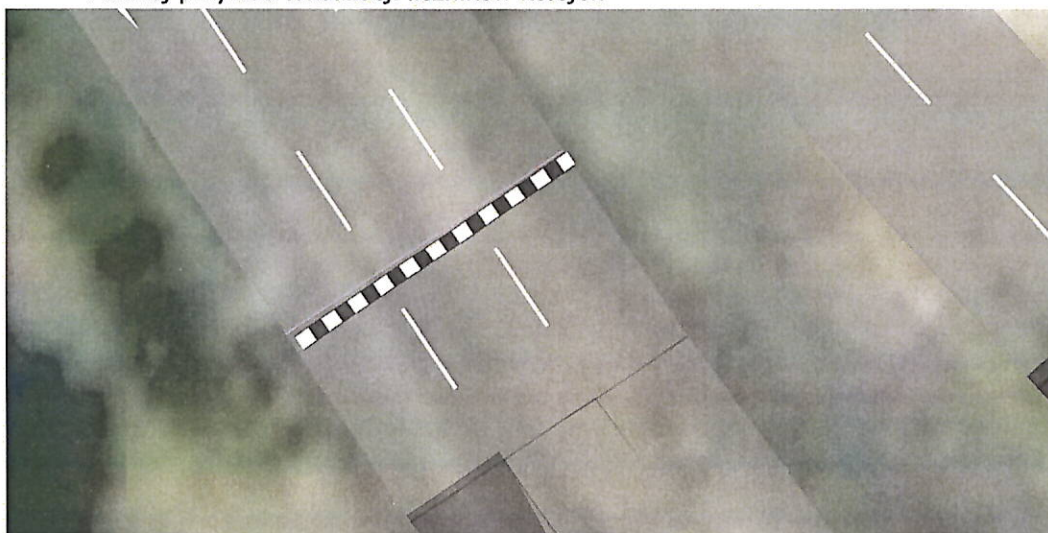
Do sprawdzenia natężeń oraz udziału relacji zostały użyte „Punkty pomiarowe”, które dostarczają informacji o ilości, prędkości i stratach czasów pojazdów, liczby zatrzymań dla pojazdów indywidualnych oraz komunikacji miejskiej. Kolejnym punktem pomiarowym zastosowanym w modelu jest „Licznik kolejek”, stosowane do obliczeń długości kolejek i ich zasięgu. Na skrzyżowaniach wchodzących w skład testowego odcinka symulacji zostały umieszczone punkty pomiarowe dla czasów przejazdów, mierzące czas przejazdu, liczbę pojazdów, osobno dla wszystkich rodzajów pojazdów oraz autobusów komunikacji. Na wlotach poszczególnych skrzyżowań punkty pomiarowe zostały umieszczone na linii warunkowego zatrzymania bądź nie dalej niż jeden metr od linii zatrzymania.

Dodatkowo wyniki są pobierane poprzez dodanie do sieci obiektów takich jak „Węzły”, które są definiowane w obszarze każdego skrzyżowania. Dzięki zastosowaniu Węzłów możliwe jest zebranie danych w obrębie węzła (czyli tak naprawdę skrzyżowania) o poziomie swobody ruchu, długościach kolejek dla poszczególnych kierunków/pasów ruchu, stratach czasu, średnim czasie zatrzymania, emisjach, zużyciu paliwa.

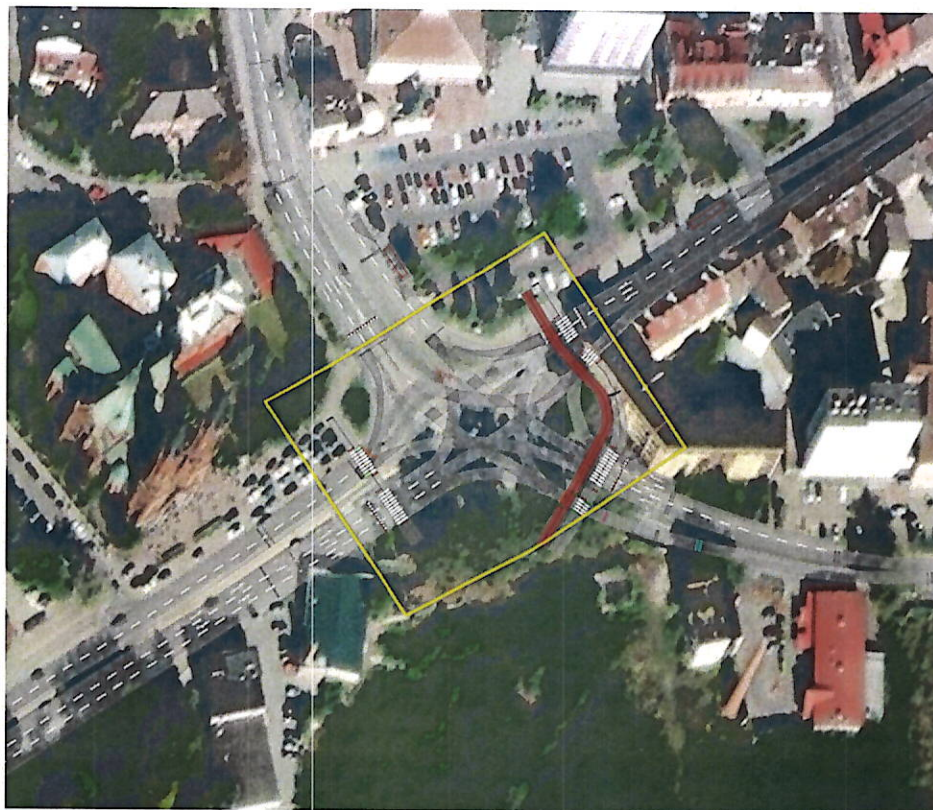
Poniżej przykład lokalizacji punktów pomiarowych w modelu



Poniżej przykład lokalizacji liczników kolejek



Poniżej widok definicji Węzła



3.3 Sygnalizacja świetlna

Dane wejściowe dla sygnalizacji świetlnej, które zostały użyte do budowy modelu bazowego opierają się na stworzonej koncepcji pracy sygnalizacji.

Wykorzystane dane bazowe:

- układ faz
- programy pracy sygnalizacji,
- czasy międzyzielone,

Na podstawie tych danych stworzony został plik .sig, który został zaimplementowany w modelu.

3.3.1 Sygnalizatory

Sygnalizacja świetlna w Vissimie jest implementowana poprzez wprowadzenie elementów nazwanych w Vissimie jako obiekt „Sygnalizatory” zostały one wprowadzone na wszystkich skrzyżowaniach w miejscach linii zatrzymania. Wskazują one miejsce zatrzymania pojazdu oraz wskazują (swoim kolorem) zezwolenie na ruchu (kolor zielony) lub jego brak.

Poniżej przykład sygnalizatorów na liniach warunkowego zatrzymania sterujących ruchem pojazdów w modelu.



Poniżej przykładowa konfiguracja ustawień sygnalizatora.

The 'Signal Head' window displays the following configuration:

- No.: 9
- Name: (empty)
- Link - lane: 8 - 3
- At: 49.715 m
- SC - Signal group: 1 - 6: 6K
- Type: Circular
- Or signal group: (empty)
- SC - Signal group: (empty)
- Rate of compliance: 100.00 %
- ☐ Discharge record active
- ☐ Is block signal
- Amber speed: 0.00 km/h
- ☒ Show label
- Vehicle classes
 - ☒ All vehicle types
 - ☐ 10: Car
 - ☐ 20: HGV
 - ☐ 30: Bus
 - ☐ 40: Tram
 - ☐ 50: Pedestrian
 - ☐ 60: Bike

Buttons: OK, Cancel

3.3.2 Programy sygnalizacji

Zaimplementowane w modelu bazowym zostały na skrzyżowaniach programy sygnalizacji świetlnej opracowane na etapie tworzenia koncepcji proponowanego wariantu sterowanego sygnalizacją.

Poniżej lista grup sygnalizacyjnych zaimplementowana w pliku .sig z wykorzystaniem programu VISSIG.

Symulacja porównawcza na skrzyżowaniu ul. Krakowska - Narutowicza – Sikorskiego.

Fixed time - SC 1

File Edit

My signal control 1

- Signal groups
- Intergreen matrices
 - 1: Intergreen matrix 1
- Signal programs
 - 1: Signal program 1
 - Signal group based

No	Name	Notes
1	1K	
2	2K	
3	3K	
4	4K	
5	5K	
6	6K	
7	7P	
8	8P	
9	9P	
10	10P	
11	11P	
12	12P	
13	13R	
14	14R	
15	15R	
16	16R	
17	17S	
18	18S	

Poniżej odwzorowanie programu SP1.

Fixed time - SC 1

File Edit

My signal control 1

- Signal groups
- Intergreen matrices
 - 1: Intergreen matrix 1
- Signal programs
 - 1: Signal program 1
 - Signal group based

Name: Signal program 1

Intergreens: None

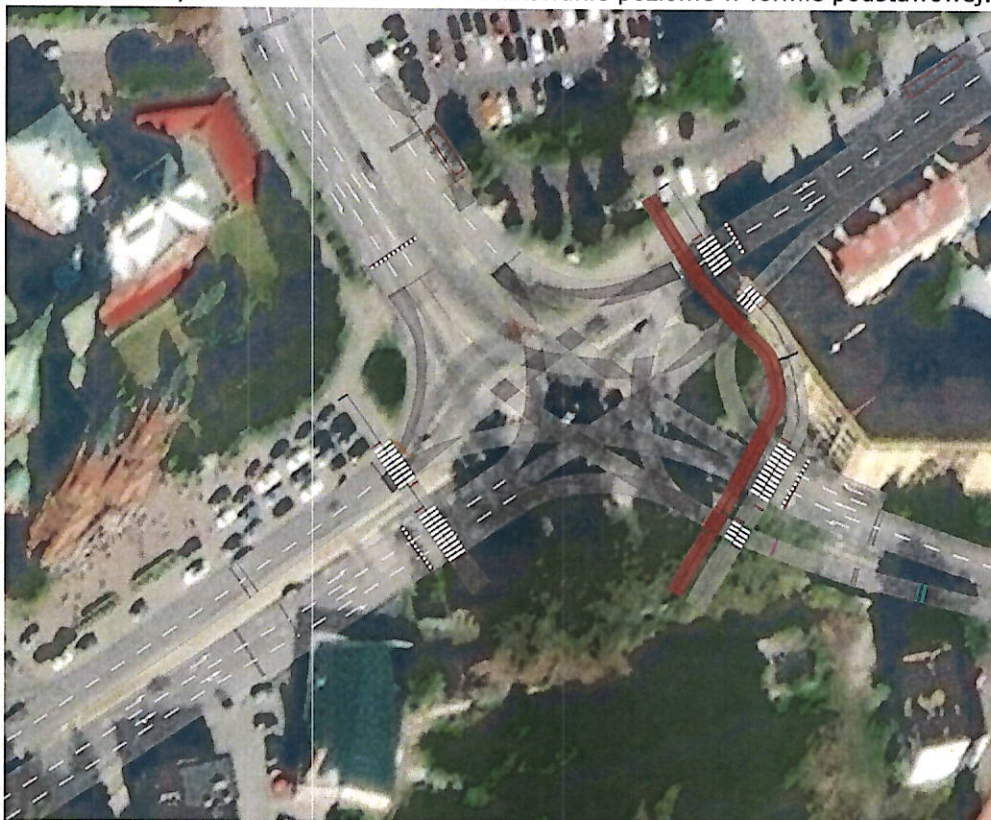
Cycle time: 107 Offset: 0 Switching time: 0

No	Signal group	Signal sequence	0	16	23	30	40	50	60	70	80	90	100			
2	2K	Red-Red/												21	80	1 3
3	3K	Red-Red/												22	49	1 3
4	4K	Red-Red/												85	13	1 3
5	5K	Red-Red/												83	101	1 2
6	6K	Red-Red/												55	77	1 3
7	7P	Red-Green-F												23	79	
8	8P	Red-Green-F												23	79	
9	9P	Red-Green-F												85	10	
10	10P	Red-Green-F												88	10	
11	11P	Red-Green-F												59	73	
12	12P	Red-Green-F												59	73	
13	13R	Red-Green-F												23	79	
14	14R	Red-Green-F												23	79	
15	15R	Red-Green-F												88	10	
16	16R	Red-Green-F												88	10	
17	17S	Red-Green												23	55	
18	18S	Red-Green												83	104	

3.4 Elementy graficzne

3.4.1 Organizacja pozioma

Na skrzyżowaniu odwzorowano oznakowanie poziome w formie podstawowej.



3.5 Kalibracja modelu

3.5.1 Definicja kalibracji i jej kryteria

Kalibracja modelu jest procesem iteracyjnym, w którym sprawdza się zgodność zbudowanego modelu ze stanem rzeczywistym. Zgodność sprawdza się na podstawie założonych wskaźników. Przeprowadzenie kalibracji modelu jest niezwykle istotne z uwagi na otrzymanie jak najbardziej wiarygodnych wyników badań symulacyjnych.

Przebieg odcinków i lokalizację różnych elementów modelu odwzorowano na podstawie ortofotomapy, która jest tłem w przygotowanym modelu.

Podstawowym kryterium kalibracji było otrzymanie symulacji o stabilnym przebiegu. Dodatkowo kalibrowano parametry zasad pierwszeństwa przejazdu w zakresie luki czasowej i przestrzennej jaka musi być spełniona, aby pojazd ustępujący pierwszeństwo mógł zjechać z tarczy skrzyżowania.

Poniżej znajdują się wyniki kalibracji.

To Link	Movement ID	Node or Data Col	Model	Obserwowane		Różnica		GEH
			Pojazdy	Pojazdy	Razem	Pojazdy	Razem	Pojazdy
18	1_101_9_18	Node	95	97	97	2	2	0.2
14	1_101_9_14	Node	194	208	208	14	14	1.0
4	1_101_9_4	Node	235	249	249	14	14	0.9
14	1_101_20_14	Node	17	20	20	3	3	0.7
4	1_101_20_4	Node	170	171	171	1	1	0.1
10	1_101_20_10	Node	31	29	29	-2	-2	0.4
4	1_101_15_4	Node	295	355	355	60	60	3.3
10	1_101_15_10	Node	238	292	292	54	54	3.3
18	1_101_15_18	Node	27	30	30	3	3	0.6
10	1_101_1_10	Node	191	188	188	-3	-3	0.2
18	1_101_1_18	Node	305	315	315	10	10	0.6
14	1_101_1_14	Node	400	408	408	8	8	0.4
55	1_102_57_55	Node	19	25	25	6	6	1.3
17	1_102_57_17	Node	559	664	664	105	105	4.2
54	1_102_57_54	Node	135	173	173	38	38	3.1
59	1_102_53_59	Node	12	12	12	0	0	0.0
55	1_102_53_55	Node	20	16	16	-4	-4	0.9
17	1_102_53_17	Node	41	43	43	2	2	0.3
54	1_102_52_54	Node	97	91	91	-6	-6	0.6
59	1_102_52_59	Node	494	450	450	-44	-44	2.0
55	1_102_52_55	Node	20	18	18	-2	-2	0.5

3.6 Analizowane Scenariusze

Na bazie dwóch strategii modelem dla poszczególnych wariantów geometrycznych.

Poniżej przedstawiono zestawienie z wyjaśnieniem dwóch scenariuszy, które zostały zamodelowane w programie VISSIM.

3.6.1 *Wariant 1a - rondo*



3.6.2 *Wariant 2a - sygnalizacja*



3.6.3 Wynik Strat czasu

Straty czasu zostały przedstawione zarówno dla poszczególnych kierunków oraz jako średnie wartości dla poszczególnych wlotów.

Wlot	Kierunek	Wariant 1a - Rondo (s)	Wariant 2a - Skrzyżowanie (s)	Różnica (s)
(Pn)Sikorskiego	(Wsch) Krakowska	2.9	29.9	27.1
	(Pd) Narutowicza	11.8	36.7	24.9
	(Zach) Krakowska	11.8	20.5	8.7
(Wsch) Krakowska	(Pd) Narutowicza	7.0	23.5	16.5
	(Zach) Krakowska	7.0	46.4	39.4
	(Pn)Sikorskiego	7.0	46.4	39.4
(Pd) Narutowicza	(Zach) Krakowska	26.1	39.5	13.5
	(Pn)Sikorskiego	30.0	16.2	-13.8
	(Wsch) Krakowska	39.2	10.9	-28.3
(Zach) Krakowska	(Pn)Sikorskiego	463.6	5.4	-458.2
	(Wsch) Krakowska	534.3	24.7	-509.6
	(Pd) Narutowicza	534.3	49.6	-484.8

Wlot	Kierunek	Wariant 1a - Rondo (s)	Wariant 2a - Skrzyżowanie (s)	Różnica (s)
(Pn)Sikorskiego	(Wsch) Krakowska	8.8	29.0	20.2
	(Pd) Narutowicza			
	(Zach) Krakowska			
(Wsch) Krakowska	(Pd) Narutowicza	7.0	38.7	31.7
	(Zach) Krakowska			
	(Pn)Sikorskiego			
(Pd) Narutowicza	(Zach) Krakowska	31.8	22.2	-9.5
	(Pn)Sikorskiego			
	(Wsch) Krakowska			
(Zach) Krakowska	(Pn)Sikorskiego	510.7	26.5	-484.2
	(Wsch) Krakowska			
	(Pd) Narutowicza			

3.6.4 Długości kolejek

Zasięg kolejek został przedstawiony w trzech kategoriach, maksymalny oraz średni zasięg kolejki oraz liczba zatrzymań.

Średnia Długość Kolejek			
Wlot	Wariant 1a - Rondo (m)	Wariant 2a - Skrzyżowanie (m)	Różnica (m)
(Pn)Sikorskiego	11.5	20.5	9.0
(Wsch) Krakowska	2.0	21.5	19.5
(Pd) Narutowicza	31.1	25.8	-5.2
(Zach) Krakowska	255.0	27.9	-227.1

Maksymalny Zasięg Kolejek			
Włot	Wariant 1a - Rondo (m)	Wariant 2a - Skrzyżowanie (m)	Różnica (m)
(Pn)Sikorskiego	131.0	101.5	-29.5
(Wsch) Krakowska	36.9	110.0	73.1
(Pd) Narutowicza	183.1	135.9	-47.2
(Zach) Krakowska	286.9	94.1	-192.8

Liczba Zatrzymań			
Włot	Wariant 1a - Rondo	Wariant 2a - Skrzyżowanie	Różnica
(Pn)Sikorskiego	194	472	278
(Wsch) Krakowska	100	228	128
(Pd) Narutowicza	794	409	-385
(Zach) Krakowska	3650	638	-3012
suma	4738	1747	-2991

4. Wnioski i rekomendacje

Dla wykonanej analizy przedstawiamy wnioski z wykonanej symulacji.

4.1 Dokładność modelu i jego wykorzystanie

Wyniki kalibracji i walidacji modelu wskazują, iż został on wykonany z wysoką dokładnością (patrz punkt 3.5.1). Ponadto wyniki średnich strat czasu są bardzo zbliżone do wyników uzyskanych metodą obliczeniową (patrz punkt 2.4).

W związku z powyższym uznaje się, że zbudowany model w bardzo dobry sposób oddaje zachowania kierowców i wpływ wariantów na warunki ruchu panujące na skrzyżowaniu. Model można w przyszłości wykorzystać w celu analizy innych wariantów lub ostatecznego rozwiązania.

4.2 Wpływ ruchu pieszych na proponowane warianty

Symulacja jasno pokazuje ogromny wpływ ruchu pieszego na rozwiązanie proponowane w wariantcie 1a. Z uwagi na brak kontroli napływu pieszych na rondzie (ruch pieszych na skrzyżowaniu jest znaczący) – przepustowość ronda jest bardzo ograniczona. W przypadku wariantu z sygnalizacją, z uwagi na pełne sterowanie potoków ruchu, wpływ ten zmarginalizowano poprzez stworzenie odpowiednich faz ruchu.

4.3 Wybór korzystniejszego rozwiązania

Uzyskane wyniki jasno wskazują, iż wariant z sygnalizacją będzie korzystniejszym rozwiązaniem. PSR (Poziom Swoboda Ruchu) w wariantcie z rondem wykracza daleko na poziom IV (przy średnich stratach czasu na poziomie 500s), natomiast w wariantcie z sygnalizacją jest on na poziomie II – gdzie wszystkie strumienie ruchu pojazdów zoptymalizowano tak, aby średnie straty czasu nie przekroczyły 45s.

Z analizy porównawczej jasno wynika, iż możliwość sterowania sygnalizacją świetlną w tym układzie daje możliwość zapewnienia optymalnych warunków ruchu dla wszystkich relacji, czego absolutnie nie da się zapewnić w przypadku rozwiązania z rondem.

4.4 Dodatkowe rekomendacje

Podczas przeprowadzania symulacji wielokrotnie zaobserwowano odkładanie się sporej kolejki na ulicy Narutowicza między przedmiotowym skrzyżowaniem a skrzyżowaniem z ulicą Bandrowskiego. Spowodowane, jest to niekontrolowanym dopływem ruchu od strony tego drugiego, co w konsekwencji może spowodować problemy zarówno ruchowe jak i bezpieczeństwa po wdrożeniu.

Zdecydowanie zaleca się analizę możliwości wdrożenia sygnalizacji również na skrzyżowaniu Narutowicza-Bandrowskiego, celem kontroli ruchu napływającego z/do tego skrzyżowania. Ponadto należy wziąć pod uwagę, iż w okolicach południowego wlotu ulicy Bandrowskiego zostanie w przyszłości oddane osiedle mieszkaniowe co również, może negatywnie wpłynąć na warunki ruchu na tym skrzyżowaniu.

