



# Model Transportowy Aglomeracji Warszawskiej

## Model ruchu

POLITECHNIKA KRAKOWSKA, 2017

Niniejszy dokument został sporządzony do celów dydaktycznych dla studentów Politechniki Krakowskiej. Dokument opisuje intermodalny model podróży w Aglomeracji Warszawskiej, który jest wykorzystywany przez Miasto do planowania i zarządzania systemem transportowym.

Jest to wyciąg z opisu modelu wykonywanego w ramach Warszawskiego Badania Ruchu 2015 wykonywanego przez Politechnikę Krakowską wraz z PBS Sopot (wykonanie badań ankietowych), Politechniką Warszawską (model ciężarowy i rowerowy, funkcje oporu odcinka).

Pełna wersja dokumentu dostępna jest na stronie internetowej miasta Warszawy:

<http://transport.um.warszawa.pl/warszawskie-badanie-ruchu-2015/model-ruchu>.

dr inż. Rafał KUCHARSKI, lipiec 2017

## Spis treści

<b>WPROWADZENIE .....</b>	<b>5</b>
<b>I. SIEĆ TRANSPORTOWA .....</b>	<b>8</b>
1. DANE WEJŚCIOWE DO STWORZENIA MODELU SIECI .....	9
2. SIEĆ DROGOWA .....	10
2.1. SYSTEMY TRANSPORTOWE [TSys] .....	10
2.2. PARAMETRIZACJA ODCINKÓW [LINKTYPES] .....	10
2.3. CHARAKTERYSTYKA ODCINKÓW SIECI DROGOWO-ULICZNEJ [EDIOM] .....	11
2.4. PARAMETRIZACJA RELACJI SKRĘTNYCH [TURNS] .....	12
2.5. PARAMETRIZACJA SKRZYŻOWAŃ [MAINNODES] .....	12
3. OPÓR W SIECI DROGOWEJ .....	13
3.1. MODEL OPORU RELACJI SKRĘTNYCH .....	16
<i>EFEKTYWNE ZIELONE</i> .....	17
<i>PRZEPUSTOWOŚĆ RELACJI SYGNALIZOWANYCH</i> .....	18
<i>PRZEPUSTOWOŚĆ RELACJI NIESYGNALIZOWANYCH</i> .....	18
<i>CZAS PRZEJAZDU RELACJI SYGNALIZOWANYCH</i> .....	19
<i>CZAS PRZEJAZDU RELACJI SYGNALIZOWANYCH</i> .....	19
4. MODEL SIECI TRANSPORTU ZBIOROWEGO – PUT .....	19
4.1. DANE WEJŚCIOWE [BAZA ZTM W FORMACIE HAFAS] .....	19
4.2. ZAKODOWANE SYSTEMY TRANSPORTOWE [TSys] .....	20
4.3. ODCINKI DLA TRANSPORTU ZBIOROWEGO [LINKTYPES] .....	20
4.4. PARAMETRIZACJA PRZYSTANKÓW I WĘZŁÓW PRZESIADKOWYCH [STOPS, STOPPOINTS] .....	21
4.5. KODOWANIE PRZEBIEGÓW LINII I ROZKŁADÓW JAZDY [LINEROUTES] .....	22
5. PODZIAŁ NA REJONY KOMUNIKACYJNE .....	22
5.1. PODZIAŁ MODELU TRANSPORTOWEGO NA REJONY KOMUNIKACYJNE [ZONES] .....	22
5.2. WPROWADZENIE PODŁĄCZEŃ DO SIECI [CONNECTORS] .....	23
6. DODATKOWE ATRYBUTY ZASTOSOWANE W SIECI [UDA] .....	23
7. KLASYFIKACJA OBIEKTÓW W MODELU .....	24
7.1. REJONY [ZONES] .....	24
7.2. PODŁĄCZENIA [CONNECTORS] .....	24
7.3. WĘZŁY GŁÓWNE [MAINNODES] .....	24
7.4. WĘZŁY [NODES] .....	25
7.5. RODZAJE RELACJI SKRĘTNYCH [TURN/MAINTURN TYPE] .....	25
7.6. TYPOWE RELACJE SKRĘTNE .....	25
7.7. PUNKTY PRZYSTANKOWE [STOPPOINTS\STOPAREAS] .....	26
7.8. OPERATORZY [OPERATORS] .....	27
<b>II. OPIS BUDOWY MODELU POPYTU .....</b>	<b>28</b>
1. WPROWADZENIE .....	28
2. MODEL PASAŻERSKI .....	28
2.1. OKREŚLENIE MOTYWACJI PODRÓŻY .....	28
2.2. ZMIENNE OBJAŚNIAJĄCE .....	29
2.3. POTENCJAŁY RUCHOTWÓRCZE DLA REJONÓW WEWNĘTRZNYCH .....	30
2.4. PRZESTRZENNY ROZKŁAD PODRÓŻY .....	33

2.5. UDZIAŁ GODZINY SZCZYTU .....	34
2.6. PARKINGI PARK AND RIDE .....	35
2.7. MODEL WYBORU ŚRODKA TRANSPORTU .....	36
I. WYDZIELENIE PODRÓŻY NIEPIESZYCH .....	36
II. PODZIAŁ PODRÓŻY NIEPIESZYCH NA KOMUNIKACJE ZBIOROWĄ I INDYWIDUALNĄ .....	38
2.8. MODEL WYBORU ŚRODKA TRANSPORTU W AGLOMERACJI .....	42
3. MODEL ZEWNĘTRZNY .....	42
3.1. POTENCJAŁY RUCHOTWÓRCZE DLA REJONÓW ZEWNĘTRZNYCH – TRANSPORT INDYWIDUALNY .....	42
3.2. POTENCJAŁY RUCHOTWÓRCZE DLA REJONÓW ZEWNĘTRZNYCH – TRANSPORT ZBIOROWY.....	43
4. MODEL RUCHU TOWAROWEGO .....	44
5. MODEL RUCHU ROWEROWEGO PRYWATNEGO .....	44
<b>III. ROZKŁAD RUCHU NA SIĘĆ .....</b>	<b>44</b>
1. ROZKŁAD RUCHU NA SIĘĆ DROGOWĄ .....	44
2. ROZKŁAD PODRÓŻY KOMUNIKACJĄ ZBIOROWĄ .....	46
<b>IV. SPRAWDZENIE POPRAWNOŚCI MODELU .....</b>	<b>49</b>
1. WPROWADZENIE .....	49
2. ETAP GENERACJI I ROZKŁADU PRZESTRZENNEGO PODRÓŻY .....	49
2.1. PORÓWNANIE WSKAŹNIKÓW RUCHLIWOŚCI .....	49
2.2. OCENA ZGODNOŚCI LICZBY PODRÓŻY OBLICZONYCH W MODELU GRAWITACYJNYM Z WYNIKAMI BADAŃ .....	49
2.3. SPRAWDZENIE ZGODNOŚCI CZASÓW I ODLEGŁOŚCI PODRÓŻY.....	50
3. ETAP PODZIAŁU ZADAŃ PRZEWOZOWYCH.....	57
4. ETAP ROZKŁADU RUCHU W SIECI.....	60
4.1. PUNKTY KONTROLNE W TRANSPORCIE INDYWIDUALNYM .....	61
4.2. PUNKTY KONTROLNE W TRANSPORCIE ZBIOROWYM .....	62
<b>V. OPIS PROCEDUR W MODELU .....</b>	<b>63</b>
<b>VI. PROGNOZY RUCHU .....</b>	<b>66</b>
1. PROGNOZOWANE ZMIENNE OBJAŚNIAJĄCE.....	66
2. UWZGLĘDNIONE INWESTYCJE I ICH KOMBINACJE.....	69
3. MENADŻER SCENARIUSZY .....	73

## Wprowadzenie

Model ruchu określa jaki jest popyt (zapotrzebowanie) na podróże i jak sieć transportowa (podaż) zaspokaja te potrzeby. Model obejmuje podróże rozpoczynane lub kończone w Warszawie i jej najbliższym otoczeniu oraz przejazdy przez ten obszar. Zamodelowany stan sieci jest zgodny z typowym dniem roboczym (wtorek – czwartek). Model początkowo oddawał stan sieci w trakcie trwania Warszawskiego Badania Ruchu (jako reprezentatywny wybrano 23 kwietnia 2015 roku) ma on dzisiaj wartość jedynie historyczną, obecnie model reprezentuje stan sieci w roku 2016 (po otwarciu Mostu Łazienkowskiego, zakończeniu modernizacji Trasy Armii Krajowej, ale przed wprowadzeniem utrudnień związanych z przedłużeniem drugiej linii metra). Model przedstawia wyniki dla dwóch kluczowych okresów szczytowych: szczytu porannego (7:00 – 8:00) i szczytu popołudniowego (16:00 – 17:00) w których liczba podróży jest największa. Wybór godziny szczytu oparty został na wynikach badań ankietowych oraz pomiarów ruchu. W obu źródłach podane okresy charakteryzują się maksymalną liczbą podróży oraz szczytowymi natężeniami ruchu w sieci.

Celem modelu jest odtworzenie rzeczywistych przemieszczeń podróżnych i pojazdów w obrębie obszaru modelu na podstawie danych uzyskanych w szczególności w ramach badań ankietowych w gospodarstwach domowych oraz pomiarów natężeń ruchu i potoków pasażerskich.

Model uznaje się za zgodny z rzeczywistością, jeśli:

- 1) modelowane zachowania komunikacyjne są zgodne z deklarowanymi w badaniach,
- 2) modelowane przepływy pojazdów przez sieć drogową są zgodne ze zmierzonymi,
- 3) zamodelowane przepływy pasażerskie są zgodne ze zmierzonymi,
- 4) ogólne parametry funkcjonowania systemu transportowego (np. praca przewozowa, średnia prędkość, długość podróży) są zgodne z tymi wynikającymi z badań,
- 5) wpływ zmiany (np. w sieci transportowej) w modelu jest taki jak w rzeczywistości.

Przygotowany model może być używany do analiz aktualnej sieci transportowej i scenariuszy prognostycznych.

Opisywany model jest:

- makroskopowy; modelowane są przepływy pojazdów w ujęciu ciągłym, a nie dyskretnym (mikroskopowym),
- statyczny; wyniki modelu nie są zmienną czasu, a są agregowane do wartości godzinowych (np. potok jest wyrażony jako suma pojazdów w godzinie, a nie jako funkcja czasu),
- deterministyczny; wyniki przedstawiają oczekiwany, typowy stan sieci.

Model przekazany jest w formie algorytmu obliczeniowego, wraz z kompletem danych potrzebnych do wykonania obliczeń. Dzięki temu możliwe jest wykonanie obliczeń na nowo przy zmianie warunków wejściowych (np. nowe miejsca pracy, nowa linia metra, nowy most). W modelu zgodność z pomiarami uzyskano poprzez odpowiednią parametryzację sieci transportowej oraz modelu popytu, nie stosowano macierzy korekcji.

Model dla stanu istniejącego jest podstawą do wykonania prognoz ruchu, czyli analizy stanu systemu transportowego w przyszłości. W prognozach ruchu uwzględniono realizację planowanych inwestycji (zarówno drogowych jak i w transporcie zbiorowym), wzrost ruchliwości mieszkańców oraz przeznaczenie nowych terenów pod inwestycje (np. mieszkaniowe, komercyjne). Analiza wariantów prognostycznych

pozwała racjonalnie planować rozwój systemu transportowego miasta oraz oceniać kierunki zmian w zagospodarowaniu przestrzennym.

Model podróży jest narzędziem matematycznym pozwalającym w krótkim czasie na analizę efektów zmian w sieci transportowej i zagospodarowaniu przestrzennym miasta takich jak: budowa nowej drogi lub zamknięcie istniejącej, uruchomienie nowej linii lub remarszrutyzacja istniejącej siatki linii transportu zbiorowego, budowa nowego osiedla mieszkaniowego lub centrum handlowego.

Do budowy modelu wykorzystano dane ze źródeł pierwotnych, którymi były badania i pomiary wykonane w ramach WBR 2015 oraz dane ze źródeł wtórnych, t.j. dane statystyczne oraz wyniki badań i pomiarów przeprowadzonych przez inne podmioty.

Badania pierwotne w ramach WBR 2015 obejmowały:

- badanie zachowań komunikacyjnych mieszkańców Warszawy,
- pomiary natężenia ruchu,
- pomiary liczby pasażerów w pojazdach komunikacji zbiorowej,
- badanie pasażerów autobusów komunikacji regionalnej,
- pomiary natężeń i prędkości ruchu dla potrzeb aktualizacji parametrów funkcji oporu ulicy,
- badanie ruchu towarowego w aglomeracji.

Wykorzystanie danych ze źródeł wtórnych polegało między innymi na analizie wyników „Badań ruchu i przewozów w transporcie zbiorowym i indywidualnym w województwie mazowieckim” z 2014 roku (badanie wojewódzkie), wyników Generalnego Pomiaru Ruchu 2015 oraz na analizie danych Głównego Urzędu Statystycznego, Zarządu Dróg Miejskich, Zarządu Transportu Miejskiego i przewoźników kolejowych. Badanie ankietowe w gospodarstwach domowych zrealizowano na próbie 17 000 mieszkańców Warszawy, w wieku 6 lub więcej lat, odwiedzając w tym celu 9 067 gospodarstw domowych. Realizacja wywiadów w gospodarstwach domowych trwała od 9 kwietnia do 27 czerwca 2015 r. Pomiary natężenia ruchu i liczby pasażerów w środkach transportu zbiorowego w kilkuset punktach pomiarowych trwały od 28 kwietnia do 11 czerwca. Badanie pasażerów autobusów komunikacji regionalnej przeprowadzono metodą wywiadów bezpośrednich z wykorzystaniem tabletów na 16 przystankach, z których odjeżdżają autobusy komunikacji regionalnej. Badanie ruchu towarowego w aglomeracji przeprowadzono od 9 maja do 27 czerwca 2015. W badaniu wzięło udział 1519 kierowców samochodów przewożu towarowego, którzy w codziennych trasach poruszają się po obszarze Aglomeracji Warszawskiej, lub przynajmniej rozpoczynają albo kończą swoje trasy na tym obszarze.

Warszawskie Badania Ruchu były przeprowadzane w latach 1980, 1993, 1998, 2005, jednak ich wyniki mają jedynie wartość historyczną. W modelu wykorzystano jedynie wyniki badań z 2005 przy określaniu ruchu tranzytowego.

Z uwagi na utrudnienia w funkcjonowaniu sieci transportowej, mające miejsce w okresie pomiarów (m.in. zamknięcie mostu Łazienkowskiego, ograniczenie przepustowości niektórych ciągów drogowych) skutkujące dynamicznymi zmianami zachowań komunikacyjnych oraz wielkości ruchu, a także ograniczenia techniczne pomiarów ręcznych, część wyników wzbudziła wątpliwości, przede wszystkim przy kalibracji modelu podróży. Z tego też względu do weryfikacji wyników modelu wykorzystano wiarygodne dane przekazane przez jednostki miejskie: Zarząd Dróg Miejskich (synteza wyników Automatycznego Pomiaru Ruchu za drugą połowę 2016 roku), oraz Zarząd Transportu Miejskiego (synteza pomiarów oraz wybór reprezentatywnych punktów kalibracyjnych w transporcie publicznym). Wyniki wymienionych wyżej badań i pomiarów przedstawione są szczegółowo we wcześniejszych raportach z realizacji zamówienia.



## I. Sieć transportowa

Podróże po obszarze modelu odbywają się po sieci transportowej, która stanowi warstwę podaży w modelu podróży. Sieć obejmuje obszar analizy, którym jest aglomeracja Warszawska, wraz z drogowymi i kolejowymi wlotami zewnętrznymi (wjazdy i wyjazdy do obszaru).

Rysunek I.1. Obszar analizy.



Źródło: OPZ WBR 2015

Podróże podzielono pod kątem systemów transportowych na:

- osobowe:
  - piesze,
  - rowerowe wykonywane rowerem prywatnym,
  - rowerowe wykonywane rowerem publicznym,
  - samochodem,
  - transportem zbiorowym,
- towarowe
  - przejazdy samochodów ciężarowych o dopuszczalnej masie całkowitej (DMC) do 3,5 tony (lekkie samochody ciężarowe, tzw. dostawcze),
  - przejazdy samochodów ciężarowych o dopuszczalnej masie całkowitej (DMC) powyżej 3,5 tony.



Sieć modelowano w formie grafu skierowanego składającego się z węzłów i odcinków, reprezentującego:

- skrzyżowania i odcinki sieci drogowej,
- przystanki i przejazdy pomiędzy nimi dla sieci komunikacji zbiorowej.

Miejsca rozpoczynania i kończenia podróży zagregowano do rejonów komunikacyjnych reprezentowanych przez środek ciężkości (centroide) w której rozpoczynają i kończą się wszystkie podróże danego rejonu. Dla każdego rejonu określono zbiór węzłów w których mogą rozpoczynać i kończyć się podróże samochodowe (np. parkingi i ulice niższych klas) i transportem zbiorowym (przystanki w obrębie rejonu).

Stan sieci transportowej odpowiada układowi ulic z okresu prowadzenia badań WBR 2015 (wywiady w gospodarstwach domowych oraz pomiary natężenia ruchu) i uwzględnia zamknięcie Mostu Łazienkowskiego.

Model sieci transportowej zawiera wszystkie połączenia, które wybierane są pomiędzy rejonami (trasy przejazdu samochodem i połączenia w transporcie zbiorowym) i pozwala na ich opis zgodny z rzeczywistym (czas przejazdu, odległość, prędkość, częstotliwość, liczba przesiadek). Podstawowym problemem transportowym Warszawy jest zatłoczenie komunikacyjne wynikające z popytu przekraczającego podaż. Dotyczy to zarówno sieci drogowej, w której występują stany kongestii, jak i transportu zbiorowego, w którym występuje zatłoczenie pojazdów. Dlatego kluczowym elementem budowy modelu sieci komunikacyjnej jest określenie jej podaży: przepustowości układu drogowego i liczby miejsc w połączeniach transportem zbiorowym. W sieci drogowej przepustowość jest ograniczona zarówno na odcinkach, jak i na węzłach (w relacjach skrajnych). W sieci transportu zbiorowego przepustowość wynika z pojemności pojazdów oraz rozkładu jazdy. Funkcjonowanie sieci drogowej i transportu zbiorowego jest współzależne: zatłoczenie w sieci drogowej powoduje opóźnienia w kursowaniu autobusów na odcinkach wspólnych oraz przepływ pasażerów do atrakcyjniejszej komunikacji zbiorowej (np. tramwaj na wydzielonym torowisku).

W modelu sieci, na potrzeby ruchu towarowego, odwzorowane zostały obowiązujące w badanym obszarze strefy ograniczenia tonażowego oraz istotne dla ruchu towarowego zakazy wjazdu samochodów ciężarowych o określonej DMC. W funkcji oporu dla samochodów ciężarowych uwzględniono współczynniki zależne od strefy ograniczenia tonażowego oraz kary za wjazd do stref z ograniczeniem tonażowym, zaś w modelu ruchu samochodów ciężarowych uwzględniono jedynie kary za wjazd do stref z ograniczeniem tonażowym (mniejsze niż dla samochodów ciężarowych).

W modelu sieci odwzorowano drogi dedykowane dla ruchu rowerowego (m.in. ścieżki rowerowe, wspólne ciągi pieszo-rowerowe oraz kontrapasy). Pozostałe odcinki dróg zostały pod tym kątem odpowiednio sparametryzowane. Ponadto wrysowano dodatkowe odcinki, które obrazują zwyczajowe drogi wybierane przez rowerzystów i których przebieg nie pokrywa się z przebiegiem dróg dla samochodów.

## 1. Dane wejściowe do stworzenia modelu sieci

Jako dane wejściowe do stworzenia modelu sieci Warszawy posłużyły warstwy zapisane w formacie shapefile (\*.shp), które zaimportowano do pliku programu VISUM (\*.ver). Warstwy te pozyskano z BDik wg stanu na czerwiec 2015 roku. Spośród tych danych do pliku VISUM zaimportowano następujące warstwy:

- sieć drogowo-uliczna Warszawy w formacie liniowym (przebiegi wyznaczone przez osie jezdni) – warstwa ulice\_linowe.shp,
- sieć tramwajowa Warszawy w formacie liniowym (przebiegi wyznaczone przez osie torowisk tramwajowych) – warstwa Tramwaje\_Tory.shp,

- sieć metra Warszawy w formacie liniowym – warstwy: metro\_pierwsza\_linia.shp, metro\_druga\_linia.shp.

Model sieci w obszarze aglomeracji Warszawy zaimportowano z portalu OpenStreetMap, z założeniem stanu aktualnego sieci na kwiecień 2015 roku. Następnie dodano sieć kolejową w obrębie obszaru opracowania, którą pozyskano z modelu transportowego województwa mazowieckiego (opracowanego w 2015 roku) uszczegółowioną na obszarze Warszawy.

Sieć transportu zbiorowego pozyskano z bazy danych systemu HAFAS ZTM Warszawa. Dane te zawierały wszystkie przystanki transportu zbiorowego oraz rozkład jazdy na obszarze obsługiwanym przez ZTM w dniu 23 kwietnia 2015 roku.

Z danych udostępnionych przez BDiK użyto także warstwy opisujące ważniejsze obiekty użyteczności publicznej, zakodowane w modelu VISUM jako punktowe obiekty POI (Points of Interest), oraz dane z systemu eDIOM. Warstwy te posłużyły między innymi do opracowania modelu generacji ruchu, kodowania dodatkowych rejonów komunikacyjnych oraz parametryzacji sieci. Model sieci został odwzorowany w układzie 2000.

W szczególności zostały wykorzystane opracowania i ich wyniki, które zostały wskazane w OPZ i udostępnione przez Zamawiającego. Ewentualny zakres wykorzystania poszczególnych opracowań i ich wyników został opisany w poszczególnych częściach niniejszego opisu.

## 2. Sieć drogowa

### 2.1. Systemy transportowe [TSys]

W modelu sieci transportu indywidualnego zakodowano następujące typy pojazdów poruszających się po wspólnej sieci drogowej:

- SO – samochody osobowe,
- SD – samochody dostawcze,
- SC – samochody ciężarowe,
- R – rowery prywatne,
- R\_Pub – rowery publiczne.

W ramach systemów transportowych odpowiadającym samochodom osobowym, dostawczym i ciężarowym wydzielono dodatkowe segmenty popytu (Demand Segments) odpowiadające przejazdom tranzytowym w stosunku do obszaru analizy.

### 2.2. Parametryzacja odcinków [LinkTypes]

Podczas kodowania modelu sieci wykorzystano podział na kategorie odcinków drogowo-ulicznych. Podział ten uwzględniał czynniki najbardziej istotne dla właściwej parametryzacji sieci, takie jak:

- klasa techniczna (A, S, GP, G, Z, L, D),
- funkcja drogi (jej znaczenie w układzie funkcjonalnym Warszawy, lub aglomeracji)
- przekrój poprzeczny (liczba jezdni i liczba pasów ruchu),
- przepustowość i prędkość w ruchu swobodnym na danym odcinku.

W dalszym etapie uszczegółowiono wyżej opisany podział na etapie manualnej weryfikacji sieci drogowo-ulicznej, w celu bardziej wiarygodnego zróżnicowania znaczenia i funkcjonowania odcinków w skali Warszawy

oraz jej aglomeracji. Stąd też, wprowadzono większą liczbę kategorii odcinków sieci (LinkTypes), z uwzględnieniem dodatkowych czynników:

- bezkolizyjne prowadzenie danej drogi (np. odcinki Wiślostrady lub Trasy Łazienkowskiej),
- funkcjonujące ograniczenia prędkości,
- charakterystyka otoczenia drogi, opisująca gęstość zjazdów i intensywność przylegającej zabudowy (dla dróg klasy GP i G),
- ukształtowanie łącznic i jezdni zbiorczo-rozprowadzających – przekrój poprzeczny, rozwiązania bezkolizyjne lub kolizyjne, sygnalizacja świetlna na końcu łącznic,
- odrębne kategorie odcinków dróg i ulic w obrębie Warszawy oraz na obszarze pozostałej części aglomeracji.

Wynikiem wyżej opisanych analiz było m. in. wprowadzenie 3-stopniowej kategoryzacji odcinków dróg klasy GP i G na terenie Warszawy:

- kategoria najwyższa (tzw. [szybkie]) – opisująca ciągi bezkolizyjne z podwyższoną prędkością dopuszczalną do 80 km/h,
- kategoria pośrednia – dla dróg GP i G opisująca odcinki kolizyjne z podwyższonym ograniczeniem prędkości (do 60-70 km/h), a dla dróg G dodatkowo odcinki (z ograniczeniem do 50 km/h) z wyraźnie ograniczoną dostępnością z otaczającego otoczenia,
- kategoria najniższa (tzw. [OZ]) – odcinki typowo miejskie przebiegające w zwartym obszarze zabudowanym.

Dla dróg pozostałych kategorii przyjęto 2-stopniową kategoryzację wynikającą z obowiązującego ograniczenia prędkości. Wszystkie odcinki w całym modelu opisano jako jedno- lub dwukierunkowe, z właściwym kierunkiem prowadzenia ruchu ogólnego. Odcinki skierowane przeciwnie opisano pod kategorią LinkTypes o numerze 89 – *Blokada*.

W modelu sieci transportowej wyodrębniono również łącznice, w tym łącznice bezkolizyjne oraz łącznice ze światłami.

Na potrzeby ruchu towarowego wprowadzono parametryzację odcinków ze względu na ograniczenia tonażowe (strefy ograniczonego ruchu samochodów ciężarowych w mieście). Dodatkowo uwzględniono ograniczenia tonażowe poprzez podział odcinków sieci drogowej na:

- odcinki, po których nie mogą poruszać się samochody dostawcze i ciężarowe,
- odcinki, po których nie mogą poruszać się tylko samochody ciężarowe,
- odcinki pozostałe.

[...]

### 2.3. Charakterystyka odcinków sieci drogowo-ulicznej [eDIOM]

Dla dodatkowej parametryzacji sieci drogowej uwzględniono charakterystykę wynikającą z organizacji ruchu drogowego. Wykorzystano tu dane pozyskane z aktualnej bazy eDIOM, zawierającej ewidencję dróg oraz organizacji ruchu na ważniejszych odcinkach drogowo-ulicznych w Warszawie. Dane wejściowe przygotowane w warstwach typu shapefile zaimportowano jako punktowe obiekty POI (Points of Interest) o nazwie *Znaki* w miejscu wstawienia danego znaku pionowego lub poziomego. Najważniejsze były przede wszystkim znaki pionowe głównych kategorii (A, B, C, D, F) oraz poziome w obrębie wlotów skrzyżowań (linie

segregacyjne, strzałki P-8 oraz linie zatrzymań). Dodatkowo zdefiniowano miejsca umiejscowienia sygnalizatorów świetlnych i zaimportowano je do modelu VISUM. W celu dokładniejszej parametryzacji sieci drogowo-ulicznej najistotniejsze było uwzględnienie informacji wynikających z obecnej organizacji ruchu, opisujących:

- lokalizację przejść dla pieszych,
- miejscowe ograniczenia prędkości,
- zakazy i nakazy skrętu w lewo i w prawo,
- dopuszczenie i zakaz zawracania,
- zakazy wjazdu dla ruchu ogólnego,
- lokalizację progów zwalniających oraz stref zamieszkania (odcinki z uspokojonym ruchem),
- rodzaj podporządkowania na wlotach bocznych (znaki A-7 lub B-20),
- obecność (lub brak) sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu,
- kierunki ruchu na pasach ruchu w obrębie wlotów skrzyżowania,
- obszar obowiązywania SPPN,
- lokalizację przejazdów kolejowych,
- lokalizację mijanek i zwężeń (znak B-31).

Następnie za pomocą narzędzi przestrzennych baz danych (Intersect) przypisano informacje o organizacji ruchu wynikające z sąsiadujących znaków pionowych do odcinków, których one dotyczą. W algorytmie modelu zawarto skrypty przypisujące znaki do sieci drogowej – dzięki temu przyszła zmiana organizacji ruchu może być uwzględniona w modelu sieciowym.

Na terenie Warszawy zakodowano ciągi drogowe z korytarzową koordynacją sygnalizacji świetlnej, pod atrybutem o nazwie S\_CIAG\_SKOORDYNOWANY. Atrybut ten przyjmuje wartość 1 gdy dany wlot jest w ciągu skoordynowanym.

## 2.4. Parametryzacja relacji skrętnych [Turns]

Podczas weryfikacji relacji skrętnych na skrzyżowaniach w Warszawie uwzględniono zakazy i nakazy ruchu – wszystkie wynikające z informacji, jakie zostały zawarte w bazie eDIOM. Dla relacji objętych zakazami ruchu stworzono dodatkowy atrybut i zamknięto systemy transportu indywidualnego poprzez filtrowanie elementów sieci.

Dla relacji skrętnych na głównych skrzyżowaniach w Warszawie, tzw. MainTurns, wprowadzono kategoryzację w zależności od kierunku prowadzenia ruchu oraz obecność (lub brak) sygnalizacji. Kierunki ruchu przyjęto w zależności od względnego kąta przecięcia się wlotu oraz wylotu. Szczegółowy sposób podziału, jak i całą klasyfikację relacji skrętnych przedstawiono w załączonym opisie prezentującym uproszczenie polskie metody obliczania przepustowości przygotowane na potrzeby modelu.

## 2.5. Parametryzacja skrzyżowań [MainNodes]

Model zawiera obrysy węzłów i skrzyżowań drogowych, jako obiekty kategorii MainNode. Pozyskano je na podstawie powierzchni skrzyżowań, położenia znaków oraz sygnalizatorów z bazy eDIOM (obrysy MainNodes weryfikowano ręcznie). Wszystkie punkty (Nodes) zaliczono do węzła, a w dalszych analizach operowano na wyższej kategorii relacji skrętnych, tj. MainTurns – pominięto tu mniej istotną geometrię i rozrząd ruchu

wewnątrz węzła sieci (skrzyżowania lub węzła drogowego). Skrzyżowania (MainNodes) tworzą dla wszystkich w obrębie Warszawy:

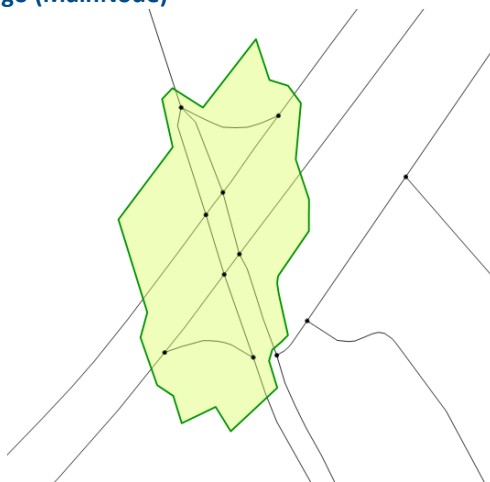
- skrzyżowań sygnalizowanych,
- węzłów bezkolizyjnych (z wyjątkiem kilku sytuacji węzłów mieszanych (???)),
- skrzyżowań dróg dwujezdniowych,
- rond i skrzyżowań z wyspą centralną,
- lokalnych ograniczeń przepustowości istotnie wpływających na przepustowość (np. rozploty na Trasie Łazienkowskiej i Trasie Armii Krajowej na których regularnie pojawiają się zatory).

Dla pozostałych skrzyżowań (wszystkich poza obszarem Warszawy, niesygnalizowanych o prostej geometrii) nie tworzą obiektów MainNodes i stosowano uproszczoną parametryzację (na podstawie TurnStandards). W dalszym kroku dokonano parametryzacji hierarchii poszczególnych relacji na węzłach sieci oraz reguł pierwszeństwa i podporządkowania. Kryteria, jakimi tu się kierowano, to:

- kategoria odcinka wg klasyfikacji LinkTypes,
- kierunek manewru (relacja skrętna lub na wprost),
- typ skrzyżowania (z sygnalizacją lub bez sygnalizacji),
- przekrój poprzeczny drogi (liczba pasów na wlocie i wylocie, liczba jezdni),
- informacja o rodzaju podporządkowania wg bazy eDIOM (znaki A-7 i B-20).

W ten sposób dla relacji skrętnych w kategorii obiektów MainTurns określono hierarchię pierwszeństwa lub podporządkowania, wg uproszczonej 4-stopniowej skali: (++), (+-), (-+), (--).

**Rysunek I.2. Przykład węzła głównego (MainNode)**



Źródło: Opracowanie własne

### 3. Opór w sieci drogowej

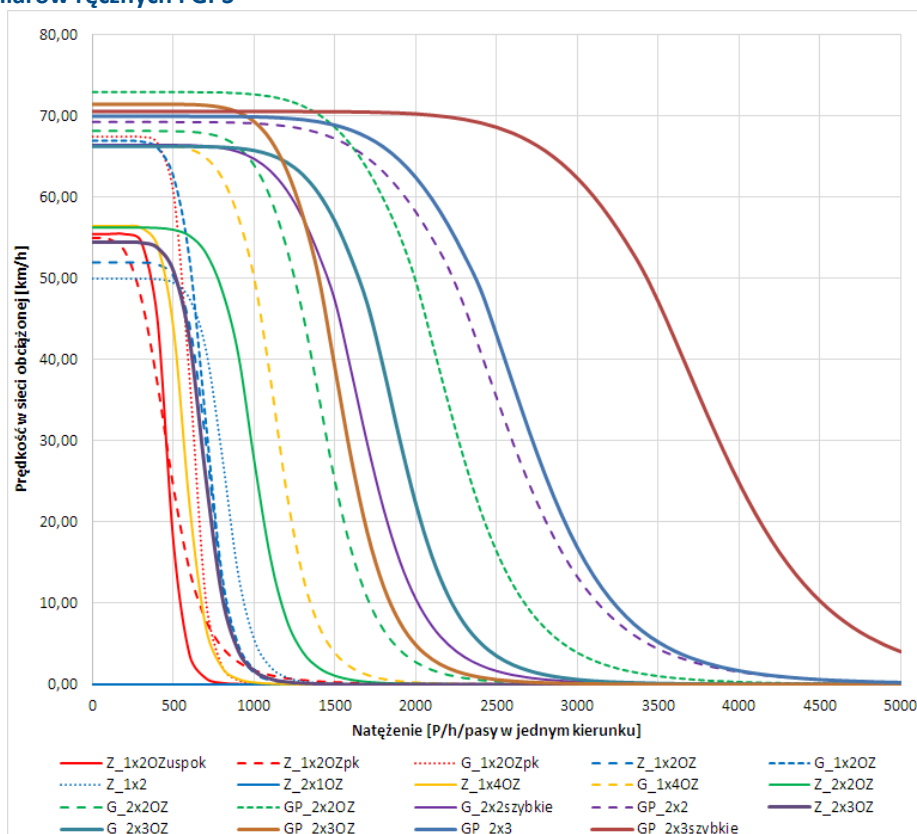
Aby wyniki modelu były realistyczne konieczne jest prawidłowe określenie czasu przejazdu przez sieć. Na podstawie prędkości w ruchu swobodnym szacowany jest czas przejazdu po nieobciążonej sieci, natomiast za szacowanie czasu przejazdu po obciążonej sieci odpowiada prezentowany niżej model oporu. Model oporu określony jest dla odcinków i relacji skrętnych.

Przepustowość sieci drogowej jest ograniczona. Odcinki i relacje skrętne mają ograniczoną przepustowość. Prędkość zmniejsza się w miarę zbliżania się natężenia ruchu do przepustowości. Zmniejszająca się prędkość zwiększa czas przejazdu i sprawia, że przejazd pewnymi odcinkami staje się nieatrakcyjny. Funkcja oporu

odcinka (Volume Delay Function, VDF) określa czas przejazdu w funkcji zwiększającego się wykorzystania przepustowości. Z kolei proponowany model oporu relacji skrajnych szacuje przepustowość, a następnie oblicza czas przejazdu w poszczególnych relacjach przez skrzyżowania z sygnalizacją świetlną oraz bez sygnalizacji w obciążonej sieci.

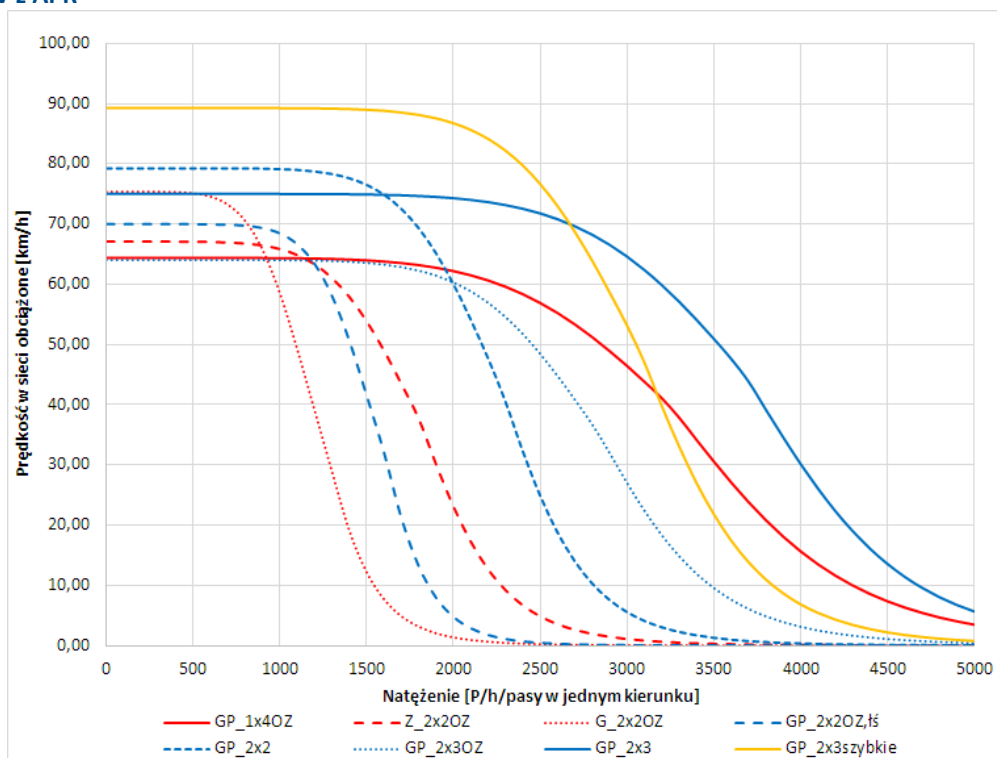
[...]

**Rysunek I.3 Funkcje oporu uzyskane dla poszczególnych typów przekrojów dróg w wyniku przetwarzania danych z pomiarów ręcznych i GPS**



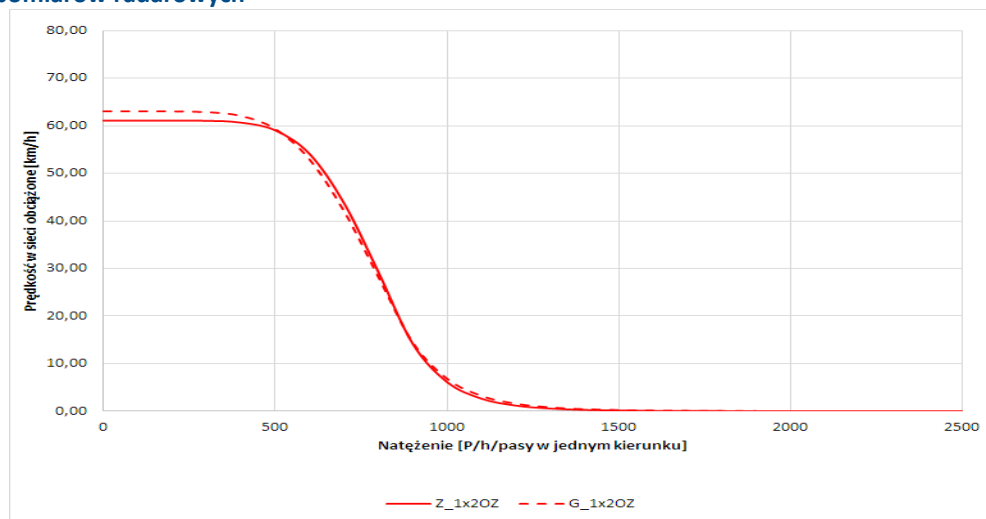
Źródło: obliczenia własne.

**Rysunek I.4 Funkcje oporu uzyskane dla poszczególnych typów przekrojów dróg w wyniku przetwarzania baz danych CV z APR**



Źródło: obliczenia własne.

**Rysunek I.5 Funkcje oporu uzyskane dla poszczególnych typów przekrojów dróg w wyniku przetwarzania baz danych z pomiarów radarowych**



Źródło: obliczenia własne.

Analizując dostępną literaturę należy podkreślić, że uzyskane funkcje oporu – dzięki opracowanym oryginalnym procedurom przetwarzania danych źródłowych – są znacznie lepiej dopasowane do teoretycznych ich postaci. W wielu publikacjach podkreślany jest problem istotnego przekraczania zdolności przepustowych w modelach ruchu, który dzięki uzyskanym funkcjom oporu jest znacznie ograniczony. Odnosząc jednocześnie uzyskane wyniki do funkcji oporu przyjmowanych w innych modelach ruchu (na



przykład w modelu ruchu opracowanym w 2015 r. dla województwa mazowieckiego)<sup>1</sup> również należy podkreślić, że znacznie lepiej odwzorowują one rzeczywiste warunki ruchu (głównie dzięki dużo wyższym niż w innych modelach wartościom współczynnika  $b$  oraz  $b'$ ).

### 3.1. Model oporu relacji skrzyżnych<sup>2</sup>

Większość utrudnień w miejskich sieciach ma swoje źródło w niewystarczającej przepustowości skrzyżowań, a nie odcinków. Stąd dla realistycznego odwzorowania czasów przejazdu, długości kolejek i atrakcyjności połączeń postanowiono, oprócz odcinków, sparametryzować również skrzyżowania w sieci drogowej. Dla węzłów w grafie (skrzyżowania, MainNode) określono przepustowość i czas przejazdu w ruchu swobodnym każdej dozwolonej relacji skrzyżnej.

Na podstawie typu relacji (w lewo, na wprost, w prawo), hierarchii (z pierwszeństwem, podporządkowana) i typu węzła w jakim się znajdują (z sygnalizacją, bez sygnalizacji, rondo) określano czas przejazdu, przepustowość oraz funkcję oporu.

Nie jest możliwe z makroskopowym modelu o takim zakresie pełne odwzorowanie programów i algorytmów sterowania sygnalizacji świetlnej, geometrii skrzyżowania oraz dokładnego obliczenia przepustowości. Dlatego przyjęto następujące uproszczenia:

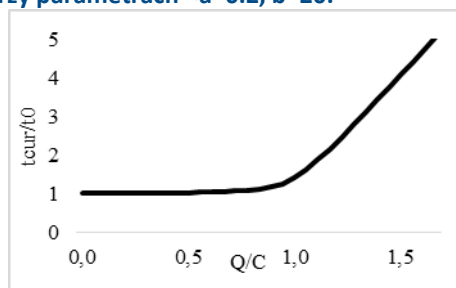
- dla każdego typu odcinka określono wagę przy obliczaniu udziału efektywnego sygnału zielonego w cyklu uproszczoną metodą Webstera,
- dla całej sieci określono jedną długość cyklu,
- dla każdego typu odcinka określono jego oczekiwane natężenie do obliczania potoku nadrzędnego w relacjach niesygnalizowanych,
- dla każdego węzła oszacowano liczbę faz w programie sterowania.

Czas przejazdu przez relacje obliczany jest na podstawie funkcji oporu typu Akcelik opisanej wzorem:

$$t_{Cur} = t_0 + 900 \cdot a \cdot \left( (Q/C - 1) + \sqrt{(Q/C - 1)^2 + \frac{8 \cdot b \cdot Q/C}{d \cdot a}} \right)$$

gdzie  $a$  i  $b$  to parametry, które przyjęto odpowiednio  $a=0,2$  i  $b = 20$ , natomiast  $d$  – wyjściowa przepustowość pasa ruchu równa 1800 [poj/h].

**Rysunek I.6. Funkcja oporu Akcelik przy parametrach  $a=0,2$ ,  $b=20$ .**



Źródło: opracowanie własne.

<sup>1</sup> W tekstowych opracowaniach dotyczących modeli ruchu innych miast dokładna postać funkcji oporu zwykle nie jest w pełni ujawniana.

<sup>2</sup> Szerzej zastosowaną tu metodę opisano w Kucharski R., Drabicki A., Szarata A., Modelowanie oporu skrzyżowań w modelach makroskopowych, Transport Miejski i Regionalny, Nr 7/2016.



Do obliczania przepustowości na relacjach w skrzyżowaniach niesygnalizowanych skorzystano ze wzorów określonych w metodzie obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej<sup>3</sup>. Oszacowano potok nadrzędny, obliczono przepustowość oraz uśredniony czas przejazdu w ruchu swobodnym (bez dodatkowych utrudnień).

Do obliczania przepustowości relacji skrętnych w obrębie skrzyżowań sygnalizowanych wykorzystano metodę obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną<sup>4</sup>. W szczególności określono:

- liczbę pasów w każdej relacji na podstawie przyjętej heurystyki w oparciu o liczbę pasów na wlocie i na wylocie,
- natężenie nasycenia na pas przy założeniu średnich promieni skrętu,
- wagę wlotu w planowaniu sygnalizacji,
- udział efektywnego zielonego w cyklu na podstawie uproszczonej metody Webstera,
- średni czas oczekiwania na sygnał zielony przy założeniu braku dodatkowych utrudnień; zależny od długości cyklu, udziału efektywnego zielonego, koordynacji i stopnia nasycenia relacji.

Parametryzacja ta odbywa się w przygotowanej w modelu grupie procedur („Model oporu w sieci drogowej”). Dodatkowo wszystkie kluczowe parametry mogą być określone ręcznie, gdy przyjęte uogólnienie musi być dopasowane do faktycznych parametrów.

Skrzyżowania sygnalizowane można parametryzować ręcznie poprzez zmianę parametrów:

- S\_EFEKTYWNE\_ZIELONE\_RECZNIE                      liczba rzeczywista z przedziału [0,1]
- S\_LICZBA\_PASOW\_RECZNIE                              liczby naturalne nieujemne

Skrzyżowania niesygnalizowane, lokalne ograniczenia przepustowości, oraz węzły drogowe można parametryzować ręcznie poprzez zmianę parametrów:

- S\_PRZEPUSTOWOSC\_NIESYG\_RECZNIE                      liczby naturalne nieujemne
- S\_t0\_RECZNIE                                              liczby naturalne nieujemne

Ręczna parametryzacja dotyczyła kluczowych skrzyżowań i błędów w sieci ujawnionych na etapie kalibracji. Na etapie weryfikacji identyfikowano wąskie gardła w sieci (miejsca w których mają źródła utrudnienia i skąd rozpoczynają się kolejki). Możliwe to było dzięki wizji terenowej i analizie map prędkości.

Przy każdej zmianie w sieci należy stworzyć odpowiednie skrzyżowania (MainNode) – odwzorowanie geometrii nie jest konieczne, wystarczy zdefiniować typ skrzyżowania i rodzaj sterowania oraz zablokować niedozwolone relacje skrętne. Po wprowadzeniu nowego węzła należy przy użyciu grupy procedur do parametryzacji sieci drogowej określić typy relacji skrętnych a następnie obliczyć przepustowości i czasy przejazdu przy użyciu opisanej wyżej grupy procedur.

Poniżej przedstawiono algorytmy użyte w obliczeniach:

#### EFEKTYWNE ZIELONE

```
if([S_EFEKTYWNE_ZIELONE_RECZNIE]>0,[S_EFEKTYWNE_ZIELONE_RECZNIE],
//przyjmij wartość ręczną (jeśli podana)

max(0.05, //warunki brzegowe
min(0.9,

if([VIANODE\TYPENO]=50,0.8, //sygnalizowane przejścia dla pieszych
```

<sup>3</sup> Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej MOP-SBS-04, GDDKiA, Warszawa 2014

<sup>4</sup> Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną MOP-SZS-04, GDDKiA, Warszawa 2014

```

if(([TYPENO]=5 | [TYPENO]=6), //prosto i w prawo
([FROMLINK\LINKTYPE\S_WAGA_WLOTU_W_SYGNALIZACJI]/
(0.5*[VIANODE\SUMACTIVE:INLINKS\LINKTYPE\S_WAGA_WLOTU_W_SYGNALIZACJI]))*
((120-10*[VIANODE\LICZBA_FAZ])/120),

if([TYPENO]=7, //w lewo
(0.5*[FROMLINK\LINKTYPE\S_WAGA_WLOTU_W_SYGNALIZACJI]/
(0.5*[VIANODE\SUMACTIVE:INLINKS\LINKTYPE\S_WAGA_WLOTU_W_SYGNALIZACJI]))*
((120-10*[VIANODE\LICZBA_FAZ])/120),

if([TYPENO]=8, //zawracanie
(0.25*[FROMLINK\LINKTYPE\S_WAGA_WLOTU_W_SYGNALIZACJI]/
(0.5*[VIANODE\SUMACTIVE:INLINKS\LINKTYPE\S_WAGA_WLOTU_W_SYGNALIZACJI]))
*((120-10*[VIANODE\LICZBA_FAZ])/120),
1))))))

```

### PRZEPUSTOWOŚĆ RELACJI SYGNALIZOWANYCH

```

Floor(if([CAPRT]=0,0,
if([TYPENO]=6, // prosto
[SO_EFEKTYWNEZIELONE]*1800*[SO_LICZBA_PASÓW]/
(1+min([FROMLINK\LINKTYPE\S_UDZIAŁ_CIEŻKICH],[TOLINK\LINKTYPE\S_UDZIAŁ_CIEŻKICH]))
,

if([TYPENO]=5, // w prawo
[SO_EFEKTYWNEZIELONE]*1500*[SO_LICZBA_PASÓW]/
(1+min([FROMLINK\LINKTYPE\S_UDZIAŁ_CIEŻKICH],[TOLINK\LINKTYPE\S_UDZIAŁ_CIEŻKICH]))
,

if(([TYPENO]=7 | [TYPENO]=8), //w lewo i zawracanie
[SO_EFEKTYWNEZIELONE]*1700*[SO_LICZBA_PASÓW]/
(1+min([FROMLINK\LINKTYPE\S_UDZIAŁ_CIEŻKICH],[TOLINK\LINKTYPE\S_UDZIAŁ_CIEŻKICH]))
,
[CAPRT]))))

```

### PRZEPUSTOWOŚĆ RELACJI NIESYGNALIZOWANYCH

```

IF([S_PRZEPUSTOWOSC_NIESYGN_RECZNIE]>0,[S_PRZEPUSTOWOSC_NIESYGN_RECZNIE],

Floor(if([CAPRT]=0,0,

// na wprost i w prawo nadrzędne
if(([TURNSTANDARD\ID] = 211 | [TURNSTANDARD\ID] = 311 | [TURNSTANDARD\ID] = 212 |
[TURNSTANDARD\ID] = 312 ), 999999,

// w lewo z nadrzędnej
if([TURNSTANDARD\ID] = 213 | [TURNSTANDARD\ID] = 313),
(3600/2.5)*Exp(-1.1*(([FROMLINK\REVERSELINK\CAPRT]/2)/3600)*(5.5-2.5/2)),

// w prawo z podrzędnej
if([TURNSTANDARD\ID] = 201 | [TURNSTANDARD\ID] = 221 | [TURNSTANDARD\ID] = 301 |
[TURNSTANDARD\ID] = 321),
(3600/2.5)*Exp(-1.07*([TOLINK\CAPRT]/(2*[TOLINK\NUMLANES]))/3600)*(5.5-2.5/2)),

// na wprost z podrzędnej
if([TURNSTANDARD\ID] = 202 | [TURNSTANDARD\ID] = 222 | [TURNSTANDARD\ID] = 302 |
[TURNSTANDARD\ID] = 322),
(3600/2.5)*Exp(-1.07*([FROMLINK\MAX:OUTMAINTURNS\TOLINK\CAPRT]/2)/3600)*(5.5-2.5/2)),

// w lewo z podrzędnej

```

```
if(([TURNSTANDARD\ID] = 203 | [TURNSTANDARD\ID] = 223 | [TURNSTANDARD\ID] = 303
| [TURNSTANDARD\ID] = 323),
(3600/2.5)*Exp(-1.07*([TOLINK\CAPPRT]/2)/3600)*(5.5-2.5/2))
, [CAPPRT])))))))
```

#### CZAS PRZEJAZDU RELACJI SYGNALIZOWANYCH

```
if(([TYPENO]=5 | [TYPENO]=6 | [TYPENO]=7 | [TYPENO]=8), //tylko relacje
sygnalizowane

[T0PRT]+([NETWORK\S_CYKL]/2)*
(1-[SO_EFEKTYWNEZIELONE])*(1-[SO_EFEKTYWNEZIELONE])/
(1-0.5*[SO_EFEKTYWNEZIELONE])

* //koordynacja dla relacji na wprost i w prawo
if(((([TYPENO]= 5 | [TYPENO] = 6) & ([FROMLINK\S_CIAG_SKOORDYNOWANY]>0)),

if([VIANODE\ZSZR]>0,
MIN(0.9,MAX(0.1,0.245/[SO_EFEKTYWNEZIELONE]-0.4)), //w obrębie ZSZR
0.2/[SO_EFEKTYWNEZIELONE]),1), //poza ZSZR
[T0PRT])
```

#### CZAS PRZEJAZDU RELACJI SYGNALIZOWANYCH

```
if(([TYPENO]=5 | [TYPENO]=6 | [TYPENO]=7 | [TYPENO]=8), //tylko relacje
sygnalizowane

[T0PRT]+([NETWORK\S_CYKL]/2)*
(1-[SO_EFEKTYWNEZIELONE])*(1-[SO_EFEKTYWNEZIELONE])/
(1-0.5*[SO_EFEKTYWNEZIELONE])

* //koordynacja dla relacji na wprost i w prawo
if(((([TYPENO]= 5 | [TYPENO] = 6) & ([FROMLINK\S_CIAG_SKOORDYNOWANY]>0)),

if([VIANODE\ZSZR]>0,
MIN(0.9,MAX(0.1,0.245/[SO_EFEKTYWNEZIELONE]-0.4)), //w obrębie ZSZR
0.2/[SO_EFEKTYWNEZIELONE]),1), //poza ZSZR
[T0PRT])
```

## 4. Model sieci transportu zbiorowego – PuT

### 4.1. Dane wejściowe [baza ZTM w formacie HAFAS]

W modelu sieci transportowej (opisanym wyżej) dokonano odwzorowania siatki połączeń komunikacji zbiorowej. Wykorzystano w tym punkcie dane pozyskane z ZTM w Warszawie, zakodowane w formacie bazy danych HAFAS. W zakres tych danych wchodziła kompletna sieć połączeń transportu publicznego w obszarze będącym w nadzorze ZTM wg stanu na 23 kwietnia 2015 roku (jest to dzień, na który odwzorowana jest sieć komunikacji zbiorowej) dla następujących środków transportu publicznego (w nawiasie podano kody systemów transportowych w modelu VISUM):

- linii autobusowych miejskich i podmiejskich (BUS),
- linii tramwajowych (TRAM),
- pociągów Kolei Mazowieckich (KM), Szybkiej Kolei Miejskiej (SKM) oraz Warszawskiej Kolei Dojazdowej (WKD),

- linii Metra Warszawskiego (METRO).

Dane pozyskane z systemu HAFAS zawierały następujące informacje dla każdej linii (Lines) transportu publicznego:

- dokładne przebiegi poszczególnych linii (Lines) transportu publicznego (LineRoutes),
- szczegółowe profile czasowe dla wprowadzonych LineRoutes (TimeProfiles),
- poszczególne kursy z dokładnymi godzinami odjazdu dla wszystkich TimeProfiles (VehicleJourneys).

Sposób importu danych z systemu HAFAS do modelu sieciowego w programie PTV Visum jest w dużym stopniu zautomatyzowany, więc oferta transportu zbiorowego może być aktualizowana na bieżąco.

#### 4.2. Zakodowane systemy transportowe [TSys]

W modelu sieci transportu publicznego zakodowano następujące systemy transportowe, opisujące poszczególne środki podróżowania w komunikacji zbiorowej:

- BUS – autobusy miejskie i podmiejskie,
- KM – pociągi Kolei Mazowieckich,
- METRO – pociągi Metra Warszawskiego,
- M\_bus – regionalne połączenia mikrobusem i autobusami,
- P – przejścia piesze będące częścią podróży komunikacją zbiorową (dojścia i przesiadki w obrębie przystanków),
- PD – pociągi dalekobieżne
- SKM – pociągi Szybkiej Kolei Miejskiej,
- TRAM – tramwaje w Warszawie,
- W (Walk) – podróże piesze (podróż w całości realizowana pieszo),
- WKD – pociągi Warszawskiej Kolei Dojazdowej.

#### 4.3. Odcinki dla transportu zbiorowego [LinkTypes]

Parametryzacji odcinków sieci drogowo-ulicznej przeznaczonych dla komunikacji zbiorowej dokonano równocześnie z kodowaniem sieci transportu drogowego, tj. wykorzystując tę samą kategoryzację LinkTypes. Spośród tych kategorii można wyróżnić 7 klas LinkTypes, przeznaczonych dla transportu zbiorowego:

- 80 – kolej magistralna – główne linie kolejowe o znaczeniu krajowym,
- 81 – kolej pozostała – linie kolejowe drugorzędne (np. WKD i łącznice kolejowe),
- 82 – tramwaje prowadzone po wydzielonym pasie zieleni lub torowisku izolowanym,
- 83 – tramwaje prowadzone po torowisku wydzielonym w jezdni,
- 84 – tramwaje prowadzone wspólnie z ruchem drogowym,
- 85 – linie metra,
- 86 – wspólne pasy autobusowo-tramwajowe (np. na Trasie W-Z).
- oraz przejazdy autobusowe po sieci drogowej.

Ruch pieszy w modelu sieci został zablokowany na odcinkach drogowych w celu skrócenia czasu obliczeń. Dla przejść pieszych stworzono dodatkową kategorię LinkTypes opisującą odcinki przeznaczone tylko dla ruchu pieszego – (typ odcinka 88) Przejścia piesze między węzłami. Zostały one zlokalizowane pomiędzy węzłami

między którymi występują przesiadki. Ich przebieg jest maksymalnie uproszczony, tak aby tylko umożliwić przesiadki.

#### 4.4. Parametryzacja przystanków i węzłów przesiadkowych [Stops, StopPoints]

Sieć przystanków transportu zbiorowego na obszarze podlegającym ZTM zaimportowano z bazy danych HAFAS wg stanu aktualnego na 23 kwietnia 2016 roku. Każdy obiekt w modelu VISUM wprowadzono zgodnie z współrzędnymi geograficznymi oraz dokładną numeracją i nazewnictwem wg pliku źródłowego HAFAS. Struktura sieci przystanków komunikacji zbiorowej odwzorowana w modelu VISUM przedstawia się następująco:

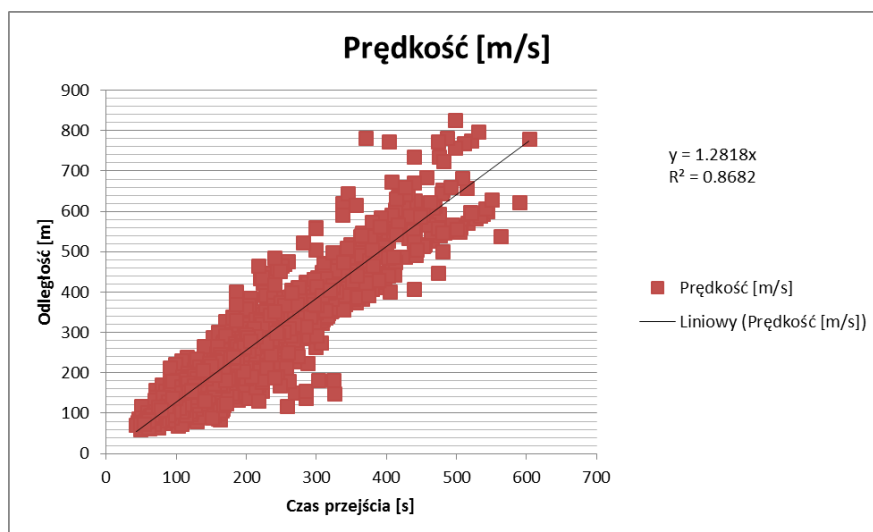
- warstwą Stops opisano poszczególne zespoły przystankowe (np. DWORZEC WILENSKI), obejmujące wszystkie tabliczki przystankowe w obrębie danego węzła (skrzyżowania, pętli przesiadkowej itd.); każdy zespół przystankowy charakteryzuje się numerem zakończonym na - 00 (np. 100300),
- warstwę StopAreas opisano wg tabliczek przystankowych (StopPoints), tj. każdemu StopArea odpowiada dokładnie jedna tabliczka przystankowa (StopPoint) o takich samych parametrach (nazwie i numerze); taka parametryzacja umożliwiła określenie czasów potrzebnych na przesiadkę w obrębie zespołu przystankowego; dla każdego Stop Area określono węzeł sieci drogowej poprzez który możliwe jest rozpoczynanie i kończenie podróży na tym węźle,
- w warstwie StopPoints zakodowano poszczególne tabliczki przystankowe, z ich unikatowym nazewnictwem (np. DWORZEC WILENSKI 09) i numeracją (np. 100309); odwzorowano ich dokładne położenie w obrębie zespołów przystanków; każdy StopPoint został przypisany do sąsiadującego odcinka sieci jako undirected StopPoint on Link.

Przyjazdy i odjazdy, wsiadanie i wysiadanie realizowane są na tabliczkach przystankowych (warstwa Stop Points) natomiast rozpoczynanie i kończenie podróży odbywa się na węzłach dostępu dla Stop Area (Access Node).

Na podstawie pomiarów czasów przejścia pomiędzy oraz w obrębie węzłów przesiadkowych wyznaczono średnią prędkość podróżnego podczas przesiadki. Na jej podstawie zadano typowe czasy przejścia w obrębie dopuszczonych przesiadek w modelu. Wykres zależności regresyjnej czasu przejścia od odległości pomiędzy punktami przystankowymi przedstawiono na poniższym rysunku. W toku obliczeń odrzucono pomiary o odległościach mniejszych niż 60 m, prędkościach przejścia większych od 10 km/h i czasach większych od 1000 s. Uzyskano średnią prędkość względem odległości po prostej 1,28 m/s (około 4,6 km/h).

Dokładne kodowanie przystanków w modelu sieci pozwoliło na odwzorowanie węzłów przesiadkowych, w szczególności 30 kluczowych węzłów wymienionych w OPZ. Odwzorowanie to oparte jest o długości przejścia w linii prostej, nie było możliwe w modelu o tej wielkości uwzględnienie faktycznych długości przejścia uwzględniających przeszkody (schody, bariery, przejścia podziemne).

Rysunek I.7. Zależność czasu przejazdu w obrębie węzła przesiadkowego od odległości



Źródło: Opracowanie własne na podstawie<sup>5</sup>

#### 4.5. Kodowanie przebiegów linii i rozkładów jazdy [LineRoutes]

W kolejnym etapie dokonano wprowadzenia przebiegów linii transportu zbiorowego wraz z podlegającymi im danymi (rozkłady jazdy i profile czasowe przejazdów) wg wyżej opisanego pliku źródłowego HAFAS. Bazę HAFAS przekształcono najpierw do pliku w formacie \*.ver, a następnie zaimportowano sieć do docelowego pliku z modelem sieci Warszawy za pomocą odpowiedniego narzędzia. W procesie kodowania przebiegów linii odwzorowano dokładną kolejność tabliczek przystankowych wzdłuż każdej trasy, przy czym dopuszczono wyszukiwanie ścieżek przejazdu tylko na odcinkach sieci z dopuszczonym ruchem dla poszczególnych systemów transportu zbiorowego - np. wyfiltrowano odcinki dróg klasy L, na których kursuje komunikacja autobusowa oraz zweryfikowano zgodność kierunku trasy przejazdu z kierunkiem ruchu na danej trasie m. in. na rozjazdach i pętlach tramwajowych. W następnym kroku dla tak wyznaczonych przebiegów LineRoutes zaimportowano dalsze dane z rozkładami i czasami jazdy.

### 5. Podział na rejony komunikacyjne

#### 5.1. Podział modelu transportowego na rejony komunikacyjne [Zones]

Podział obszaru analizy na wewnętrzne rejony komunikacyjne aglomeracji oraz zewnętrzne rejony odwzorowujące wloty drogowe i kolejowe został ustalony w trakcie konsultacji z Zamawiającym. Dla obszaru obejmującego Warszawę łącznie wydzielono 801 rejonów komunikacyjnych, które są uszczegółowieniem poprzedniego podziału miasta na 774 rejonów. Dla obszaru aglomeracji poza Warszawą zakodowano 95 rejonów komunikacyjnych, które są uszczegółowieniem podziału na gminy – tj. każda gmina została objęta obrysem pojedynczego rejonu lub została podzielona na mniejsze rejonów. Oprócz tego drogi (wszystkie krajowe, wojewódzkie i powiatowe oraz ważniejsze gminne) oraz linie kolejowe przecinające granicę obszaru modelu zostały zdefiniowane jako osobne rejony komunikacyjne będącym generatorami ruchu

<sup>5</sup> Analiza organizacji i funkcjonowania węzłów przesiadkowych na obszarze m. st. Warszawy, WYG International Sp. z o.o., Warszawa, grudzień 2010.



zewnętrznego (docelowego, źródłowego oraz tranzytowego). Łącznie wprowadzono 71 rejonów na wlotach zewnętrznych (63 drogowe i 8 kolejowych). Łącznie sieć składa się 967 rejonów komunikacyjnych.

## 5.2. Wprowadzenie połączeń do sieci [Connectors]

Podróże z i do rejonów wewnętrznych (w obrębie aglomeracji) rozpoczynają i kończą się w węzłach do których prowadzą połączenia (Connectors). Łączą one centroidy rejonów komunikacyjnych z punktami węzłowymi sieci transportowej (Nodes), w miejscach umownego rozpoczynania się (zakończenia) podróży z (do) danego rejonu. Zastosowano podział połączeń do sieci w zależności od środków podróżowania, tj. dla transportu indywidualnego (Private Transport, PrT) i ruchu towarowego lub dla transportu zbiorowego (Public Transport, PuT), a także wspólne połączenia dla systemów PrT i PuT. Połączenia w sieci transportu indywidualnego połączono w węzłach będących umownymi miejscami wjazdów (wyjazdów) samochodowych do (z) obszarów rejonów (parkingi, zespoły mieszkaniowe), a w sieci transportu publicznego – do pobliskich zespołów przystankowych (połączenia odwzorowują dojścia piesze do i z przystanków autobusowych, tramwajowych i kolejowych). W przypadku modelu sieci transportu zbiorowego wprowadzano większą liczbę konektorów (typ 4) w poszczególnych rejonach miejskich, co miało na celu odwzorowanie zwiększonej dostępności i powiązań rejonu z okoliczną siecią transportu zbiorowego. Dotyczyło to szczególnie rejonów zlokalizowanych w śródmieściu Warszawy (tj. większa możliwość wyboru alternatywnego korytarza autobusowego lub tramwajowego, położonego w dalszej odległości) oraz rejonów zlokalizowanych w obszarze oddziaływania linii metra czy kolei miejskiej (tj. szerszy obszar oddziaływania metra czy SKM). Dla tak wprowadzonych konektorów PuT zastosowano 2-stopniową klasyfikację czasu dojścia ze środka ciężkości rejonu: tj. odpowiednio 5 minut (konektory o długości mniejszej niż 0,55 km) oraz 10 minut (konektory dłuższe niż 0,55 km).

Dla rejonów zewnętrznych reprezentujących wloty do obszaru modelu wprowadzono pojedyncze połączenia między centroidą rejonu a podporządkowanym jej wlotem. W zależności od klasy danego odcinka wlotowego opisano właściwym systemem transportowym, tj. połączenia PuT na wlotach kolejowych, połączenia PrT (w tym również ruch towarowy) na drogach szybkiego ruchu oraz połączenia wspólne PrT i PuT na drogach niższych klas.

## 6. Dodatkowe atrybuty zastosowane w sieci [UDA]

Podczas prac nad modelem sieci transportowej wprowadzono szereg atrybutów pomocniczych zdefiniowanych na poziomie użytkownika, tzw. User-Defined Attributes (UDA). Są to atrybuty zdefiniowane jako liczby całkowite lub rzeczywiste, z danymi wejściowymi spoza pliku VISUM, atrybuty logiczne (Tak/Nie) pomocne przy filtrowaniu sieci, a także atrybuty opisane formułami zdefiniowane także na potrzeby procedur przeliczeniowych pliku VISUM.

Ogólną kategoryzację User-Defined Attributes można przedstawić jako:

- F – formuły (obliczane jako funkcja innych atrybutów),
- Z – zmienne objaśniające używane w modelowaniu potencjałów,
- D – potencjały ruchotwórcze lub zmienne odnoszące się do modelu popytu,
- P – opis i wyniki pomiarów ruchu,
- K – opis i wyniki pomiarów ruchu wykorzystywane do sprawdzenia poprawności modelu,
- S – parametry sieciowe, jako dane wejściowe wprowadzone bezpośrednio,

- SO – parametry sieciowe obliczone na podstawie danych wejściowych i innych danych modelu,
- INW – parametry odnoszące się do inwestycji prognostycznych.

## 7. Klasyfikacja obiektów w modelu

Dla obiektów modelu wprowadzono klasyfikację. W miarę możliwości każdy obiekt jest przypisany do kategorii, z którą związane są ściśle określone atrybuty, czy sposób wykonywania procedur. Dodając nowe obiekty należy przypisywać je do odpowiedniej kategorii a następnie parametryzować zgodnie z tą kategorią. W trakcie budowy modelu unikano nietypowego parametryzowania pojedynczych obiektów.

### 7.1. Rejony [Zones]

- 10 – rejony wewnętrzne Warszawy (1-999)
- 20 – rejony wewnętrzne aglomeracji poza Warszawą (1001-1999)
- 50 – dworce kolejowe (10001, 10002, 10003)
- 31 – wloty zewnętrzne – drogi krajowe (2001 – 2999)
- 32 – wloty zewnętrzne – drogi wojewódzkie (2001 – 2999)
- 33 – wloty zewnętrzne – drogi powiatowe (2001 – 2999)
- 34 – wloty zewnętrzne – pozostałe drogi (2001 – 2999)
- 40 – wloty kolejowe (3001 – 3999)

### 7.2. Podłączenia [Connectors]

- 0 – niesklasyfikowane
- 1 – PrT wewnątrz Warszawy
- 2 – PrT w strefie
- 3 – PrT wloty zewnętrzne
- 4 – PuT w Warszawie
- 5 – PuT w Strefie
- 6 – PuT zewnętrzne
- 7 – PuT Połączenia dworców z przystankami

### 7.3. Węzły główne [MainNodes]

- 0 – niesklasyfikowany
- 1 – węzły
- 2 – lokalne ograniczenia przepustowości
- 10 – ronda niesygnalizowane
- 20 – trójwlotowe niesygnalizowane
- 21 – czterowlotowe niesygnalizowane
- 30 – ronda sygnalizowane
- 40 – trójwlotowe sygnalizowane
- 41 – czterowlotowe sygnalizowane



- 42 – węzły sygnalizowane
- 50 – sygnalizowane przejścia dla pieszych

#### 7.4. Węzły [Nodes]

- 0 – niesklasyfikowane
- 9 – części MainNodes

#### 7.5. Rodzaje relacji skrętnych [Turn/MainTurn Type]

- 0 – niesklasyfikowany
- 1 – w prawo niesygnalizowane
- 2 – na wprost niesygnalizowane
- 3 – w lewo niesygnalizowane
- 4 – zawracanie niesygnalizowane
- 5 – w prawo sygnalizowane
- 6 – na wprost sygnalizowane
- 7 – w lewo sygnalizowane
- 8 – zawracanie sygnalizowane

#### 7.6. Typowe relacje skrętne

Tabela I.1. Typowe relacje skrętne

Lp.	Typ węzła/węzła głównego (Node/MainNode TypeNo)	Typ relacji skrętnej/głównej relacji skrętnej (Turn/MainTurn TypeNo)	Hierarchia przepływu (FlowHierarchy)	Czas w sieci nieobciążonej (t0)	Przepustowość (CapPrT)
1	1	?	??	15s	1900
2	1	?	++	15s	99999
3	1	2	??	10s	99999
11	0	1	+?	2s	900
12	0	2	+?	0s	99999
13	0	3	+?	6s	600
14	0	4	??	0s	0
15	9	4	??	15s	60
21	0	1	-?	6s	600
22	0	2	-?	10s	500
23	0	3	-?	12s	400
101	10	1	??	2s	730
102	10	2	??	4s	730
103	10	3	??	6s	730
104	10	4	??	10s	730
201	20	1	??	3s	99999
202	20	2	??	3s	99999
203	20	3	??	3s	99999
204	20	4	??	0s	0
211	20	1	+?	3s	99999
212	20	2	+?	2s	99999

Lp.	Typ węzła/węzła głównego (Node/MainNode TypeNo)	Typ relacji skrętnej/głównej relacji skrętnej (Turn/MainTurn TypeNo)	Hierarchia przepływu (FlowHierarchy)	Czas w sieci nieobciążonej (t0)	Przepustowość (CapPrT)
213	20	3	+?	4s	99999
221	20	1	-?	3s	999999
222	20	2	-?	3s	99999
223	20	3	-?	3s	999999
301	21	1	??	3s	99999
302	21	2	??	2s	99999
303	21	3	??	3s	99999
304	21	4	??	0s	0
311	21	1	+?	3s	999999
312	21	2	+?	2s	999999
313	21	3	+?	3s	999999
321	21	1	-?	3s	999999
322	21	2	-?	2s	999999
323	21	3	-?	3s	999999
1005	30	5	??	0s	999999
1006	30	6	??	0s	999999
1007	30	7	??	0s	999999
1008	30	8	??	0s	999999
1105	4?	5	??	2s	999999
1106	4?	6	??	4s	999999
1107	4?	7	??	6s	999999
1108	4?	8	??	10s	999999

Znak „?” oznacza dowolny typ obiektu, np. „4?” oznacza typy węzłów od 40 do 49, a hierarchia „+?” wszystkie relacje z wlotu nadrzędnego.

Źródło: opracowanie własne.

## 7.7. Punkty przystankowe [StopPoints\StopAreas]

- 0 – niezdefiniowane
- 10 – kolejowe dalekobieżne
- 11 – KM
- 12 – KM + SKM
- 13 – KM + SKM + WKD
- 14 – WKD
- 20 – metro
- 30 – tramwaj
- 31 – autobus i tramwaj
- 40 – autobus
- 41 – autobus i mikrobus
- 42 – mikrobus
- 50 – autobusy dalekobieżne
- 60 – wloty zewnętrzne kolejowe

## 7.8. Operatorzy [Operators]

- 1 – ZTM
- 2 – Mikrobus
- 3 – kolej poza ZTM

## II. Opis budowy modelu popytu

### 1. Wprowadzenie

Model popytu określa, na podstawie wyników badań ankietowych w gospodarstwach domowych, jakie jest zapotrzebowanie na podróże w obrębie obszaru analizy. Celem modelu popytu jest odtworzenie wszystkich podróży jakie odbywają się w obszarze modelu w typowym dniu roboczym. Podróże realizowane w obrębie obszaru były modelowane w następujących modelach popytu (Demand Models):

- M01 – model podróży mieszkańców Warszawy, który obejmujący podróże mieszkańców Warszawy w obrębie aglomeracji realizowane pieszo, transportem zbiorowym i samochodem osobowym. Model M01 zbudowany został na podstawie wyników badań ankietowych wykonanych w ramach WBR 2015.
- M02 – model podróży mieszkańców gmin aglomeracji poza Warszawą, który obejmuje ich podróże w obrębie aglomeracji realizowane pieszo, transportem zbiorowym i samochodem osobowym. Model M02 zbudowany został na podstawie wyników badań ankietowych wykonanych w ramach Badania Wojewódzkiego w 2014 roku.
- M03 – model zewnętrzny, który obejmuje podróże docelowe do obszaru modelu (zarówno do Warszawy jak i do aglomeracji) oraz źródłowe poza obszar modelu (zarówno z Warszawy jak i z aglomeracji). Podróże te realizowane są transportem zbiorowym i samochodem osobowym. Model M03 został zbudowany na podstawie wyników badań ankietowych i pomiarów ruchu wykonanych w ramach WBR2015 i Badania Wojewódzkiego w 2014 roku.
- M04 – Model towarowy – obejmujący drogowe przewozy ładunków w obrębie obszaru modelu wraz z podróżami zewnętrznymi, tj. przewozami źródłowymi, docelowymi oraz tranzytowymi w stosunku do aglomeracji. Podróże te realizowane są samochodami dostawczymi i ciężarowymi. Model M04 został zbudowany na podstawie wyników badań i pomiarów ruchu zrealizowanych w ramach WBR 2015.
- M05 – Model rowerowy prywatny – podróże realizowane rowerem prywatnym. Model M05 zbudowany został na podstawie wyników badań ankietowych wykonanych w ramach WBR 2015.
- M06 – Model rowerowy publiczny – podróże realizowane rowerem publicznym. Model M06 zbudowany został na podstawie danych z roku 2016 dostarczonych przez Zarząd Transportu Miejskiego w Warszawie dotyczących roweru publicznego Veturilo.

### 2. Model pasażerski

#### 2.1. Określenie motywacji podróży

Cele i źródła podróży w badaniu ankietowym podzielono na 7 rodzajów:

- dom
- praca
- szkoła
- uczelnia wyższa
- miejsce zakupów, korzystania z usług, rozrywki w dużym centrum handlowym (WOH)

- miejsce zakupów, korzystania z usług, rozrywki poza dużym centrum handlowym (WOH)
- inne

Podróż łączy źródło z celem, wobec czego pojawia się 49 (7x7) możliwych motywacji podróży. Jest to zbyt duże rozdrobnienie, ze względu na czytelność modelu i zachowanie wielkości próby pozwalającej na wnioskowanie statystyczne. Z tego powodu do dalszych analiz uwzględniono te motywacje podróży, których udział w całości próby był większy niż 1%. Pozostałe motywacje podróży były analizowane wspólnie jako „pozostałe”. Ostatecznie podróże pasażerskie w modelach M01 i M02 podzielono na następujących 18 motywacji:

- D-P (Dom-Praca)
- P-D (Praca-Dom)
- D-N (Dom-Nauka)
- N-D (Nauka-Dom)
- D-U (Dom-Uslugi)
- U-D (Uslugi-Dom)
- D-I (Dom-Inne)
- I-D (Inne -Dom)
- D-WOH (Dom-Zakupy/Uslugi/Rozrywka w WOH)
- WOH-D (Zakupy/Uslugi/Rozrywka w WOH-Dom)
- D-POZAWOH (Dom-Zakupy/Uslugi/Rozrywka poza WOH)
- POZAWOH-D (Zakupy/Uslugi/Rozrywka poza WOH-Dom)
- P-P (Praca-Praca)
- P-WOH (Praca-Zakupy/Uslugi/Rozrywka w WOH)
- P-POZAWOH (Praca-Zakupy/Uslugi/Rozrywka poza WOH)
- P-I (Praca-Inne)
- I-P (Inne - Praca)
- Pozostałe

## 2.2. Zmienne objaśniające

Pierwszym krokiem w budowie modelu popytu jest przyjęcie i obliczenie lub oszacowanie wartości zmiennych objaśniających. Zmienne objaśniające odniesiono do rejonów komunikacyjnych (zgodnie z przyjętym podziałem). W każdym z rejonów wewnętrznych określono zmienne objaśniające dotyczące demografii, zatrudnienia, edukacji oraz powierzchni budynków określonych typów.

W przypadku Warszawy w odniesieniu do demografii, rysunku pracy oraz edukacji bazowano na opracowaniu PAN<sup>6</sup> skorygowanym przez Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego Urzędu m. st. Warszawy (BAiPP). W odniesieniu do powierzchni budynków poszczególnych typów pozyskano dane zagregowane do rejonów komunikacyjnych na podstawie bazy danych budynków prowadzone przez BAiPP.

<sup>6</sup> Śleszyński P., Stępiak M., Zielińska B., 2015, Analiza demograficzna i społeczno-zawodowa mieszkańców Warszawy w 2014 roku, opracowanie wykonane w Instytucie Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN dla Urzędu m. st. Warszawy, Warszawa, 2015.

W przypadku rejonów komunikacyjnych aglomeracji poza Warszawą określenie zmiennych objaśniających było znacznie trudniejsze z uwagi na dostępność danych. W ogólności bazowano na: Badaniu Wojewódzkim z 2014 roku, Banku Danych Lokalnych (BDL) Głównego Urzędu Statystycznego (GUS), danych z okręgów wyborczych oraz informacjach pozyskanych z poszczególnych Urzędów Gminnych. Dane pozyskane z różnych źródeł były porównywane między sobą i weryfikowane zarówno przez Zamawiającego jak i Wykonawcę, co pozwoliło na stworzenie wiarygodnej i kompletnej bazy danych zawierających zmienne objaśniające.

Ponadto dla gmin aglomeracji określono powierzchnie poszczególnych typów budynków. Dla każdego rejonu komunikacyjnego zagregowano powierzchnie budynków w podziale na 21 typów zgodnie z Bazą Danych Obiektów Topograficznych BDOT 10k<sup>7</sup>. W szczególności obliczono liczbę obiektów poszczególnych typów, powierzchnię zabudowy i powierzchnię całkowitą, będącą iloczynem powierzchni zabudowy i liczby kondygnacji. Metodyka wyznaczania powierzchni budynków w rejonach komunikacyjnych aglomeracji poza Warszawą jest analogiczna jak w Warszawie, dzięki temu uzyskano spójną bazę danych o powierzchniach. Bardziej obszerny opis metod szacowania zmiennych objaśniających na podstawie bazy BDOT 10k zawiera artykuł opublikowany w *Transporcie Miejskim i Regionalnym*<sup>8</sup>.

Wszystkie zmienne objaśniające zostały wprowadzone do modelu w formie atrybutów (UDA) przypisanych rejonom komunikacyjnym (Zones).

### 2.3. Potencjały ruchotwórcze dla rejonów wewnętrznych

Na podstawie zbioru zmiennych objaśniających opisano zależności pomiędzy zmiennymi objaśniającymi a potencjałami ruchotwórczymi odpowiadające wynikom badań ankietowych. Uzyskaną z badania liczbę podróży rozpoczynanych i kończonych w danym rejonie komunikacyjnym w danej motywacji w ciągu doby opisano za pomocą formuł matematycznych.

Formuła generacji ruchu jest funkcją zmiennych objaśniających rejonu komunikacyjnego i określa liczbę podróży rozpoczynanych lub kończonych w tym rejonie w dobie w danej motywacji. Formuła generacji powinna być możliwie prosta i intuicyjna, a więc opisana zmiennymi faktycznie związanymi z generacją ruchu w danej motywacji (np. miejsca pracy opisują liczbę podróży do pracy, ale liczba szpitali nie opisuje liczby podróży do szkoły) i oparta o proste przekształcenia. Ze względu na intuicyjność interpretacji założono, że formuły generacji ruchu będą opisane regresją liniową pojedynczą.

Potencjały ruchotwórcze wyznaczono dla każdej z 18 motywacji. W przypadku motywacji, w których źródło podróży było związane z domem potencjał wytwarzający równy był iloczynowi liczby mieszkańców, uczniów lub studentów i ruchliwości w poszczególnych motywacjach. Następnie w procedurze obliczania potencjałów (Trip Generation) suma podróży wytwarzanych (przyjęta jako niezmienna) była rozdzielana na absorpcję rejonów komunikacyjnych proporcjonalnie do wartości zmiennych objaśniających.

Ruchliwość wykorzystane w modelu generacji podróży nie uwzględniały podróży rowerowych, dla których został opracowany oddzielny model popytu. Dodatkowo przyjęto ruchliwość w odniesieniu do mieszkańców

<sup>7</sup> Opis baz danych obiektów topograficznych i ogólnogeograficznych oraz standardy techniczne tworzenia map, Załącznik do rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych.

<sup>8</sup> Kulpa, T., Banet, K., Rogala, S., Tworzenie modeli podróży z wykorzystaniem baz danych GIS, *Transport Miejski i Regionalny*, Nr 1/2016.

w wieku 6 lat i starszych. Stąd mogą wynikać różnice pomiędzy ruchliwościami podanymi w raportach z badań oraz w niniejszym opisie.

Przykładowo w motywacji dom – praca dla mieszkańców Warszawy potencjał wytwarzający (produkcja) jest równy  $0,430 \cdot \text{liczba mieszkańców w wieku 6 i więcej lat}$ . Potencjał absorbujący (atrakcja) będzie równy sumie miejsc pracy w poszczególnych rejonach komunikacyjnych, przy czym suma potencjałów wytwarzających jest stała (Matrix Balancing: Production Totals). W przypadku motywacji praca – dom podejście jest analogiczne, przy czym potencjały absorbujące rejonów komunikacyjnych równe są iloczynowi ruchliwości i liczby mieszkańców w wieku 6 i więcej lat, natomiast potencjały wytwarzające – sumie miejsc pracy. Suma potencjałów absorbujących jest stała (Matrix Balancing: Attraction Totals). W przypadku ruchliwości nieodnoszących się do liczby mieszkańców (np. liczba miejsc pracy), wskaźnik ruchliwości obliczany był za pomocą analizy regresji.

Część podróży rozpoczynanych w Warszawie może skończyć się w aglomeracji poza Warszawą. Analogicznie część podróży rozpoczynanych w aglomeracji poza Warszawą, będzie kończyć się w Warszawie. Stąd na etapie obliczania potencjałów ruchotwórczych rejonów konieczne było uwzględnienie udziałów podróży z Warszawy do aglomeracji poza Warszawą i z aglomeracji poza Warszawą do Warszawy. W tym celu przy obliczaniu potencjałów ruchotwórczych wykorzystano poniższy wzór:

$$x_A = \frac{u_A \cdot Z_W}{u_W \cdot Z_A + u_A \cdot Z_W} \quad (4)$$

gdzie,  $x_A$  – mnożnik zmiennej objaśniającej Z dla rejonów komunikacyjnych w aglomeracji poza Warszawą,  $u_A$  – udział podróży do rejonów komunikacyjnych w aglomeracji poza Warszawą,  $u_W$  – udział podróży do rejonów komunikacyjnych w Warszawie,  $Z_A$  – suma zmiennej objaśniającej Z dla rejonów komunikacyjnych w aglomeracji poza Warszawą,  $Z_W$  – suma zmiennej objaśniającej Z dla rejonów komunikacyjnych w Warszawie.

Mnożnik zmiennej objaśniającej Z dla rejonów komunikacyjnych w Warszawie jest liczony według wzoru:  $x_W = 1 - x_A$ .

Zasady obliczania potencjałów ruchotwórczych przedstawiono w tabelach II.1 i II.2. W przypadku rejonów komunikacyjnych aglomeracji poza Warszawą nie były dostępne dane o liczbie mieszkańców w poszczególnych kategoriach i grupach wiekowych, dlatego w formułach do wyznaczenia potencjału ruchotwórczego użyto liczbę mieszkańców ogółem.

**Tabela II.1. Zasady wyznaczania dobowych potencjałów ruchotwórczych dla podróży wewnętrznych mieszkańców Warszawy.**

Motywacja	Produkcja	Atrakcja	Kierunek sumowania	Udział podróży poza Warszawę ( $u_A$ ) [%]
Dom-Praca	$0,43 \cdot \text{LM6PLUS}$	LMP	Produkcja	4
Praca-Dom	LMP	$0,392 \cdot \text{LM6PLUS}$	Atrakcja	4
Dom-Nauka	$0,66 \cdot \text{LU}$	LMS	Produkcja	0
Nauka-Dom	LMS	$0,64 \cdot \text{LU}$	Atrakcja	0
Dom-Uczelnia	$0,68 \cdot \text{LS}$	LMU	Produkcja	0
Uczelnia-Dom	LMU	$0,59 \cdot \text{LS}$	Atrakcja	0
Dom-Inne	$0,171 \cdot \text{LM6PLUS}$	LMPU+LM	Produkcja	4
Inne -Dom	LMPU+LM	$0,183 \cdot \text{LM6PLUS}$	Atrakcja	0
Dom- WOH	$0,043 \cdot \text{LM6PLUS}$	PWOH	Produkcja	4
WOH-Dom	PWOH	$0,058 \cdot \text{LM6PLUS}$	Atrakcja	2
Dom-poza WOH	$0,086 \cdot \text{LM6PLUS}$	PU+PUH	Produkcja	0

Poza WOH-Dom	PU+PUH	0,104·LM6PLUS	Atrakcja	0
Praca-Praca	0,023·LMP	0,023·LMP	Produkcja	5
Praca-WOH	0,016LMP	PWOH	Produkcja	0
Praca-poza WOH	0,025LMP	PU+PUH	Produkcja	0
Praca-Inne	0,036·LMP	LMPU+LM	Produkcja	2
Inne-Praca	LMPU+LM	0,02·LMP	Atrakcja	1
Pozostałe	0,026·LM+0,076·LMPU	LMPU+LM	Produkcja	2

Oznaczenia: LM –liczba mieszkańców, LM6PLUS – liczba mieszkańców w wieku 6 i więcej lat, LU – liczba uczniów, LS – liczba studentów, LMP – liczba miejsc pracy ogółem, LMPU – liczba miejsc pracy w usługach, LMS – liczba miejsc w szkołach podstawowych, gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych, LMU – liczba miejsc na uczelniach wyższych (tylko studia stacjonarne), PWOH – powierzchnia wielkopowierzchniowych obiektów handlowych [m<sup>2</sup>], PU – powierzchnia budynków usługowych [m<sup>2</sup>], PUH – powierzchnia budynków usługowo handlowych [m<sup>2</sup>].

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela II.2. Zasady wyznaczania dobowych potencjałów ruchotwórczych dla podróży wewnętrznych mieszkańców aglomeracji poza Warszawą.**

Motywacja	Produkcja	Atrakcja	Kierunek sumowania	Udział podróży do Warszawy (u <sub>w</sub> ) [%]
Dom-Praca	0.387·LM	LMP	Produkcja	47
Praca-Dom	LMP	0.342·LM	Atrakcja	47
Dom-Nauka	0.150·LM	LMS	Produkcja	10 (szkoły podstawowe) 15 (gimnazja) 50 (szkoły średnie)
Nauka-Dom	LMS	0.135·LM	Atrakcja	10 (szkoły podstawowe) 15 (gimnazja) 50 (szkoły średnie)
Dom-Uczelnia	0.012·LM	LMU	Produkcja	100
Uczelnia-Dom	LMU	0.01·LM	Atrakcja	100
Dom-Inne	0.085·LM	LM+LMPU	Produkcja	17
Inne -Dom	LM+LMPU	0.099·LM	Atrakcja	24
Dom- WOH	0.037·LM	PWOH	Produkcja	10
WOH-Dom	PWOH	0.056·LM	Atrakcja	19
Dom-poza WOH	0.075·LM	PU+PUH	Produkcja	4
Poza WOH-Dom	PU+PUH	0.1·LM	Atrakcja	7
Praca-Praca	0.024·LMP	0.024·LMP	Produkcja	0
Praca-WOH	0.035·LMP	WOH	Produkcja	10
Praca-poza WOH	0.042·LMP	PU+PUH	Produkcja	0
Praca-Inne	0.048·LMP	LM+LMPU	Produkcja	15
Inne-Praca	LM+LMPU	0.027·LMP	Atrakcja	15
Pozostałe	0.026·LM+0.076·LMPU	LMPU+LM	Produkcja	2

Oznaczenia: LM –liczba mieszkańców, LM6PLUS – liczba mieszkańców w wieku 6 i więcej lat, LU – liczba uczniów, LS – liczba studentów, LMP – liczba miejsc pracy ogółem, LMPU – liczba miejsc pracy w usługach, LMS – liczba miejsc w szkołach podstawowych, gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych, LMU – liczba miejsc na uczelniach wyższych (tylko studia stacjonarne), PWOH – powierzchnia wielkopowierzchniowych obiektów handlowych [m<sup>2</sup>], PU – powierzchnia budynków usługowych [m<sup>2</sup>], PUH – powierzchnia budynków usługowo handlowych [m<sup>2</sup>].

Źródło: opracowanie własne.



## 2.4. Przestrzenny rozkład podróży

Rozkład przestrzenny (macierz podróży) dla podróży wewnętrznych został wykonany z wykorzystaniem modelu grawitacyjnego. Elementy macierzy podróży dla poszczególnych motywacji obliczono według równania:

$$T_{ij} = \frac{P_i \cdot A_j \cdot F_{ij}}{\sum A_j \cdot F_{ij}} \quad (5)$$

gdzie:  $T_{ij}$  – element więzby ruchu,  $P_i$  – potencjał wytwarzający rejonu  $i$ ,  $A_j$  – potencjał absorbujący rejonu  $j$ ,  $F_{ij}$  – funkcja oporu przestrzeni.

Przyjęto złożoną funkcję oporu przestrzeni bazującą na odległości między rejonami komunikacyjnymi w postaci:

$$F_{ij} = a \cdot l_{ij}^b \cdot e^{c \cdot l_{ij}} \quad (6)$$

gdzie:  $l_{ij}$  – odległość między rejonami mierzona po sieci,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – estymowane parametry funkcji oporu.

Dla każdej z motywacji dla obszaru Warszawy jak i aglomeracji estymowano parametry funkcji oporu przestrzeni wykorzystując rozkład długości podróży uzyskany z badań ankietowych i moduł Kalibri w pakiecie VISUM. Uzyskane parametry funkcji oporu przestrzeni przedstawiono w kolejnych tabelach.

**Tabela II.3. Parametry funkcji oporu przestrzeni dla podróży wewnętrznych mieszkańców Warszawy.**

Motywacja	a	b	c
Dom-Praca	0,324	-0,694	-0,021
Praca-Dom	0,324	-0,694	-0,021
Dom-Nauka	0,901	-2,357	-0,008
Nauka-Dom	0,901	-2,357	-0,008
Dom-Uczelnia	0,196	-0,115	-0,071
Uczelnia-Dom	0,196	-0,115	-0,071
Dom-Inne	0,594	-1,391	0,005
Inne -Dom	0,594	-1,391	0,005
Dom- WOH	0,867	-1,961	-0,1000
WOH-Dom	0,867	-1,961	-0,1000
Dom-poza WOH	0,911	-3,84	0,075
Poza WOH-Dom	0,911	-3,84	0,075
Praca-Praca	0,324	-0,727	-0,011
Praca-WOH	0,887	-1,304	-0,127
Praca-poza WOH	0,617	-1,555	0,032
Praca-Inne	0,371	-0,948	-0,009
Inne-Praca	0,371	-0,948	-0,009
Pozostałe	0,724	-1,729	0,011

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela II.4. Parametry funkcji oporu przestrzeni dla podróży wewnętrznych mieszkańców aglomeracji poza Warszawą.**

Motywacja	a	b	c
Dom-Praca	0,611	-0,619	-0,162
Praca-Dom	0,611	-0,619	-0,162
Dom-Nauka	1,188	-0,181	-0,522
Nauka-Dom	1,188	-0,181	-0,522
Dom-Uczelnia	0,001	11,138	-0,741
Uczelnia-Dom	0,001	11,138	-0,741
Dom-Inne	0,746	-1,940	0,045
Inne –Dom	0,746	-1,940	0,045
Dom- WOH	1,000	0,000	-3,000
WOH-Dom	1,000	0,000	-3,000
Dom-poza WOH	1,000	0,000	-3,000
Poza WOH-Dom	1,000	0,000	-3,000
Praca-Praca	0,324	-0,727	-0,011
Praca-WOH	0,887	-1,304	-0,127
Praca-poza WOH	2,880	1,256	-1,354
Praca-Inne	0,833	0,114	-0,436
Inne-Praca	0,682	1,908	-0,848
Pozostałe	0,636	-1,232	-0,028

Źródło: opracowanie własne.

## 2.5. Udział godziny szczytu

Na podstawie badań ankietowych w gospodarstwach domowych i wyników pomiarów ruchu określono godzinę szczytu porannego w okresie od 7:00 do 8:00 oraz godzinę szczytu popołudniowego w okresie 16:00 – 17:00. Na podstawie badań ankietowych wyznaczono współczynniki pozwalające na wyliczenie macierzy podróży osób w dowolnej godzinie doby (Tabela II.5 i Tabela II.6). W modelu wprowadzono udział godziny szczytu porannego i popołudniowego z dokładnością do 4 miejsc po przecinku, natomiast współczynniki pozwalające na obliczenie macierzy ruchu w dowolnej godzinie przedstawiono z dokładnością do 3 miejsc po przecinku.

**Tabela II.5. Udziały podróży rozpoczętych w poszczególnych godzinach doby w Warszawie.**

Godzina	Dom-Praca	Praca-Dom	Dom-Nauka	Nauka-Dom	Dom-Uczelnia	Uczelnia-Dom	Dom-Inne	Inne -Dom	Dom- WOH	WOH-Dom	Dom-poza WOH	Poza WOH-Dom	Praca-Praca	Praca-WOH	Praca-poza WOH	Praca-Inne	Inne-Praca	Pozostałe
0	-	0,002	-	-	-	-	-	0,001	-	-	-	-	-	-	-	0,002	-	-
1	-	0,001	-	-	-	-	-	0,001	-	-	-	0,001	-	-	-	-	-	-
2	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0,003	-	-	-	-	-	-	-	0,001	-	-	-	0,001	-	-	-	-	-
4	0,013	0,001	0,001	-	-	-	-	0,001	-	-	-	-	0,005	-	-	-	-	-
5	0,059	0,001	0,003	-	-	-	0,008	-	-	-	0,001	-	0,026	-	-	-	0,003	0,003
6	0,181	0,002	0,042	0,001	0,020	-	0,026	0,003	0,003	-	0,007	0,003	0,085	-	-	0,002	0,033	0,001
7	0,371	0,002	0,745	0,001	0,269	-	0,128	0,014	0,006	-	0,034	0,009	0,190	-	-	0,012	0,362	0,037
8	0,196	0,002	0,139	0,001	0,213	-	0,107	0,031	0,029	0,002	0,064	0,026	0,073	-	0,004	0,008	0,296	0,038
9	0,07	0,001	0,038	-	0,169	0,003	0,1	0,017	0,065	0,014	0,103	0,04	0,094	0,01	0,018	0,036	0,085	0,046

10	0,035	0,003	0,011	-	0,096	0,003	0,146	0,029	0,171	0,025	0,154	0,081	0,056	0,011	0,016	0,012	0,023	0,08
11	0,014	0,003	0,006	0,012	0,094	0,033	0,086	0,056	0,146	0,062	0,16	0,107	0,096	0,025	0,017	0,021	0,019	0,098
12	0,015	0,009	0,004	0,074	0,038	0,063	0,058	0,089	0,085	0,100	0,087	0,109	0,093	0,019	0,045	0,033	0,026	0,087
13	0,013	0,022	0,001	0,200	0,019	0,098	0,046	0,080	0,040	0,068	0,058	0,084	0,09	0,009	0,042	0,038	0,067	0,132
14	0,007	0,056	0,001	0,336	0,025	0,140	0,050	0,082	0,030	0,065	0,051	0,068	0,092	0,076	0,101	0,068	0,024	0,109
15	0,005	0,145	0,003	0,191	0,03	0,202	0,041	0,077	0,042	0,086	0,037	0,063	0,045	0,208	0,173	0,198	0,031	0,09
16	0,005	0,325	0,005	0,135	0,009	0,168	0,056	0,106	0,076	0,066	0,047	0,078	0,038	0,439	0,279	0,333	0,002	0,087
17	0,004	0,207	0,001	0,034	0,007	0,105	0,058	0,093	0,101	0,119	0,062	0,107	0,010	0,129	0,208	0,170	0,023	0,07
18	0,003	0,104	-	0,010	0,008	0,082	0,048	0,094	0,117	0,131	0,063	0,090	-	0,051	0,063	0,033	-	0,053
19	0,001	0,045	-	0,002	0,003	0,042	0,018	0,072	0,059	0,106	0,041	0,053	0,002	0,009	0,007	0,027	0,003	0,034
20	0,001	0,025	-	0,002	-	0,03	0,013	0,065	0,026	0,080	0,022	0,033	0,004	0,014	0,012	0,005	-	0,025
21	0,003	0,020	-	-	-	0,012	0,007	0,037	0,002	0,039	0,007	0,025	-	-	0,013	-	0,003	0,006
22	-	0,017	-	0,001	-	0,012	0,004	0,031	-	0,031	0,002	0,01	-	-	0,002	0,002	-	0,003
23	-	0,007	-	-	-	0,007	-	0,021	0,001	0,006	-	0,013	-	-	-	-	-	0,001

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela II.6. Udziały podróży rozpoczętych w poszczególnych godzinach doby w aglomeracji poza Warszawą.**

Godzina	Dom-Praca	Praca-Dom	Dom-Nauka	Nauka-Dom	Dom-Uczelnia	Uczelnia-Dom	Dom-Inne	Inne-Dom	Dom-WOH	WOH-Dom	Dom-poz WOH	Poz WOH-Dom	Praca-Praca	Praca-WOH	Praca-poz WOH	Praca-Inne	Inne-Praca	Pozostałe
0	-	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,003	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,096	0,002	0,018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,128	-	-	-	-	-
6	0,272	0,001	0,083	-	0,325	-	0,009	-	-	-	0,028	-	0,155	-	-	-	-	-
7	0,355	0,002	0,726	-	0,123	-	0,089	0,007	0,006	0,004	0,054	0,021	0,102	-	-	0,060	0,314	0,051
8	0,111	-	0,042	-	0,209	-	0,069	0,002	0,065	0,009	0,077	0,029	0,060	-	-	-	0,232	0,031
9	0,071	0,002	0,035	-	0,227	-	0,065	0,011	0,073	0,025	0,154	0,058	-	-	-	-	-	0,004
10	0,028	0,008	0,044	-	0,116	-	0,072	0,037	0,111	0,090	0,193	0,129	-	-	0,017	0,043	-	0,052
11	0,009	0,011	0,021	-	-	-	0,018	0,010	0,184	0,047	0,112	0,107	-	-	0,040	0,135	0,073	0,088
12	0,009	0,010	0,022	0,086	-	-	0,038	0,029	0,044	0,099	0,041	0,089	-	-	-	0,017	0,209	0,080
13	0,013	0,018	0,006	0,177	-	-	0,084	0,016	0,077	0,049	0,017	0,044	-	-	0,013	0,098	0,091	0,025
14	0,006	0,057	0,003	0,340	-	-	0,076	0,043	0,029	0,080	0,023	0,050	-	0,114	0,091	0,041	0,081	0,161
15	0,002	0,172	-	0,207	-	0,341	0,038	0,090	0,026	0,020	0,030	0,031	0,344	0,142	0,131	0,112	-	0,234
16	0,005	0,309	-	0,115	-	0,173	0,099	0,146	-	0,032	0,067	0,116	-	0,401	0,437	0,394	-	0,144
17	0,003	0,170	-	0,003	-	0,047	0,124	0,131	0,106	0,130	0,091	0,111	-	0,231	0,100	0,073	-	0,052
18	-	0,144	-	0,052	-	0,230	0,109	0,136	0,123	0,113	0,082	0,086	0,211	0,112	0,101	0,027	-	0,052
19	0,001	0,038	-	0,020	-	0,063	0,034	0,105	0,121	0,199	0,029	0,083	-	-	0,070	-	-	0,026
20	0,001	0,020	-	-	-	0,146	0,073	0,108	0,035	0,096	0,002	0,039	-	-	-	-	-	-
21	-	0,013	-	-	-	-	0,003	0,071	-	0,007	-	0,007	-	-	-	-	-	-
22	0,001	0,014	-	-	-	-	-	0,044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	0,002	-	-	-	-	-	0,014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Źródło: opracowanie własne.

## 2.6. Parkingi Park and Ride

Wśród generatorów ruchu wydzielono także parkingi Park and Ride: Metro Wilanowska, Metro Marymont, Metro Młociny, Metro Ursynów, Metro Stokłosy, Anin SKM, Połczyńska, Metro Młociny II, Al. Krakowska, Wawer SKM, Imielin, Ursus Niedźwiadek, Wawrzyszew oraz Stadion Narodowy. Na podstawie pomiarów napełnienia parkingów w godzinach 6.00, 10.00, 13.00 oraz 17.00<sup>9</sup> i ich pojemności, wyznaczono

<sup>9</sup> Informator statystyczny ZTM za kwiecień 2015, [www.ztm.waw.pl](http://www.ztm.waw.pl)

w odniesieniu do rozkładu dobowego ruchu wartości produkcji oraz atrakcji P+R w godzinach szczytu porannego oraz popołudniowego.

## 2.7. Model wyboru środka transportu

Wyniki badań WBR pozwoliły na sformułowanie i skalibrowanie modelu wyboru środka transportu zgodnego z wyborami zaobserwowanymi w badaniu. W szczególności:

- z zestawu dostępnych zmiennych objaśniających wybrano te, które istotnie wpływają na wybór środka transportu.
- oszacowano wzory pozwalające określić udział poszczególnych środków transportu w podróżach

W modelu uwzględniono trzy środki transportu:

- pieszo,
- transport zbiorowy (PuT),
- transport indywidualny (PrT).

Pozostałe, ujawnione w badaniu środki transportu (np. taksówka, motocykl, rower) lub ich kombinacje (P+R, B+R) mają znikomy udział w całości podróży i uwzględnienie ich w proponowanym modelu nie jest zasadne.

Podział na środki transportu odbywa się po:

- określeniu generacji ruchu (produkcji i atrakcji), która obliczona jest dla wszystkich podróży, w podziale na motywacje (18 motywacji) i grupy mieszkańców (mieszkańcy Warszawy, mieszkańcy aglomeracji poza Warszawą),
- rozkładzie przestrzennym podróży, w którym obliczone są dobowe macierze podróży dla wszystkich środków transportu, w podziale na motywacje,
- określeniu macierzy podróży w godzinach szczytu.

Dla uzyskanej macierzy w danej godzinie szczytu, w danej motywacji, w danej relacji model wyboru środka transportu określa jaką część podróży wykonana będzie poszczególnymi środkami transportu.

Model wyboru środka transportu jest dwustopniowy:

- w pierwszym kroku wydzielone są podróże piesze,
- w kolejnym kroku podróże niepiesze są dzielone pomiędzy transport zbiorowy (PuT) i indywidualny (PrT).

### i. Wydzielenie podróży niepieszych

W wynikach Badania uzyskano silną statystycznie zależność pomiędzy długością podróży a udziałem podróży pieszych. Na tej podstawie zaproponowano następującą formułę wydzielenie podróży niepieszych:

$$u_p = \begin{cases} 1 & \text{dla } l_{ij} < d_{\min} \\ f_p & \text{dla } d_{\min} \leq l_{ij} \leq d_{\max} \\ 0 & \text{dla } d_{\max} < l_{ij} \end{cases} \quad (7)$$

gdzie:  $l_{ij}$  – długość podróży w kilometrach,  $d_{\min}$  – odległość poniżej której wszystkie podróże odbywane są pieszo,  $d_{\max}$  – odległość powyżej której wszystkie podróże są zmotoryzowane,  $f_p$  – funkcja wydzielenia podróży pieszych.

Przyjęto dwa kształty funkcji wydzielenia podróży pieszych:

$$f_p = e^{-\left(\frac{l_{ij}}{c}\right)^2} \quad (8)$$

$$f_p = a \cdot e^{-c \cdot l_{ij}} \quad (9)$$

gdzie:  $l_{ij}$  – długość podróży w kilometrach;  $a$ ,  $c$  – estymowane parametry modelu.

Odległości poniżej których wszystkie podróże odbywane są pieszo ( $d_{\min}$ ) i powyżej których wszystkie podróże odbywane są transportem zbiorowym lub indywidualnym ( $d_{\max}$ ) zostały ustalone na podstawie badań ankietowych.

**Tabela II.7. Parametry funkcji wydzielenia podróży pieszych dla podróży wewnętrznych mieszkańców Warszawy.**

Motywacja	Typ funkcji	$d_{\min}$	$d_{\max}$	$a$	$c$
Dom-Praca	(8)	0,3	2,6	-	2,1
Praca-Dom	(8)	0,3	2,6	-	2,1
Dom-Nauka	(8)	0,3	3,4	-	2,2
Nauka-Dom	(8)	0,3	3,4	-	2,2
Dom-Uczelnia	(8)	0,4	2,9	-	1,8
Uczelnia-Dom	(8)	0,4	2,9	-	1,8
Dom-Inne	(9)	0,3	4,0	1,20	-0,65
Inne -Dom	(9)	0,3	4,0	1,30	-0,55
Dom- WOH	(8)	0,2	2,0	-	1,1
WOH-Dom	(8)	0,2	2,0	-	1,1
Dom-poza WOH	(8)	0,7	3,0	-	2,8
Poza WOH-Dom	(8)	0,7	3,0	-	2,8
Praca-Praca	(8)	0,2	2,0	-	1,1
Praca-WOH	(8)	0,3	3,0	-	1,5
Praca-poza WOH	(8)	0,3	3,0	-	2,5
Praca-Inne	(8)	0,2	1,8	-	1,8
Inne-Praca	(8)	0,2	1,8	-	1,8
Pozostałe	(8)	0,3	3,0	-	2,5

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela II.8. Parametry funkcji wydzielenia podróży pieszych dla podróży wewnętrznych mieszkańców aglomeracji poza Warszawą.**

Motywacja	Typ funkcji	$d_{\min}$	$d_{\max}$	$a$	$c$
Dom-Praca	(8)	0,4	3,5	-	0,75 <sup>R</sup> /0,60 <sup>P</sup>
Praca-Dom	(8)	0,4	3,5	-	0,75 <sup>R</sup> /0,60 <sup>P</sup>
Dom-Nauka	(8)	0,3	3,0	-	3,00
Nauka-Dom	(8)	0,3	3,0	-	3,00
Dom-Uczelnia*	-	-	-	-	-
Uczelnia-Dom*	-	-	-	-	-
Dom-Inne	(8)	0,4	2,5	-	1,00
Inne -Dom	(8)	0,4	2,5	-	1,00
Dom- WOH**	-	-	-	-	-
WOH-Dom**	-	-	-	-	-
Dom-poza WOH	(8)	0,4	2,5	-	1,80 <sup>R</sup> /2,20 <sup>P</sup>

Poza WOH-Dom	(8)	0,4	2,5	-	1,80 <sup>R</sup> /2,20 <sup>P</sup>
Praca-Praca**	-	-	-	-	-
Praca-WOH	(8)	0,4	2,0	-	0,45
Praca-poza WOH	(8)	0,4	2,0	-	0,50
Praca-Inne	(8)	0,4	3,0	-	0,50
Inne-Praca	(8)	0,4	3,0	-	0,50
Pozostałe	(8)	0,4	3,5	-	0,58

\* Wszystkie podróże w motywacji dom-uczelnia i uczelnia-dom realizowane są do Warszawy stąd brak podróży pieszych.

\*\* Nie zidentyfikowano w badaniu podróży pieszych w motywacji dom-WOH, WOH-dom i praca-praca.

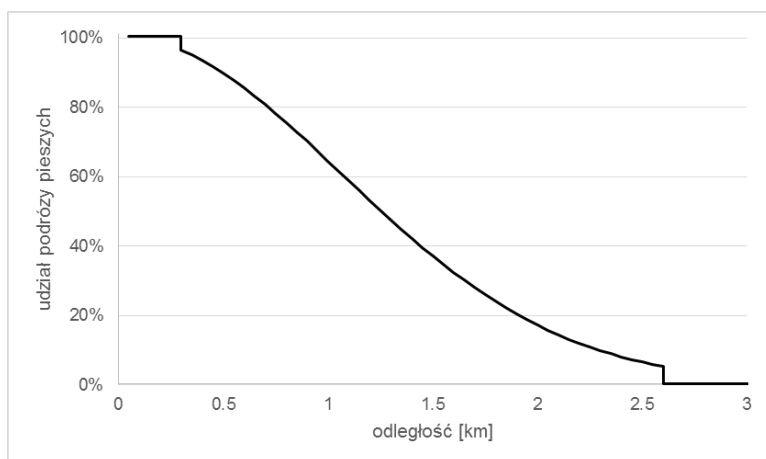
<sup>R</sup> Wartości dla szczytu porannego.

<sup>P</sup> wartości dla szczytu popołudniowego.

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione w powyższych tabelach parametry funkcji wydzielenia podróży pieszych zostały wykorzystane do wyznaczenia macierzy współczynników udziału przemieszczeń pieszych, która została obliczona w procedurach modelu.

**Rysunek II.1. Funkcja wydzielenia podróży nie pieszych dla motywacji dom-praca**



Źródło: Opracowanie własne na podstawie

## ii. Podział podróży niepieszych na komunikację zbiorową i indywidualną

Proces decyzyjny wyboru środka transportu opisuje model dyskretny - dwumianowy model logitowym. Model logitowy wykorzystuje tzw. użyteczność każdego środka transportu i na podstawie różnicy między nimi określa prawdopodobieństwo wyboru. Użyteczność jest kombinacją liniową zmiennych opisujących podróż odpowiednio komunikacją zbiorową i indywidualną. Użyteczność dana jest następującym wzorem:

$$V_a = \sum_{x_i \in X} \beta_i x_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (10)$$

gdzie:  $V_a$  – użyteczność środka transportu  $a$ ,  $\beta_i$  – współczynniki modelu,  $x_i$  – zmienne objaśniające modelu

W modelu logitowym zakłada się, że użytkownik wybierze alternatywę o największej użyteczności. Ujęcie użyteczności jako zmiennej losowej, zależnej od indywidualnych preferencji i błędów w ocenie zmiennych przez dokonującego wyboru, pozwala na sformułowanie modelu probabilistycznego określającego

prawdopodobieństwo wyboru danego środka transportu. Wykorzystanie modelu logitowego danego poniższym wzorem pozwala na określenie tego prawdopodobieństwa:

$$p_{PrT} = \frac{e^{V_{PrT}}}{e^{V_{PrT}} + e^{V_{PuT}}} \quad p_{PrT} = \frac{e^{V_{PrT}}}{e^{V_{PrT}} + e^{V_{PuT}}} \quad (11)$$

gdzie:  $p_{PrT}$  – prawdopodobieństwo wyboru transportu indywidualnego,  $V_{PrT}$  – użyteczność środka transportu indywidualnego,  $V_{PuT}$  – użyteczność środka transportu zbiorowego,

Zaproponowany model oblicza prawdopodobieństwo wyboru transportu zbiorowego (PuT) i transportu indywidualnego (PrT) dla każdej pary rejonów komunikacyjnych (OD Pairs) dzięki temu z macierzy wszystkich podróży w danej motywacji, w godzinie szczytu (porannego i popołudniowego) otrzymujemy:

- w pierwszym kroku macierze podróży pieszych i niepieszych (na podstawie wzoru (7))
- w drugim kroku macierz podróży niepieszych w podziale na macierze PuT i PrT zgodnie ze wzorem (11).

We wzorze (11) udział transportu indywidualnego w podróżach zależy od postaci funkcji użyteczności. W procesie kalibracji dobrano postać tej funkcji tak, aby wynik modelowego podziału zadań przewozowych był zgodny z podziałem zadań przewozowych uzyskanym w badaniu ankietowym.

W estymacji parametrów modelu logitowego wykorzystano wyniki badań ankietowych przeprowadzonych w ramach WBR 2015. Każda podróż stanowiła osobny rekord w bazie danych i była analizowana niezależnie. Wynika to z charakteru modelu logitowego, który jest modelem dyskretnym, a nie ciągłym (tak jak np. funkcja wykładnicza bazująca na ilorazie czasów przejazdu). Podróże podzielono na następujące grupy motywacji o podobnych zachowaniach:

- dom – praca – dom (DPD)
- dom – nauka – dom (DND)
- dom – uczelnia – dom (DUD)
- dom – inne – dom (DID)
- dom – WOH – dom (WOH)
- dom – poza WOH – dom (nWOH)
- praca – praca, praca – WOH, praca – poza WOH, praca – inne, inne – praca (PIP)
- pozostałe (POZ)

Liczebność podróży w każdej z grup wahała się od 1000 do 10 000 obserwacji (rekordów), co jest statystycznie wystarczające do estymacji weryfikacji i kalibracji modelu.

Zmienne jakie były rozważane są następujące:

1. Uzyskane w badaniu informacje o osobie dokonującej wyboru:
  - a. wiek (wiek)
  - b. dostęp do samochodu (R7)
  - c. główne zajęcie (R3)
2. Ogólny kontekst podróży:
  - a. godzina rozpoczęcia podróży (STARTh)
  - b. liczba podróży wykonanych w ciągu danego dnia (Ipodrozy)
  - c. początek podróży w SPPN (startSPPN)
  - d. koniec podróży w SPPN (stopSPPN)
  - e. motywacja w jakiej wykonywana była podróż (MOT2FIN)



- |                                                                                          |                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 3. Dokonany wybór środka transportu                                                      | ( <i>STfin2x</i> )               |
| 4. Rejon źródłowy i docelowy podróży                                                     | ( <i>startREJON, stopREJON</i> ) |
| 5. Odczytane z modelu atrybuty połączenia pomiędzy rejonami w transporcie indywidualnym: |                                  |
| a. odległość                                                                             | ( <i>DIS</i> )                   |
| b. czas przejazdu w ruchu swobodnym                                                      | ( <i>TT0</i> )                   |
| c. czas przejazdu po obciążonej sieci                                                    | ( <i>TTC</i> )                   |
| 6. Odczytane z modelu atrybuty połączenia pomiędzy rejonami w transporcie zbiorowym:     |                                  |
| a. czas podróży                                                                          | ( <i>JRT</i> )                   |
| b. czas jazdy                                                                            | ( <i>RIT</i> )                   |
| c. czas spędzony w pojazdach                                                             | ( <i>IVT</i> )                   |
| d. czas przejść pieszych                                                                 | ( <i>TWT</i> )                   |
| e. odczuwalny (ważony) czas podróży                                                      | ( <i>PJT</i> )                   |
| f. liczba połączeń w dobie                                                               | ( <i>SFQ</i> )                   |
| g. odległość podróży                                                                     | ( <i>JRD</i> )                   |
| h. prędkość względem odległości bezpośredniej                                            | ( <i>DISpeed</i> )               |
| i. udział metra w długości podróży                                                       | ( <i>IleMETRO</i> )              |
| j. udział kolei w długości podróży                                                       | ( <i>IleKOLEJ</i> )              |

W trakcie kalibracji określono kilkanaście postaci funkcji. W kolejnych propozycjach modeli sprawdzano istotność statystyczną zmiennych, które wpływają na wybór środka transportu. W większości przypadków uzyskiwane wyniki były zgodne z intuicją (odpowiedni znak współczynnika  $\beta$ ), jednak niektóre zmienne, które wydawały się być istotne okazały się obarczone dużym błędem (np. czas w pojeździe IVT) lub nieistotne statystycznie (np. prędkość pojazdów transportu zbiorowego liczona względem odległości po linii prostej). Dla niektórych zmiennych uzyskano wyniki poprawne statystycznie, ale niezgodne z intuicją, np. liczba przesiadek (NTR) estymowana z dodatnim współczynnikiem, co znaczyłoby, że im więcej przesiadek tym większa atrakcyjność transportu zbiorowego. Dużym zaskoczeniem jest mały wpływ płatnego parkowania przy miejscu pracy. Najistotniejszą zmienną wpływającą na wybór środka transportu jest dostęp do samochodu. Niestety pytanie o dostępność samochodu zostało niefortunnie sformułowane: „Czy ma Pan/Pani w gospodarstwie dostęp do samochodu?”. Dla potrzeb kalibracji modelu wyboru środka transportu pytanie to powinno brzmieć: „Czy mógł/a Pan/i wykonać tę podróżą samochodem”. W wyniku tego dla 80% podróży w badaniu podróżny miał dostęp do samochodu. Pozostałe 20% wybierało transport zbiorowy z braku innych możliwości. Spośród zmiennych kontekstu zarówno ruchliwość (średnia liczba podróży wykonanych w ciągu doby), jak i wiek były dodatnio skorelowane z wyborem transportu indywidualnego. Podróż transportem zbiorowym można opisać bardzo dokładnie, mając do wyboru kilkanaście macierzy kosztów (obliczonych w modelu). Spośród nich istotny okazał się czas przejazdu, czas przejść i przesiadek, udział metra w odległości podróży oraz częstotliwość kursowania. Metro w istotny sposób zwiększa atrakcyjność transportu zbiorowego, bardziej niż wynika to z samych czasów przejazdu. Wiele zmiennych, które wydają się istotne (np. liczba przesiadek, prędkość, wydłużenie) okazały się nieistotne statystycznie. We wstępnych próbach badano wpływ odległości i uzyskano pozytywną korelację pomiędzy odległością i wyborem transportu indywidualnego. Wpływ ten był jeszcze większy gdy użyto kwadratu odległości. W późniejszych analizach zastąpiono jednak odległość czasami przejazdu po obciążonej sieci. W tabeli poniżej przedstawiono parametry modelu wyboru środka transportu dla 8 grup motywacji w podróżach wewnątrz Warszawy. W kolejnych wierszach podano wartości współczynników przy zmiennych (brak oznacza, że zmienna nie została użyta w modelu) oraz podstawowe zależności statystyczne.



**Tabela II.9. Parametry funkcji podziału zadań przewozowych – wartości teoretyczne.**

U	Zmienna (x)	DPD	DND	DUD	DID	WOH	nWOH	PIP	POZ
		$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$
PrT	stała $\theta_0$ (-)	-4,630	-3,73	-2,89	-3,26	-2,98	-2,71	-3,28	-5,55
	B01_MAM_PRT (udział)	4,44	3,44	2,59	3,78	3,81	4,09	3,23	4,96
	B02_RUCHL-2 (podr./d)	0,155	-	0,389	0,357	0,319	0,315	0,342	0,555
	B03_wiek (lat)	0,0141	-	-	-	-	-0,0078	0,0162	0,0156
	B04_TTC (min.)	-0,00106	-	-0,0397	-0,0087	-0,0080	-0,0184	-0,0104	-0,0188
	B05_PLATNE_PARK (-)	-	-	-	-0,0616	-	-0,371	-	-
PuT	B11_JRT (min.)	-0,0141	-	-0,0461	-0,025	-0,049	-0,0346	-0,0355	-0,0683
	B11_JRD (km)	-	0,0319	-	-	-	-	-	-
	B12_TWT (min.)	-0,0389	-	-0,207	-0,0559	-	-0,0753	-	-
	B13_IleMETRO (%)	0,564	-	1,03	0,551	1,61	0,296	0,84	0,635
	B_14_SFQ (poł./dobę)	0,00198	-	0,00422	0,00235	0,00216	0,00285	0,00164	0,0026
Ocena	L( $\beta$ )	-3468,9	-747,93	-285,08	-1765,2	-530,28	-483,11	-668,35	-339,88
	$\rho^2$	0,231	0,156	0,558	0,349	0,332	0,404	0,211	0,395
	Liczba obserwacji	6773	1284	956	3932	1161	1194	1237	755
Spr.	Udział PuT (Ankieta)	0,615	0,665	0,872	0,619	0,514	0,637	0,466	0,550
	Udział PuT (Model)	0,604	0,683	0,862	0,600	0,525	0,609	0,489	0,520

gdzie:

- B01\_MAM\_PRT** średnia dla motywacji dostępność pojazdu w gospodarstwie (na podstawie badań)  
**B02\_RUCHL-2** średnia ruchliwość w danej motywacji pomniejszona o 2 podróże (na podstawie badań)  
**B03\_wiek** średni wiek podróżujących w danej motywacji (na podstawie badań)  
**B04\_TTC** czas przejazdu samochodem osobowym po obciążonej sieci  
**B05\_PLATNE\_PARK** czy podróż poza dom kończyła się w strefie płatnego parkowania (wartości 1), czy nie (wartość zero)  
**B11\_JRT** czas podróży komunikacją zbiorową  
**B11\_JRD** dystans podróży komunikacją zbiorową  
**B12\_TWT** czas oczekiwania na pojazd w miejscach przesiadek  
**B13\_IleMETRO** jaką część dystansu pokrywa metro  
**B\_14\_SFQ** liczba połączeń pomiędzy źródłem a celem w dobie (dla macierzy godzin szczytowych w tej godzinie)

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela II.10. Parametry funkcji podziału zadań przewozowych w szczycie porannym – wartości skalibrowane.**

U	Zmienna (x)	DP	PD	DN	ND	DU	UD	DI	ID	D-WOH	WOH-D	D-nWOH	nWOH-D	PP	P-WOH	P-nWOH	PI	IP	POZ
		$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$
PrT	ASC_PRT (-)	-4.87	-5.83	-3.15	-3.23	-3.6	-4	-2.5	-2	-4.98	-2.98	-4.2	-1.8	-3.9	-3.38	-3.28	-3.8	-2.9	-5.1
	B01_MAM_PRT (tak/nie)	4.42	4.42	3.46	3.46	2.59	2.59	3.8	3.8	3.77	3.77	4.15	4.15	3.24	3.24	3.24	3.24	3.24	4.99
	B02_RUCHL-2 (podr./d)	0.154	0.154	-	-	0.36	0.36	0.353	0.353	0.326	0.326	0.348	0.348	0.321	0.321	0.321	0.321	0.321	0.526
	B03_wiek (lat)	0.0141	0.0141	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.0086	-0.0086	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.0149
	B04_TTC (min.)	-	-	-	-	-0.0781	-0.0781	-0.0277	-0.0277	-0.0176	-0.0176	-0.0931	-0.0931	-0.302	-0.302	-0.302	-0.302	-0.302	-0.0401
	B05_PLATNE_PARK (-)	-	-	-	-	-	-	-0.0238	-0.0238	-	-	-0.274	-0.274	-	-	-	-	-	-
	Przekroczenie Wisły (z zachodu na wschód)	-0.9	-0.37	-	-	-	-	-	-	-1.05	-1.05	-	-	-	-	-	-	-	-
	Przekroczenie Wisły (ze wschodu na zachód)	-0.9	-0.237	-	-	-	-	-	-	-	-	0.96	0.96	-	-	-	-	-	-
PuT	B11_JRT (min.)	-0.0302	-0.0302	-	-	-0.0724	-0.0724	-0.0278	-0.0278	-0.0414	-0.0414	-0.0737	-0.0737	-0.0347	-0.0347	-0.0347	-0.0347	-0.0347	-0.0487
	B11_JRD (km)	-	-	0.0345	0.0345	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B12_TWT (min.)	-0.0149	-0.0149	-	-	-0.207	-0.207	0.00559	0.00559	-	-	-0.0053	-0.0053	-	-	-	-	-	-
	B13_IleMETRO (%)	0.494	0.494	-	-	0.704	0.704	0.275	0.275	0.825	0.825	0.352	0.352	0.837	0.837	0.837	0.837	0.837	0.608
	B_14_SFQ (poł./dobę)	0.0202	0.0202	-	-	0.0438	0.0438	0.03	0.03	0.0291	0.0291	0.0354	0.0354	0.0206	0.0206	0.0206	0.0206	0.0206	0.0327

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela II.11. Parametry funkcji podziału zadań przewozowych w szczycie popołudniowym – wartości skalibrowane.**

U	Zmienna (x)	DP	PD	DN	ND	DU	UD	DI	ID	D-WOH	WOH-D	D-nWOH	nWOH-D	PP	P-WOH	P-nWOH	PI	IP	POZ
		$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$
	ASC_PRT (-)	-4,74	-5,06	-2,5	-2,23	-3,6	-3,3	-3,3	-2,8	-3,2	-4,2	-2,75	-3,05	-4,8	-3,45	-4,2	-3,9	-2,9	-5,9
	B01_MAM_PRT (tak/nie)	4,42	4,42	3,46	3,46	2,59	2,59	3,8	3,8	3,77	3,77	4,15	4,15	3,24	3,24	3,24	3,24	3,24	4,99
	B02_RUCHL-2 (podr./d)	0,154	0,154	-	-	0,36	0,36	0,353	0,353	0,3260	0,3260	0,348	0,348	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,526
	B03_wiek (lat)	0,0141	0,0141	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,0086	-0,0086	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,0149
	B04_TTC (min.)	-	-	-	-	-0,0781	-0,0781	-0,0277	-0,0277	-0,0176	-0,0176	-0,0931	-0,0931	-0,0302	-0,0302	-0,302	-0,0302	-0,0302	-0,0401
	B05_PLATNE_PARK (-)	-	-	-	-	-	-	-0,0238	-0,0238	-	-	-0,274	-0,274	-	-	-	-	-	-
	Przekroczenie Wisły (z zachodu na wschód)	-0,37	-1	-	-	-	-	-	-	-1,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Przekroczenie Wisły (ze wschodu na zachód)	-0,237	-0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	0,96	0,96	-	-	-	-	-	-
	B11_JRT (min.)	-0,0302	-0,0302	-	-	-0,0724	-0,0724	-0,0278	-0,0278	-0,0414	-0,0414	-0,0737	-0,0737	-0,0347	-0,0347	-0,0347	-0,0347	-0,0347	-0,0487
	B11_JRD (km)	-	-	0,0345	0,0345	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B12_TWT (min.)	-0,0149	-0,0149	-	-	-0,0207	-0,0207	0,00559	0,00559	-	-	-0,0053	-0,0053	-	-	-	-	-	-
	B13_IleMETRO (%)	0,494	0,594	-	-	0,704	0,704	0,275	0,375	0,825	0,825	0,352	0,352	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,608
	B_14_SFQ (poł./dobę)	0,0202	0,0202	-	-	0,0438	0,0438	0,03	0,03	0,0291	0,0291	0,0354	0,0354	0,0206	0,0206	0,0206	0,0206	0,0206	0,0327

Źródło: opracowanie własne.

## 2.8. Model wyboru środka transportu w aglomeracji

Niestety dostępne wyniki badań w aglomeracji nie pozwoliły na opracowanie modelu podziału zadań przewozowych analogicznego jak dla Warszawy. Określono jedynie uproszczony model oparty o czasy przejazdu KZ i KI, dodatkowo uwzględniający atrakcyjność KZ w korytarzach kolejowych. Model ten pozwolił uzyskać udziały KZ i KZ zgodne z wynikami badań.

Tabela II.12. Parametry funkcji podziału zadań przewozowych w aglomeracji - szczyt poranny i popołudniowy.

U	Zmienna (x)	DPD	DND	inne
		$\beta$	$\beta$	$\beta$
	stała $\theta_0$ (-)	1,3	0	1
PrT	B04_TTC (min.)	-0,002	-0,002	-0,002
	B05_PLATNE_PARK (-)	-0,243	-0,243	-0,243
PuT	B11_JRT (min.)	-0,0057	-0,0057	-0,0057
	B13_IleKOLEJ (SKM, WKD, lub KM) (%)	0,51	0,51	0,51

Źródło: opracowanie własne.

## 3. Model zewnętrzny

### 3.1. Potencjały ruchotwórcze dla rejonów zewnętrznych – Transport indywidualny

Potencjały ruchotwórcze dla rejonów zewnętrznych dla transportu indywidualnego zostały obliczone na podstawie pomiarów na kordonie aglomeracji przeprowadzonych na potrzeby WBR 2015. Jako potencjał generujący ruch przyjęto ruch wjazdowy do obszaru analizy w poszczególnych godzinach szczytu i dla poszczególnych grup pojazdów, natomiast jako potencjał absorbujący – ruch wyjazdowy.

Jako dodatkowy generator ruchu zewnętrznego w modelu przyjęto lotnisko Warszawa Okęcie. Liczba podróży generowanych przez lotnisko została określona jako funkcja rocznej liczby pasażerów w odniesieniu do pomiarów ruchu w transporcie indywidualnym na drogach prowadzących do lotniska.

**Tabela II.13. Parametry funkcji generacji podróży dla ruchu źródłowego oraz docelowego do lotniska**

Szczyt	Produkcja	Atrakcja
poranny	0.0000121 * Pas/rok	0.0002 * Pas/rok
popołudniowy	0.0002 * Pas/rok	0.00016 * Pas/rok

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela II.14. Parametry funkcji oporu przestrzeni dla modelu źródłowego oraz docelowego do lotniska**

Rodzaj podróży	Rodzaj funkcji	Parametr <i>a</i>	Parametr <i>b</i>	Parametr <i>c</i>
Komunikacja indywidualna lotnisko	Combined	0,324	-0,694	-0,021

Źródło: opracowanie własne.

Rozkład długości podróży w ruchu docelowym oraz źródłowym został wyznaczony na podstawie modelu transportowego województwa Mazowieckiego<sup>10</sup>. Obszar aglomeracji Warszawskiej „wycięto” z modelu województwa mazowieckiego z zachowaniem rozkładu długości podróży. Rozkład długości podróży wykorzystano w procedurze KALIBRI do estymacji funkcji oporu przestrzeni. Następnie funkcje te zastosowano w obliczeniu macierzy podróży docelowych i źródłowych.

Ruch tranzytowy został określony na podstawie wyników Krajowego Modelu Ruchu oraz wyników WBR 2005. Dodatkowo uwzględniono zróżnicowanie w długości podróży zewnętrznych ze względu na klasę drogi. Przyjęto, że podróże z dróg krajowych będą dłuższe (głównie do Warszawy), a z dróg niższych klas krótsze (głównie do najbliższych miast), zgodnie z tabelą:

**Tabela II.15. Parametry funkcji oporu przestrzeni dla modelu źródłowego oraz docelowego samochodów osobowych**

Typ wlotu	Mnożnik macierzy użyteczności (macierz odległości międzyrejonowych DIS)	Rodzaj funkcji	Parametr <i>a</i>	Parametr <i>b</i>	Parametr <i>c</i>
Droga krajowa	1	Combined	0,051	0,735	-0,040
Droga wojewódzka	2	Combined	0,051	0,735	-0,040
Droga powiatowa	6	Combined	0,051	0,735	-0,040
Droga gminna	10 (20)	Combined	0,051	0,735	-0,040

Źródło: opracowanie własne.

### 3.2. Potencjały ruchotwórcze dla rejonów zewnętrznych – Transport zbiorowy

Wyróżniono podróże transportem zbiorowym w ruchu docelowym oraz źródłowym w 2 kategoriach: „podróże bliskie” oraz „podróże dalekie”. Do pierwszej z nich zaliczono podróże realizowane pojazdami Kolei Mazowieckich, Zarządu Transportu Miejskiego, Komunikacji Miejskiej Łomianki oraz mikrobusami podmiejskimi. Do drugiej z kategorii zaliczono podróże realizowane przez autobusy dalekobieżne oraz pociągi PKP Intercity i kolej dalekobieżną. Dla „podróży bliskich” potencjały ruchotwórcze przypisano do odpowiadających im wlotów, natomiast dla „podróży dalekich” do głównych dworców kolejowych: Warszawa Wschodnia, Zachodnia oraz Centralna i dworców autobusowych: Warszawa Zachodnia, Warszawa Wschodnia, Metro Wilanowska, Dworzec Wileński, Dworzec Gdański, Domy Centrum, Plac Defilad oraz Rondo Dmowskiego. Dla poszczególnych dworców określono potencjał w podróżach realizowanych

<sup>10</sup> Wykonanie modeli podróży w województwie mazowieckim w ramach projektu „Trendy rozwojowe Mazowsza”, Mazowieckie Biuro Planowania Regionalnego, Warszawa, 2015

transportem zbiorowym. Podróże realizowane samochodem osobowym miały bardzo mały udział. Do wyznaczenia rozkładu długości podróży wykorzystano badania ankietowe przeprowadzone w ramach WBR 2015 na dworcach autobusowych. Na ich podstawie wyznaczono odpowiednie przedziały rozkładu ilości podróży, które wykorzystano do przeprowadzenia procedury rozkładu grawitacyjnego potencjałów ruchotwórczych.

**Tabela II.16. Parametry funkcji oporu przestrzeni dla modelu źródłowego oraz docelowego komunikacji zbiorowej**

Rodzaj podróży	Rodzaj funkcji	Parametr $a$	Parametr $b$	Parametr $c$
Komunikacja zbiorowa dalekie	Combined	0,050	0,500	-0,750
Komunikacja zbiorowa bliskie	Combined	1,000	0,000	-0,069

Źródło: opracowanie własne.

#### 4. Model ruchu towarowego

[...]

#### 5. Model ruchu rowerowego prywatnego

[...]

### III. Rozkład ruchu na sieć

Opisany w poprzedniej części model popytu określa zapotrzebowanie na podróże pomiędzy rejonami komunikacyjnymi w podziale na środki transportu. Każda z tych podróży wykonywana jest w sieci transportowej, przy użyciu odpowiednich środków transportu. Podróżny wybiera trasę jaką dotrze do celu (środek transportu określony jest w modelu popytu na etapie podziału zadań przewozowych). Podróżując samochodem wybiera trasę w sieci drogowej, podróżując transportem zbiorowym wybiera dostępne połączenia. Rozkład ruchu na sieć transportową polega na przypisaniu każdej podróży międzyrejonowej odpowiedniej ścieżki pomiędzy źródłem a celem, zgodnie z przyjętymi kryteriami (najczęściej najkrótszy czas podróży lub odległość). Zsumowanie poszczególnych podróży na odcinkach daje w wyniku natężenia ruchu lub potoki pasażerskie.

#### 1. Rozkład ruchu na sieć drogową

Z sieci drogowej korzystają samochody osobowe, dostawcze i ciężarowe. Samochody używane są przez mieszkańców Warszawy (określeni w modelu M01), mieszkańców części aglomeracji poza Warszawą (określeni w modelu M02) oraz kierowców dojeżdżających spoza obszaru aglomeracji (określeni w modelu M03). Samochody dostawcze i ciężarowe (towarowe, określone w modelu M03 i M04) korzystają z sieci z uwzględnionymi ograniczeniami tonażowymi. Każdy z użytkowników szuka optymalnej dla siebie ścieżki

dotarcia do celu, kierując się swoim kryterium wyboru. Zazwyczaj kryterium tym jest czas przejazdu, czyli wybierana ścieżka pozwala na najszybsze dotarcie do celu.

W pozostałych podróżach samochodem osobowym uwzględniono dodatkowo karę za wjazd do Warszawy, co zapobiegało niewystępującym podróżom siecznym, oraz karę za przejazd przez Wisłę co wyeliminowało praktycznie niewystępujące w trakcie badania (znaczne utrudnienia na mostach) podróże dwukrotnie przekraczające rzekę. W modelach na rok 2016 i kolejne lata zrezygnowano z kary za przejazd przez Wisłę.

Podstawowym kryterium wyboru ścieżki pozostawał czas przejazdu po obciążonej sieci. Czas ten, określony dla ścieżki pomiędzy źródłem a celem, jest sumą czasów przejazdu kolejnych odcinków i kolejnych relacji skrajnych. Czas przejazdu odcinka jest określony funkcją oporu, na podstawie prędkości w ruchu swobodnym, przepustowości i stopnia jej wykorzystania. Czas przejazdu przez relację skrajną określony jest w modelu obliczania przepustowości relacji skrajnych.

Wszystkie pojazdy korzystają z sieci drogowej wspólnie i wspólnie wybierają trasy przejazdu. Odbyna się to w iteracyjnym algorytmie zbieżnym do równowagi w sensie Wardopa. Równowaga Wardopa to stan w którym każdy użytkownik wybiera ścieżkę najkrótszą i nie ma możliwości jej zmiany bez zwiększenia czasu przejazdu<sup>11</sup>. Nie jest tu istotne w jaki sposób określany jest punkt równowagi (jakim algorytmem), ale jaka jest miara zbieżności algorytmu (tzw. *relative gap*). W algorytmie uznano, że wynik na poziomie  $10^{-2}$  jest wystarczający. Dla mniejszych wartości wyniki pozostają nierealistyczne.

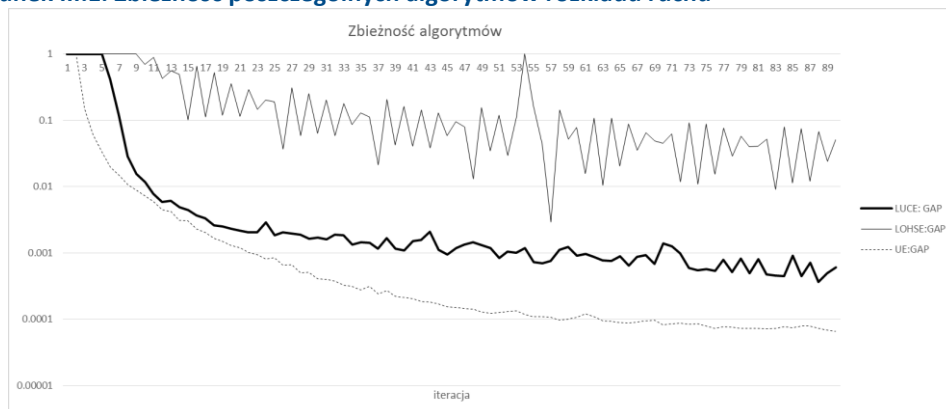
W trakcie prac nad modelem zauważono niepożądane działanie algorytmów szukających punktu równowagi (Equilibrium). Program VISUM udostępnia trzy algorytmy: klasyczny (Equilibrium), algorytm prof. Lohsego (Equilibrium Lohse) i algorytm prof. Gentile (LUCE). W punkcie równowagi (*relative gap* bliskie 0) wyniki wszystkich trzech procedur teoretycznie powinny być takie same (takie same potoki na odcinkach, obciążenia poszczególnych ścieżek i czasy przejazdu). W praktyce różnice pozostają znaczne, szczególnie gdy równowaga nie zostaje osiągnięta (*relative gap*  $> 10^{-2}$ ), dlatego w praktyce wybór odpowiedniego algorytmu nie jest prosty. W szczególności:

- algorytm Lohse rozwiązywany dla kilku klas może utykać w minimum lokalnym i generować wyniki dalekie od równowagi (czas przejazdu relacji skrajnej powyżej godziny). Gdy taka sytuacja wystąpi należy zwiększyć liczbę iteracji, lub użyć innego algorytmu.
- algorytm klasyczny jest najbardziej stabilny, ale niestety operuje jedynie na jednym wątku, wobec czego obliczenia (wykorzystujące tylko jeden rdzeń) są istotnie dłuższe.
- algorytm LUCE może generować duże czasy przejazdu na odcinkach lokalnych tuż przy konektorach (w przekazanym modelu problem ten nie występuje), oraz nieuwzględniana korelacja między ścieżkami może powodować nierzeczywisty podział potoku pomiędzy ścieżki (faworyzowanie ścieżek najkrótszych).

W przekazanej wersji modelu użyto algorytmu LUCE, w którym *relative gap* (względna różnica kosztów pomiędzy iteracjami) spada poniżej  $10^{-02}$  w rozsądnym czasie. Czas jest znacznie mniejszy gdy obliczane są wyniki rozkładu tylko jednego systemu transportu (SO), co pozwala znacznie przyspieszyć bieżące prace projektowe.

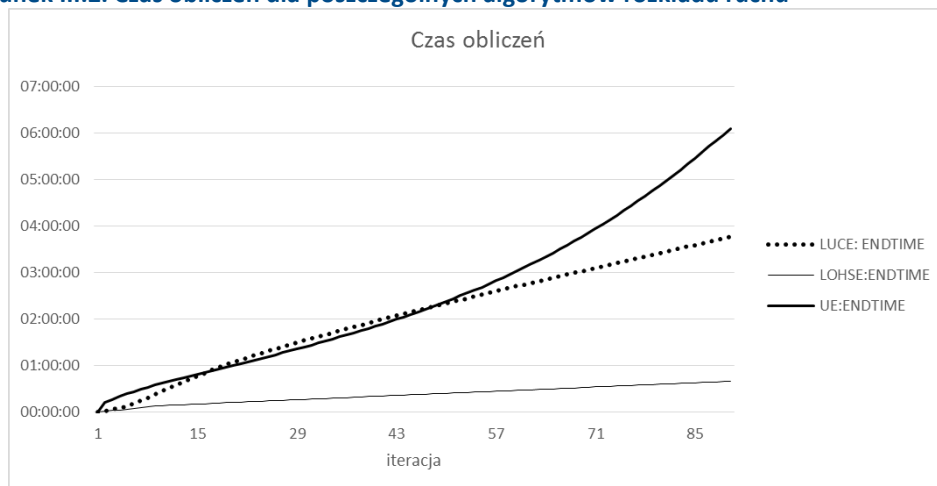
<sup>11</sup> Wardrop, J.G. (1952): Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research, Road Paper No. 36. Proceedings of the Institution of Civil Engineers.

**Rysunek III.1. Zbieżność poszczególnych algorytmów rozkładu ruchu**



Źródło: Opracowanie własne na podstawie

**Rysunek III.2. Czas obliczeń dla poszczególnych algorytmów rozkładu ruchu**



Źródło: Opracowanie własne na podstawie

## 2. Rozkład podróży komunikacją zbiorową

Podróżny w transporcie zbiorowym wybiera ścieżkę o najmniejszej uciążliwości. Uciążliwość podróży mierzona jest w odniesieniu do wszystkich jej etapów: dojścia do przystanku, oczekiwania na pojazd, przejazdu, ewentualnego przejścia przy przesiadce w obrębie węzła zintegrowanego lub pomiędzy węzłami, oczekiwania na kolejny pojazd oraz dojścia z przystanku końcowego do celu podróży. Poszczególne etapy podróży mają różną uciążliwość. W procedurze rozkładu ruchu na sieć transportu zbiorowego zamodelowano następujące czynniki warunkujące względną atrakcyjność (uciążliwość) połączeń PuT:

- względne wagi uciążliwości poszczególnych etapów czasowych podróży na etapie obliczania oporu danej ścieżki (*PuT path impedance*), wynoszące odpowiednio: 1,5 dla czasów przejścia pieszego; 2,0 dla czasów oczekiwania (przesiadki),
- czas przejazdu w pojeździe w oporze danej ścieżki jest mnożony dodatkowo przez współczynnik uciążliwości ustalany w procesie kalibracji – jego celem jest lepsze odwzorowanie faktycznych preferencji podróżnych i odczuwalnej przez nich atrakcyjności połączeń, co pozwoliło na uzyskanie

wyższej zgodności potoków z wartościami pomierzonymi w rzeczywistości; współczynnik ten odwzorowuje:

- zróżnicowaną atrakcyjność poszczególnych środków transportu zbiorowego (np. wyższą dla systemu metra, tramwajowego oraz autobusowego na wydzielonych buspasach) – szczegółowe wartości podano w tabeli poniżej,
- zwiększoną atrakcyjność linii autobusowych przyspieszonych (4xx i 5xx – współczynnik równy 0,95) oraz ekspresowych (E-x – współczynnik równy 0,90),
- wydłużenie czasu przejazdu autobusów w związku z zatłoczeniem sieci drogowej na odcinkach wspólnych, obliczane zgodnie ze wzorem w tabeli poniżej,
- wzrost uciążliwości podróży transportem zbiorowym na krótkich odcinkach, gdzie dochodzi do przeplatania się z ruchem ogólnym (drogowym) w warunkach wysokiej kongestii drogowej (np. korytarz trasy S8 na odcinku Mostu Grota-Roweckiego i przejścia w sąsiedztwie dzielnicy Żoliborz).
- dodatkowa uciążliwość przesiadki: wartość początkową danego czasu przejścia w obrębie węzłów obliczono dla prędkości równej 1,35 m/s; następnie w modelu rozkładu ruchu każda przesiadka wiąże się z dodatkowymi 6 minutami kary w równaniu oporu ścieżki; dodatkowo karę tę zwiększono o dodatkowe 3 minuty na wybranych zespołach przystankowych na terenie Warszawy (np. Stadion Narodowy, Dw. Wschodni (Lubelska) – Dw. Wschodni (Kijowska), Metro Marymont – Park Kaskada, Metro Wilanowska, Metro Politechnika – Plac Politechniki), gdzie przesiadka pomiędzy różnymi środkami transportu jest utrudniona ze względu na znaczną rozległość węzła lub dodatkowe bariery przestrzenne,

Spśród znalezionych połączeń wybierane są te atrakcyjne i obciążane odpowiednimi udziałami zgodnie z modelem logitowym o parametrze 0,25. Testowano również iteracyjny algorytm uwzględniający pojemność pojazdów w którym dodatkowo zwiększano uciążliwość przejazdu w zależności od poziomu zatłoczenia pojazdów transportu zbiorowego. Nie zwiększyło to jakości modelu, a znacznie zwiększało czas obliczeń, wobec czego zrezygnowano z tego podejścia.

Podróżni z zasady nie podróżują pieszo, mają do wyboru zbiór przystanków połączonych z centroidą rejonu. Przejścia piesze w sieci dozwolone są jedynie w obrębie zespołów przystankowych i zidentyfikowane atrakcyjne połączenia piesze (np. pomiędzy Dworcem Centralnym, Dworcem Śródmieście i stacją Metra Centrum). Dworce kolejowe połączono topologicznie w jeden zespół z przystankami ZTM znajdującymi się w pobliżu (np. Warszawa Gdańska).

**Tabela III.1. Współczynniki uciążliwości przejazdu odcinkiem w pojeździe komunikacji zbiorowej**

typ odcinka	współczynnik uciążliwości
metro	0,80
tramwaj (priorytet, wydzielony)	0,85
tramwaj pozostałe	0,90
kolej	1,00
autobus na pasie wydzielonym	1,00



autobus w ruchu ogólnym	$\min \left( 3, 1 + \left( \frac{Q}{C} \right)^2 \right)$ , gdzie $Q/C$ to stopień wykorzystania przepustowości
-------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Źródło: opracowanie własne.

## IV. Sprawdzenie poprawności modelu

### 1. Wprowadzenie

Model popytu jest teoretycznym, najbardziej prawdopodobnym odzwierciedleniem podróży wykonywanych w trakcie badania. Jest on uśrednieniem deklarowanych zachowań transportowych ujawnionych w badaniu. Jednak rzeczywiste przemieszczenia ujawnione w pomiarze mogą być inne niż te wynikające z modelu (który z konieczności uogólnia zachowania i uśrednia je do typowych). Stąd konieczność uwzględnienia dodatkowych współczynników i zmiennych korygujących pozwalających dopasować teoretyczny model do rzeczywistych przepływów w sieci. W procesie kalibracji dążono do uzyskania zgodności potoków pojazdów i pasażerów z wynikami pomiaru. **Ściśle unikano stosowania macierzy korekcji, aby wszelkie zmiany względem teoretycznego modelu popytu były jak najmniejsze, jak najbardziej czytelne i ogólne.**

### 2. Etap generacji i rozkładu przestrzennego podróży

#### 2.1. Porównanie wskaźników ruchliwości

W modelu generacji ruchu potencjały wyznaczane są jako iloczyn liczby osób w danej grupie (mieszkańcy, mieszkańcy w wieku 6 i więcej lat, uczniowie, studenci) i ruchliwości w poszczególnych motywacjach uzyskanej w badaniach ankietowych. Stąd nie ma różnic w ruchliwościach obliczonych z wykorzystaniem modeli generacji ruchu i wyznaczonych na podstawie badań zachowań komunikacyjnych.

Suma podróży rozpoczynanych i kończonych w obszarze analizy w ciągu doby, wyznaczona w modelu generacji podróży, została porównana z wartościami uzyskanymi w badaniach ankietowych (Tabela IV.1, Tabela IV.2). Zgodność jest częściowo zagwarantowana wykorzystaniem ruchliwości w modelu generacji podróży. Niemniej z uwagi na rozmieszczenie zmiennych objaśniających założono, że dobowe sumy potencjałów z badań i modelu mogą różnić się do 5 % (dodatkowe kryterium narzucone sobie przez Wykonawcę, a nie występujące w OPZ).

#### 2.2. Ocena zgodności liczby podróży obliczonych w modelu grawitacyjnym z wynikami badań

Ocenę zgodności liczby podróży obliczonych za pomocą modelu grawitacyjnego z liczbami rzeczywistych podróży uzyskanych z badań dla każdej z motywacji przedstawiono w poniższych tabelach ankietowych (Tabela IV.1, Tabela IV.2). Różnica pomiędzy liczbą podróży wynikającą z badań ankietowych i obliczoną w modelu w żadnym przypadku nie przekracza 5 %.

**Tabela IV.1. Sumy dobowych macierzy podróży mieszkańców Warszawy.**

Motywacja	Ankieta	Model	Różnica [%]
Dom-Praca	722299	723140	0.1
Praca-Dom	660076	659235	-0.1
Dom-Nauka	121637	120634	-0.8
Nauka-Dom	118169	117692	-0.4
Dom-Uczelnia*	60429	61379	1.6
Uczelnia-Dom*	52303	53009	1.3
Dom-Inne	286001	287574	0.5
Inne -Dom	305584	307755	0.7

Dom- WOH**	72378	72314	-0.1
WOH-Dom**	96754	97540	0.8
Dom-poza WOH	144454	144628	0.1
Poza WOH-Dom	177143	174899	-1.3
Praca-Praca**	31351	31256	-0.3
Praca-WOH	21094	21744	3.1
Praca-poza WOH	34257	33974	-0.8
Praca-Inne	48281	48923	1.3
Inne-Praca	25393	25820	1.7
Pozostałe	132859	135671	2.1
Suma*	3110462	723140	0.2

\* Suma nie obejmuje podróży rowerowych i podróży zewnętrznych w stosunku do aglomeracji stąd różnica w stosunku do raportu z badań ankietowych

Źródło: opracowanie własne.

Analogiczne porównanie wykonano dla podróży mieszkańców części aglomeracji poza Warszawą, które zostało przedstawione w poniższej tabeli.

**Tabela IV.2. Sumy dobowych macierzy podróży mieszkańców aglomeracji poza Warszawą.**

Motywacja	Ankieta	Model	Różnica [%]
Dom-Praca	251814	251782	0,0
Praca-Dom	222224	222505	0,1
Dom-Nauka	97817	97590	-0,2
Nauka-Dom	87977	87831	-0,2
Dom-Uczelnia	8040	7807	-3,0
Uczelnia-Dom	6371	6506	2,1
Dom-Inne	55129	55301	0,3
Inne –Dom	64265	64409	0,2
Dom- WOH	24254	24072	-0,8
WOH-Dom	36238	36433	0,5
Dom-poza WOH	48901	48800	-0,2
Poza WOH-Dom	65248	65065	-0,3
Praca-Praca	5363	5388	0,5
Praca-WOH	7769	7857	1,1
Praca-poza WOH	9302	9429	1,3
Praca-Inne	10436	10775	3,1
Inne-Praca	6108	6061	-0,8
Pozostałe	34764	34096	-2,0
Suma	1042018	1041708	0,0

Źródło: opracowanie własne.

### 2.3. Sprawdzenie zgodności czasów i odległości podróży

Na etapie obliczeń macierzy podróży mieszkańców Warszawy wykorzystano model grawitacyjny, w którym funkcja oporu przestrzeni uwzględniała odległość między rejonami. Uzyskane w modelu rozkłady długości podróży porównano z rozkładami długości podróży uzyskanymi z ankiet. Porównanie wykonano dla poszczególnych motywacji w podróżach dobowych, osobno dla podróży w Warszawie i na obszarze aglomeracji poza Warszawą.

**Tabela IV.3. Porównanie rozkładów długości podróży w Warszawie (część 1)**

Przedział odległości [km]	Udział podróży w poszczególnych przedziałach											
	Dom-Praca		Praca-Dom		Dom-Nauka		Nauka-Dom		Dom-Uczelnia		Uczelnia-Dom	
	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model
0-1	0,0332	0,0363	0,0336	0,0364	0,2757	0,3990	0,2746	0,3990	0,0142	0,0121	0,0139	0,0107
1-2	0,0515	0,0578	0,0563	0,0574	0,2482	0,1654	0,2619	0,1680	0,0354	0,0391	0,0365	0,0406
2-3	0,0567	0,0666	0,0583	0,0669	0,1162	0,0860	0,1058	0,0835	0,0754	0,0775	0,0887	0,0778
3-4	0,0652	0,0731	0,0593	0,0723	0,0616	0,0561	0,0686	0,0553	0,0726	0,1014	0,0759	0,0997
4-5	0,0692	0,0777	0,0728	0,0780	0,0409	0,0455	0,0477	0,0445	0,0904	0,1002	0,0851	0,0986
5-6	0,0644	0,0819	0,0676	0,0817	0,0384	0,0401	0,0340	0,0395	0,0845	0,1016	0,0773	0,1016
6-7	0,0676	0,0811	0,0706	0,0801	0,0258	0,0352	0,0247	0,0360	0,0734	0,0882	0,0843	0,0909
7-8	0,0683	0,0764	0,0720	0,0763	0,0209	0,0310	0,0201	0,0305	0,0582	0,0941	0,0830	0,0940
8-9	0,0673	0,0698	0,0667	0,0692	0,0250	0,0276	0,0200	0,0269	0,1191	0,0819	0,0742	0,0817
9-10	0,0626	0,0618	0,0594	0,0615	0,0224	0,0220	0,0202	0,0229	0,0665	0,0699	0,0512	0,0680
10-11	0,0543	0,0550	0,0554	0,0547	0,0223	0,0189	0,0191	0,0191	0,0640	0,0543	0,0604	0,0552
11-12	0,0509	0,0487	0,0544	0,0487	0,0147	0,0166	0,0141	0,0162	0,0346	0,0406	0,0325	0,0439
12-13	0,0447	0,0409	0,0442	0,0418	0,0097	0,0137	0,0098	0,0143	0,0362	0,0356	0,0487	0,0338
13-14	0,0361	0,0340	0,0381	0,0346	0,0122	0,0104	0,0120	0,0105	0,0355	0,0284	0,0461	0,0284
14-15	0,0348	0,0275	0,0324	0,0280	0,0071	0,0082	0,0078	0,0085	0,0365	0,0211	0,0322	0,0222
15-16	0,0269	0,0230	0,0268	0,0233	0,0043	0,0067	0,0045	0,0070	0,0240	0,0175	0,0229	0,0170
16-17	0,0204	0,0185	0,0194	0,0185	0,0062	0,0048	0,0097	0,0051	0,0166	0,0097	0,0186	0,0093
17-18	0,0219	0,0156	0,0205	0,0155	0,0050	0,0035	0,0054	0,0037	0,0137	0,0088	0,0159	0,0084
18-19	0,0152	0,0121	0,0163	0,0124	0,0068	0,0032	0,0073	0,0032	0,0135	0,0075	0,0086	0,0074
19-20	0,0137	0,0096	0,0170	0,0097	0,0042	0,0019	0,0016	0,0020	0,0096	0,0050	0,0153	0,0054
Zgodność R <sup>2</sup>	0,98		0,98		0,87		0,85		0,88		0,94	

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela IV.4. Porównanie rozkładów długości podróży w Warszawie (część 2)**

Przedział odległości [km]	Udział podróży w poszczególnych przedziałach											
	Dom-Inne		Inne-Dom		Dom-WOH		WOH-Dom		Dom-pozawOH		pozaWOH-Dom	
	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model
0-1	0,1097	0,1642	0,1088	0,1711	0,1135	0,1215	0,1097	0,1642	0,1088	0,1711	0,1135	0,1215
1-2	0,1399	0,1165	0,1347	0,1204	0,1262	0,1710	0,1399	0,1165	0,1347	0,1204	0,1262	0,1710
2-3	0,0956	0,0905	0,0952	0,0935	0,1445	0,1417	0,0956	0,0905	0,0952	0,0935	0,1445	0,1417
3-4	0,0706	0,0774	0,0805	0,0795	0,1391	0,1039	0,0706	0,0774	0,0805	0,0795	0,1391	0,1039
4-5	0,0630	0,0705	0,0544	0,0728	0,0795	0,0843	0,0630	0,0705	0,0544	0,0728	0,0795	0,0843
5-6	0,0661	0,0654	0,0679	0,0671	0,0751	0,0644	0,0661	0,0654	0,0679	0,0671	0,0751	0,0644
6-7	0,0575	0,0601	0,0572	0,0613	0,0390	0,0614	0,0575	0,0601	0,0572	0,0613	0,0390	0,0614
7-8	0,0544	0,0538	0,0603	0,0547	0,0405	0,0473	0,0544	0,0538	0,0603	0,0547	0,0405	0,0473
8-9	0,0461	0,0475	0,0411	0,0479	0,0310	0,0411	0,0461	0,0475	0,0411	0,0479	0,0310	0,0411
9-10	0,0432	0,0413	0,0474	0,0416	0,0306	0,0349	0,0432	0,0413	0,0474	0,0416	0,0306	0,0349
10-11	0,0268	0,0358	0,0321	0,0359	0,0128	0,0275	0,0268	0,0358	0,0321	0,0359	0,0128	0,0275
11-12	0,0337	0,0311	0,0384	0,0311	0,0124	0,0212	0,0337	0,0311	0,0384	0,0311	0,0124	0,0212
12-13	0,0248	0,0263	0,0261	0,0261	0,0083	0,0152	0,0248	0,0263	0,0261	0,0261	0,0083	0,0152
13-14	0,0193	0,0220	0,0205	0,0214	0,0114	0,0113	0,0193	0,0220	0,0205	0,0214	0,0114	0,0113
14-15	0,0187	0,0178	0,0197	0,0169	0,0104	0,0102	0,0187	0,0178	0,0197	0,0169	0,0104	0,0102
15-16	0,0144	0,0152	0,0154	0,0140	0,0123	0,0072	0,0144	0,0152	0,0154	0,0140	0,0123	0,0072
16-17	0,0237	0,0124	0,0188	0,0110	0,0154	0,0055	0,0237	0,0124	0,0188	0,0110	0,0154	0,0055
17-18	0,0133	0,0105	0,0145	0,0090	0,0244	0,0048	0,0133	0,0105	0,0145	0,0090	0,0244	0,0048
18-19	0,0114	0,0083	0,0067	0,0069	0,0045	0,0054	0,0114	0,0083	0,0067	0,0069	0,0045	0,0054
19-20	0,0087	0,0068	0,0089	0,0053	0,0050	0,0046	0,0087	0,0068	0,0089	0,0053	0,0050	0,0046
Zgodność R <sup>2</sup>	0,92		0,91		0,92		0,93		0,94		0,95	

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela IV.5. Porównanie rozkładów długości podróży w Warszawie (część 3)**

Przedział odległości [km]	Udział podróży w poszczególnych przedziałach*											
	Praca-Praca		Praca-WOH		Praca-pozawOH		Praca-Inne		Inne-Praca		Pozostałe	
	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model
0-1	0,0241	0,0521	0,0959	0,1268	0,1488	0,1811	0,0241	0,0521	0,0959	0,1268	0,1488	0,1811
1-2	0,0753	0,0707	0,1078	0,1187	0,1263	0,1335	0,0753	0,0707	0,1078	0,1187	0,1263	0,1335
2-3	0,0800	0,0769	0,1527	0,1274	0,0852	0,1055	0,0800	0,0769	0,1527	0,1274	0,0852	0,1055
3-4	0,0684	0,0772	0,1271	0,1098	0,0573	0,0858	0,0684	0,0772	0,1271	0,1098	0,0573	0,0858
4-5	0,0656	0,0787	0,1121	0,0988	0,0786	0,0746	0,0656	0,0787	0,1121	0,0988	0,0786	0,0746
5-6	0,0859	0,0823	0,0451	0,0823	0,0737	0,0689	0,0859	0,0823	0,0451	0,0823	0,0737	0,0689
6-7	0,0675	0,0800	0,0597	0,0785	0,0509	0,0612	0,0675	0,0800	0,0597	0,0785	0,0509	0,0612
7-8	0,0616	0,0744	0,0495	0,0589	0,0909	0,0540	0,0616	0,0744	0,0495	0,0589	0,0909	0,0540
8-9	0,0526	0,0651	0,0536	0,0486	0,0453	0,0450	0,0526	0,0651	0,0536	0,0486	0,0453	0,0450
9-10	0,0579	0,0572	0,0258	0,0411	0,0312	0,0374	0,0579	0,0572	0,0258	0,0411	0,0312	0,0374
10-11	0,0457	0,0494	0,0409	0,0306	0,0297	0,0310	0,0457	0,0494	0,0409	0,0306	0,0297	0,0310
11-12	0,0640	0,0422	0,0335	0,0218	0,0379	0,0256	0,0640	0,0422	0,0335	0,0218	0,0379	0,0256
12-13	0,0366	0,0356	0,0066	0,0139	0,0116	0,0209	0,0366	0,0356	0,0066	0,0139	0,0116	0,0209
13-14	0,0278	0,0301	0,0075	0,0101	0,0198	0,0172	0,0278	0,0301	0,0075	0,0101	0,0198	0,0172
14-15	0,0485	0,0250	0,0198	0,0078	0,0138	0,0137	0,0485	0,0250	0,0198	0,0078	0,0138	0,0137
15-16	0,0260	0,0210	0,0075	0,0068	0,0238	0,0113	0,0260	0,0210	0,0075	0,0068	0,0238	0,0113
16-17	0,0127	0,0167	0,0179	0,0052	0,0109	0,0087	0,0127	0,0167	0,0179	0,0052	0,0109	0,0087
17-18	0,0127	0,0136	0,0000	0,0037	0,0074	0,0070	0,0127	0,0136	0,0000	0,0037	0,0074	0,0070
18-19	0,0078	0,0107	0,0069	0,0032	0,0151	0,0051	0,0078	0,0107	0,0069	0,0032	0,0151	0,0051
19-20	0,0012	0,0086	0,0000	0,0024	0,0069	0,0038	0,0012	0,0086	0,0000	0,0024	0,0069	0,0038
Zgodność R <sup>2</sup>	0,89		0,91		0,93		0,92		0,85		0,90	

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela IV.6. Porównanie rozkładów długości podróży w aglomeracji poza Warszawą (część 1)**

Przedział odległości [km]	Udział podróży w poszczególnych przedziałach											
	Dom-Praca		Praca-Dom		Dom-Nauka		Nauka-Dom		Dom-Uczelnia		Uczelnia-Dom	
	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model
0-1	0,2334	0,2902	0,2264	0,2889	0,4576	0,5260	0,2334	0,2902	0,2264	0,2889	0,4576	0,5260
1-2	0,1234	0,1172	0,1466	0,1170	0,1756	0,1711	0,1234	0,1172	0,1466	0,1170	0,1756	0,1711
2-3	0,0946	0,0727	0,0967	0,0733	0,1393	0,0782	0,0946	0,0727	0,0967	0,0733	0,1393	0,0782
3-4	0,0592	0,0559	0,0628	0,0569	0,0189	0,0482	0,0592	0,0559	0,0628	0,0569	0,0189	0,0482
4-5	0,0446	0,0613	0,0358	0,0622	0,0063	0,0499	0,0446	0,0613	0,0358	0,0622	0,0063	0,0499
5-6	0,0478	0,0677	0,0558	0,0670	0,0048	0,0445	0,0478	0,0677	0,0558	0,0670	0,0048	0,0445
6-7	0,0470	0,0655	0,0362	0,0638	0,0118	0,0357	0,0470	0,0655	0,0362	0,0638	0,0118	0,0357
7-8	0,0475	0,0598	0,0448	0,0601	0,0177	0,0233	0,0475	0,0598	0,0448	0,0601	0,0177	0,0233
8-9	0,0500	0,0529	0,0548	0,0531	0,0145	0,0136	0,0500	0,0529	0,0548	0,0531	0,0145	0,0136
9-10	0,0692	0,0463	0,0607	0,0468	0,1006	0,0059	0,0692	0,0463	0,0607	0,0468	0,1006	0,0059
10-11	0,0627	0,0363	0,0627	0,0367	0,0306	0,0023	0,0627	0,0363	0,0627	0,0367	0,0306	0,0023
11-12	0,0419	0,0264	0,0402	0,0270	0,0224	0,0008	0,0419	0,0264	0,0402	0,0270	0,0224	0,0008
12-13	0,0301	0,0204	0,0211	0,0203	0,0000	0,0003	0,0301	0,0204	0,0211	0,0203	0,0000	0,0003
13-14	0,0324	0,0125	0,0331	0,0124	0,0000	0,0001	0,0324	0,0125	0,0331	0,0124	0,0000	0,0001
14-15	0,0077	0,0067	0,0133	0,0067	0,0000	0,0000	0,0077	0,0067	0,0133	0,0067	0,0000	0,0000
15-16	0,0035	0,0039	0,0017	0,0039	0,0000	0,0000	0,0035	0,0039	0,0017	0,0039	0,0000	0,0000
16-17	0,0008	0,0020	0,0009	0,0020	0,0000	0,0000	0,0008	0,0020	0,0009	0,0020	0,0000	0,0000
17-18	0,0020	0,0010	0,0039	0,0009	0,0000	0,0000	0,0020	0,0010	0,0039	0,0009	0,0000	0,0000
18-19	0,0021	0,0006	0,0023	0,0006	0,0000	0,0000	0,0021	0,0006	0,0023	0,0006	0,0000	0,0000
19-20	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000
Zgodność R <sup>2</sup>	0,94		0,91		0,92		0,94		0,63		0,34	

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela IV.7. Porównanie rozkładów długości podróży w aglomeracji poza Warszawą (część 2)**

Przedział odległości [km]	Udział podróży w poszczególnych przedziałach											
	Dom-Inne		Inne-Dom		Dom-WOH		WOH-Dom		Dom-pozawOH		pozaWOH-Dom	
	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model
0-1	0,6325	0,6670	0,5922	0,6109	0,5242	0,2732	0,6325	0,6670	0,5922	0,6109	0,5242	0,2732
1-2	0,0600	0,0581	0,0647	0,0540	0,2836	0,2197	0,0600	0,0581	0,0647	0,0540	0,2836	0,2197
2-3	0,0879	0,0242	0,0613	0,0248	0,0979	0,1292	0,0879	0,0242	0,0613	0,0248	0,0979	0,1292
3-4	0,0333	0,0165	0,0476	0,0190	0,0401	0,0965	0,0333	0,0165	0,0476	0,0190	0,0401	0,0965
4-5	0,0275	0,0180	0,0185	0,0221	0,0311	0,1089	0,0275	0,0180	0,0185	0,0221	0,0311	0,1089
5-6	0,0160	0,0194	0,0153	0,0237	0,0000	0,0834	0,0160	0,0194	0,0153	0,0237	0,0000	0,0834
6-7	0,0075	0,0203	0,0233	0,0259	0,0000	0,0447	0,0075	0,0203	0,0233	0,0259	0,0000	0,0447
7-8	0,0113	0,0208	0,0397	0,0274	0,0000	0,0062	0,0113	0,0208	0,0397	0,0274	0,0000	0,0062
8-9	0,0212	0,0215	0,0569	0,0287	0,0000	0,0115	0,0212	0,0215	0,0569	0,0287	0,0000	0,0115
9-10	0,0538	0,0213	0,0285	0,0281	0,0000	0,0070	0,0538	0,0213	0,0285	0,0281	0,0000	0,0070
10-11	0,0124	0,0193	0,0100	0,0256	0,0000	0,0034	0,0124	0,0193	0,0100	0,0256	0,0000	0,0034
11-12	0,0053	0,0165	0,0199	0,0223	0,0000	0,0100	0,0053	0,0165	0,0199	0,0223	0,0000	0,0100
12-13	0,0054	0,0150	0,0066	0,0197	0,0000	0,0061	0,0054	0,0150	0,0066	0,0197	0,0000	0,0061
13-14	0,0000	0,0129	0,0000	0,0162	0,0000	0,0001	0,0000	0,0129	0,0000	0,0162	0,0000	0,0001
14-15	0,0072	0,0106	0,0000	0,0127	0,0000	0,0000	0,0072	0,0106	0,0000	0,0127	0,0000	0,0000
15-16	0,0187	0,0094	0,0155	0,0106	0,0133	0,0000	0,0187	0,0094	0,0155	0,0106	0,0133	0,0000
16-17	0,0000	0,0079	0,0000	0,0084	0,0000	0,0000	0,0000	0,0079	0,0000	0,0084	0,0000	0,0000
17-18	0,0000	0,0067	0,0000	0,0064	0,0098	0,0000	0,0000	0,0067	0,0000	0,0064	0,0098	0,0000
18-19	0,0000	0,0047	0,0000	0,0046	0,0000	0,0000	0,0000	0,0047	0,0000	0,0046	0,0000	0,0000
19-20	0,0000	0,0038	0,0000	0,0036	0,0000	0,0000	0,0000	0,0038	0,0000	0,0036	0,0000	0,0000
Zgodność R <sup>2</sup>	0,98		0,99		0,81		0,79		0,98		0,98	

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela IV.8. Porównanie rozkładów długości w aglomeracji poza Warszawą (część 3)**

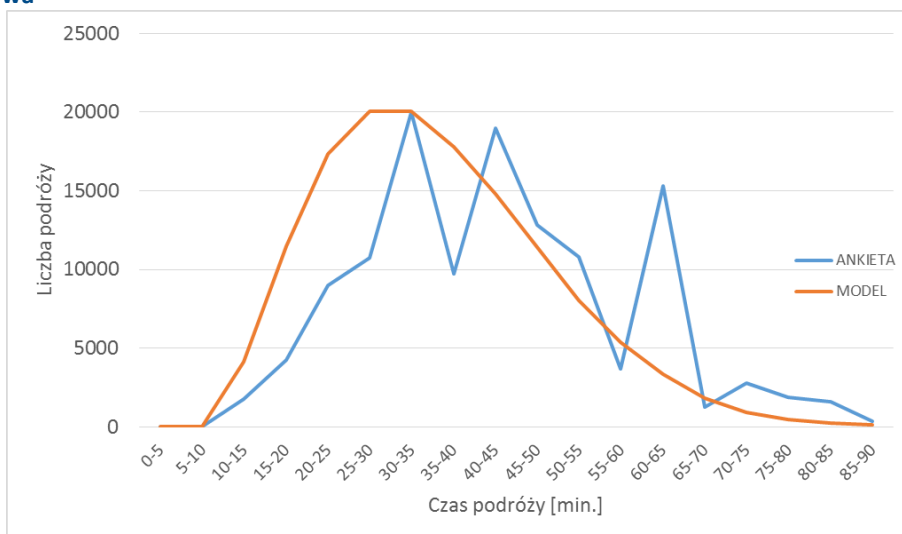
Przedział odległości [km]	Udział podróży w poszczególnych przedziałach*											
	Praca-Praca		Praca-WOH		Praca-pozawOH		Praca-Inne		Inne-Praca		Pozostałe	
	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model	Ankieta	Model
0-1	0.3158	0.2642	0.3133	0.1917	0.4410	0.4085	0.3158	0.2642	0.3133	0.1917	0.4410	0.4085
1-2	0.2555	0.1028	0.3688	0.1204	0.0713	0.3194	0.2555	0.1028	0.3688	0.1204	0.0713	0.3194
2-3	0.0880	0.0688	0.0581	0.0790	0.0929	0.1186	0.0880	0.0688	0.0581	0.0790	0.0929	0.1186
3-4	0.0000	0.0427	0.0000	0.0353	0.0359	0.0529	0.0000	0.0427	0.0000	0.0353	0.0359	0.0529
4-5	0.0000	0.0379	0.0000	0.0698	0.0451	0.0622	0.0000	0.0379	0.0000	0.0698	0.0451	0.0622
5-6	0.0000	0.0409	0.0663	0.0638	0.0000	0.0222	0.0000	0.0409	0.0663	0.0638	0.0000	0.0222
6-7	0.0000	0.0271	0.0758	0.0353	0.0000	0.0158	0.0000	0.0271	0.0758	0.0353	0.0000	0.0158
7-8	0.0000	0.0222	0.0212	0.0236	0.0787	0.0003	0.0000	0.0222	0.0212	0.0236	0.0787	0.0003
8-9	0.0000	0.0227	0.0000	0.0313	0.0000	0.0001	0.0000	0.0227	0.0000	0.0313	0.0000	0.0001
9-10	0.0270	0.0330	0.0000	0.0339	0.0000	0.0000	0.0270	0.0330	0.0000	0.0339	0.0000	0.0000
10-11	0.0000	0.0280	0.0000	0.0258	0.1052	0.0000	0.0000	0.0280	0.0000	0.0258	0.1052	0.0000
11-12	0.0000	0.0265	0.0422	0.0252	0.0651	0.0000	0.0000	0.0265	0.0422	0.0252	0.0651	0.0000
12-13	0.0000	0.0281	0.0543	0.0201	0.0325	0.0000	0.0000	0.0281	0.0543	0.0201	0.0325	0.0000
13-14	0.2112	0.0297	0.0000	0.0277	0.0000	0.0000	0.2112	0.0297	0.0000	0.0277	0.0000	0.0000
14-15	0.0000	0.0332	0.0000	0.0210	0.0000	0.0000	0.0000	0.0332	0.0000	0.0210	0.0000	0.0000
15-16	0.0000	0.0340	0.0000	0.0269	0.0000	0.0000	0.0000	0.0340	0.0000	0.0269	0.0000	0.0000
16-17	0.1024	0.0377	0.0000	0.0340	0.0322	0.0000	0.1024	0.0377	0.0000	0.0340	0.0322	0.0000
17-18	0.0000	0.0321	0.0000	0.0463	0.0000	0.0000	0.0000	0.0321	0.0000	0.0463	0.0000	0.0000
18-19	0.0000	0.0294	0.0000	0.0116	0.0000	0.0000	0.0000	0.0294	0.0000	0.0116	0.0000	0.0000
19-20	0.0000	0.0240	0.0000	0.0166	0.0000	0.0000	0.0000	0.0240	0.0000	0.0166	0.0000	0.0000
Zgodność R <sup>2</sup>	0.64		0.72		0.66		0.84		0.96		0.94	

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku podróży dla obszaru Warszawy uzyskano wysoką zgodność pomiędzy rozkładem długości podróży wynikającym z modelu i uzyskanym w badaniach ankietowych. Dla wszystkich motywacji współczynnik determinacji  $R^2$  jest większy od 0,85. Dla obszaru aglomeracji niskie wartości współczynnika determinacji uzyskano dla motywacji o małej liczbie podróży.

Weryfikację modelu przeprowadzono również na podstawie porównania czasów podróży uzyskanych w modelu oraz **deklarowanych** w badaniach ankietowych. Z uwagi na wydzielenie podróży komunikacją zbiorową i indywidualną w poszczególnych szczytach, wykonano porównanie jedynie dla dominujących motywacji. W szczycie porannym uwzględniono motywacje dom-praca, dom-nauka i dom-inne. W szczycie popołudniowym skupiono się na motywacji praca-dom. Porównanie pokazuje dobrą zgodność czasów podróży w szczycie porannym, zarówno dla komunikacji zbiorowej i indywidualnej. W szczycie popołudniowym zauważyć można więcej krótkich podróży w modelu niż w ankietach, zwłaszcza w odniesieniu do komunikacji indywidualnej. Przyczyną może być uwzględnienie w porównaniu deklarowanych w ankietach czasów przejazdu, które w szczycie popołudniowym mogą wydawać się dłuższe kierowcom, niż są w rzeczywistości. Przy porównywaniu wartości deklarowanych wartości występuje nadreprezentacja okrągłych wartości – respondenci zazwyczaj zaokrąglają deklarowane czasy – stąd zazwyczaj znacznie więcej podróży o deklarowanym czasie 1 godziny, niż 55 minut.

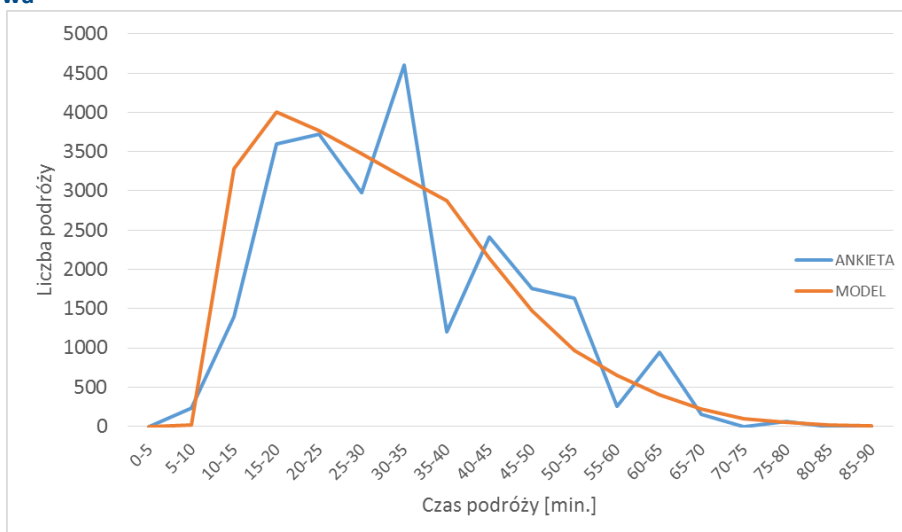
**Rysunek IV.1. Porównanie czasów podróży w Warszawie, szczyt poranny, motywacja dom-praca, komunikacja zbiorowa**



Źródło: opracowanie własne.

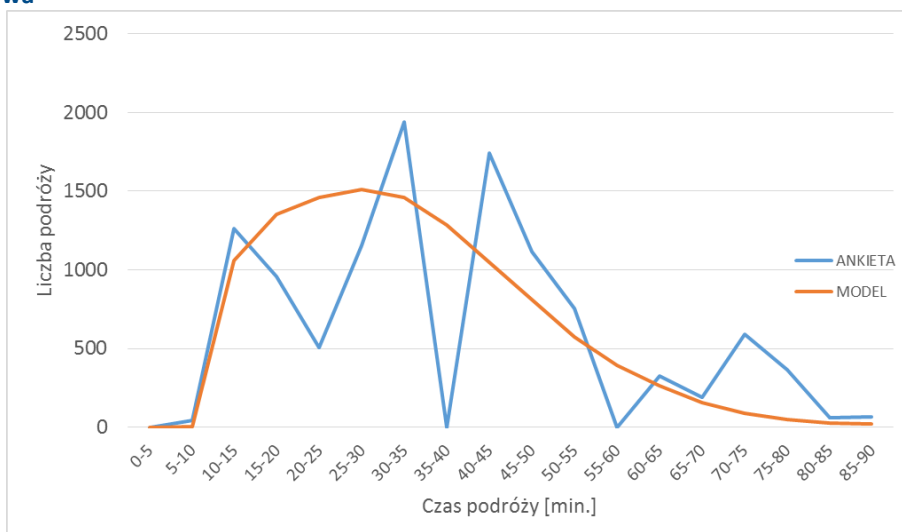


**Rysunek IV.2. Porównanie czasów podróży w Warszawie, szczyt poranny, motywacja dom-nauka, komunikacja zbiorowa**



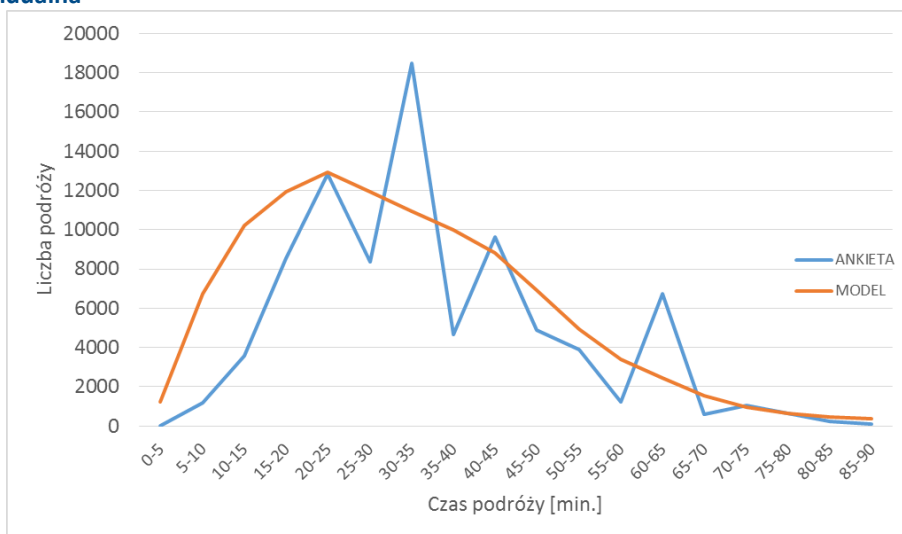
Źródło: opracowanie własne.

**Rysunek IV.3. Porównanie czasów podróży w Warszawie, szczyt poranny, motywacja dom-inne, komunikacja zbiorowa**



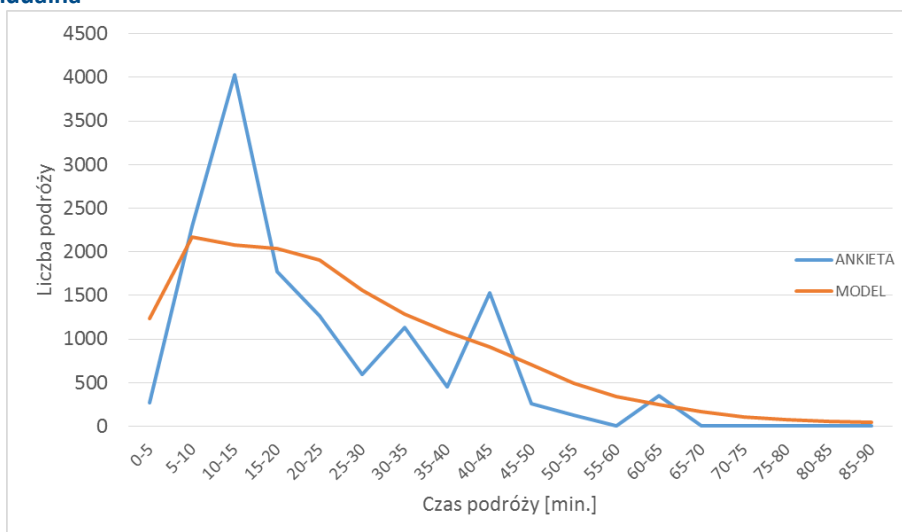
Źródło: opracowanie własne.

**Rysunek IV.4. Porównanie czasów podróży w Warszawie, szczyt poranny, motywacja dom-praca, komunikacja indywidualna**



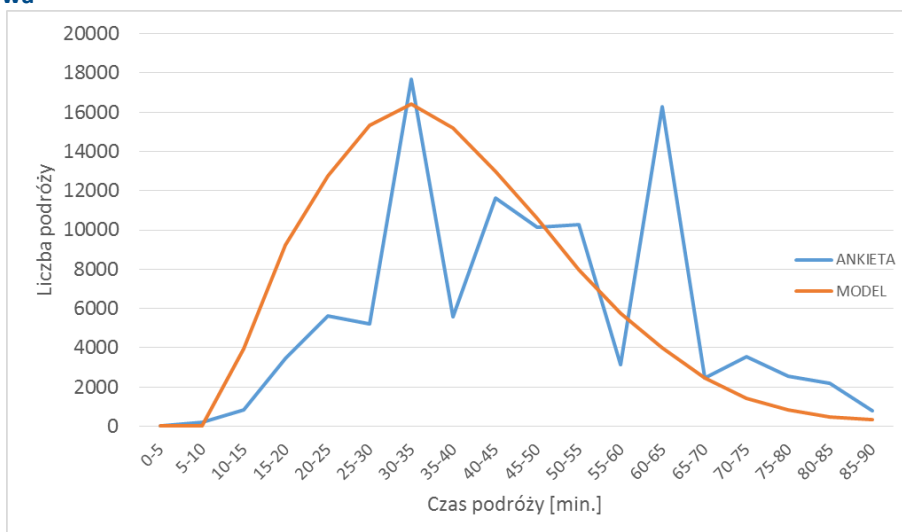
Źródło: opracowanie własne.

**Rysunek IV.5. Porównanie czasów podróży w Warszawie, szczyt poranny, motywacja dom-inne, komunikacja indywidualna**



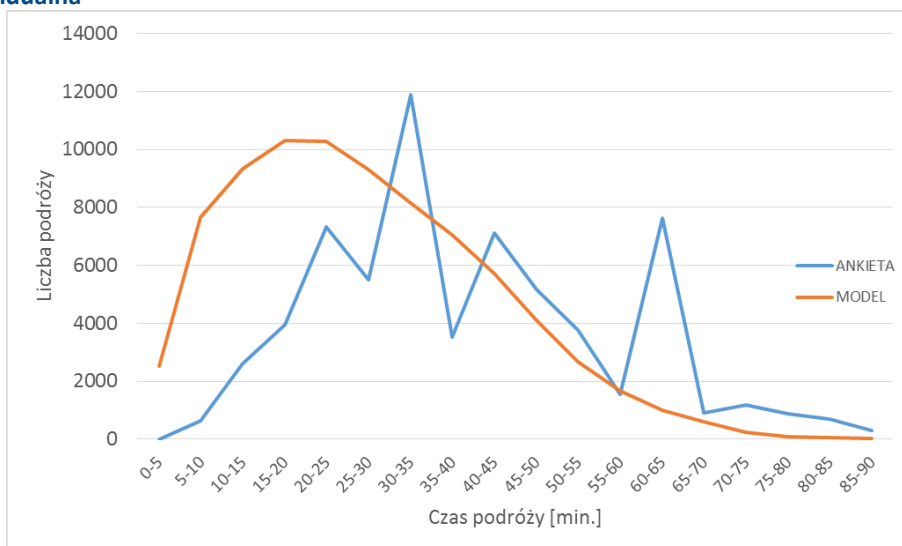
Źródło: opracowanie własne.

**Rysunek IV.6. Porównanie czasów podróży w Warszawie, szczyt popołudniowy, motywacja praca-dom, komunikacja zbiorowa**



Źródło: opracowanie własne.

**Rysunek IV.7. Porównanie czasów podróży w Warszawie, szczyt popołudniowy, motywacja praca-dom, komunikacja indywidualna**



Źródło: opracowanie własne.

### 3. Etap podziału zadań przewozowych

Parametry modelu logitowego opisanego w rozdziale 2.7.ii były kalibrowane tak, by uzyskać wyniki zgodne z badaniami. Dotyczyło to sprawdzenia rozkładu długości podróży i udziału transportu zbiorowego w podróżach ogółem. Zaproponowane modele dawały zgodność z badaniem przy różnicach nie większych niż kilka punktów procentowych i aby uzyskać lepszą zgodność zmieniano wyraz wolny modelu  $\beta_{PT}$ . W ramach kalibracji modelu czasy przejazdu komunikacją indywidualną zmieniały się, wobec tego model kilkakrotnie poddawano kalibracji i zmieniano parametr  $\beta_{TTC}$ .

Dodatkowo, w wyniku analiz wyników pomiarów i porównania ich z wynikami ankiet postanowiono uwzględnić inne zachowania użytkowników przy przekraczaniu Wisły, dlatego użyto zmiennych *WisłaEW*

i *WiślaWE* odpowiednio zwiększających, lub zmniejszających udział podróży transportem zbiorowym przy przejazdach z prawobrzeżnej do lewobrzeżnej części Warszawy i w drugą stronę. Dotyczyło to głównie podróży związanych z pracą i nauką.

Postać modelu uzyskano w wyniku iteracyjnego aktualizowania udziału transportu zbiorowego i indywidualnego na podstawie zmieniających się w każdej iteracji czasów jazdy transportem indywidualnym. Proces taki stabilizuje się po kilku iteracjach (przyjęto 4 iteracje). Dla modeli prognostycznych konieczne jest iteracyjne powtarzanie następującej pętli:

- 1) określ udział podróży transportem indywidualnym,
- 2) oblicz macierze popytu dla transportu indywidualnego,
- 3) wykonaj procedurę rozkładu ruchu na sieć,
- 4) oblicz koszty podróży (w tym czas przejazdu w sieci obciążonej (TTC)) i na ich podstawie,
- 5) określ udział podróży transportem indywidualnym,
- 6) jeśli udziały się zmieniły idź do kroku 2, jeśli pozostały takie same – zakończ pętlę.

Powyższe zabiegi pozwoliły uzyskać zadowalającą zgodność pomiędzy wielkościami przewozów uzyskanymi z ankiet oraz modelu. Wyniki przedstawiono w poniższych tabelach. Dla motywacji podróży o udziale w godzinie szczytu powyżej 5 % różnice pomiędzy wielkościami przewozów są nie większe niż 5 %. Dla pozostałych motywacji różnica nie przekracza 500 podróży, poza 4 motywacjami w szczycie popołudniowym. Różnica pomiędzy sumarycznymi liczbami podróży w komunikacji indywidualnej i zbiorowej w poszczególnych szczytach nie przekracza 0,5 %.

**Tabela IV.9. Porównanie wielkości przewozów w Warszawie w szczycie porannym**

Motywacja	Transport indywidualny				Transport zbiorowy			
	Ankieta	Model	Różnica	Różnica [%]	Ankieta	Model	Różnica	Różnica [%]
Dom-Praca	108592	110380	-1788	2%	139733	136991	2742	-2%
Praca-Dom	348	415	-67	16%	1094	1042	52	-5%
Dom-Nauka	17322	17340	-18	0%	26871	26944	-73	0%
Nauka-Dom	0	26	-26	100%	46	44	2	-5%
Dom-Uczelnia	1298	1416	-118	8%	14582	14421	161	-1%
Uczelnia-Dom	0	0	0	0%	0	0	0	0%
Dom-Inne	16385	17311	-926	5%	12575	11302	1273	-11%
Inne –Dom	1892	2135	-243	11%	742	955	-213	22%
Dom- WOH	77	86	-9	11%	282	316	-34	11%
WOH-Dom	0	0	0	0%	0	0	0	0%
Dom-poza WOH	406	333	73	-22%	1692	1763	-71	4%
Poza WOH-Dom	200	499	-299	60%	83	205	-122	60%
Praca-Praca	2821	2836	-15	1%	2912	2819	93	-3%
Praca-WOH	0	0	0	0%	0	0	0	0%
Praca-poza WOH	0	0	0	0%	0	0	0	0%
Praca-Inne	300	289	11	-4%	268	256	12	-5%
Inne-Praca	6432	6212	220	-4%	2487	2600	-113	4%
Pozostałe	1970	2021	-51	3%	937	1023	-86	8%
Suma	158044	161299	-3255	2%	204304	200681	3623	-2%

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela IV.10. Porównanie wielkości przewozów w Warszawie w szczycie popołudniowym**

Motywacja	Transport indywidualny				Transport zbiorowy			
	Ankieta	Model	Różnica	Różnica [%]	Ankieta	Model	Różnica	Różnica [%]
Dom-Praca	1641	1684	-43	3%	1299	1526	-227	15%
Praca-Dom	82713	83605	-892	1%	120095	118513	1582	-1%
Dom-Nauka	271	241	30	-13%	170	185	-15	8%
Nauka-Dom	7045	7224	-179	2%	4694	4258	436	-10%
Dom-Uczelnia	0	55	-55	100%	485	451	34	-7%
Uczelnia-Dom	909	968	-59	6%	6850	6997	-147	2%
Dom-Inne	4567	4781	-214	4%	7161	6995	166	-2%
Inne –Dom	12861	12986	-125	1%	13067	12593	474	-4%
Dom- WOH	2800	2869	-69	2%	1511	1827	-316	17%
WOH-Dom	1847	1934	-87	5%	3897	3520	377	-11%
Dom-poza WOH	1178	1632	-454	28%	1388	1353	35	-3%
Poza WOH-Dom	3018	2418	600	-25%	4396	4623	-227	5%
Praca-Praca	333	363	-30	8%	848	766	82	-11%
Praca-WOH	4871	5013	-142	3%	3487	2980	507	-17%
Praca-poza WOH	2840	2965	-125	4%	3943	3636	307	-8%
Praca-Inne	7285	7549	-264	4%	7307	7165	142	-2%
Inne-Praca	55	38	17	-45%	0	13	-13	100%
Pozostałe	3995	4139	-144	3%	4132	4344	-212	5%
Suma	138229	140465	-2236	2%	184730	181746	2984	-2%

Źródło: opracowanie własne.

Z uwagi na uproszczony model podziału zadań przewozowych dla obszaru aglomeracji poza Warszawą oraz małą liczebność próby, weryfikację podziału zadań przewozowych dla tego obszaru przeprowadzono poprzez porównanie uzyskanego udziału podróży transportem zbiorowym i indywidualnym.

**Tabela IV.11. Porównanie udziałów podróży realizowanych transportem zbiorowym i indywidualnej przez mieszkańców obszaru aglomeracji poza Warszawą.**

Szczyt	Udział	Ankieta	Model
Poranny	Transportu zbiorowego	0,37	0,40
	Transportu indywidualnego	0,63	0,60
Popołudniowy	Transportu zbiorowego	0,34	0,38
	Transportu indywidualnego	0,66	0,62

Źródło: opracowanie własne.

#### 4. Etap rozkładu ruchu w sieci

Pomimo uzyskania wysokiej zgodności modelu popytu z wynikami badań ankietowych, po wykonaniu rozkładów ruchu na sieć, konieczna była dalsza kalibracja w celu uzyskania zgodności modelowanych potoków pojazdów i pasażerskich z pomierzonymi.

Jak już wcześniej wspomniano, model popytu jest teoretycznym, najbardziej prawdopodobnym odzwierciedleniem podróży wykonywanych w trakcie badania. Zawsze, niezależnie od dokładności danych wejściowych oraz staranności w przygotowaniu modelu popytu i modelu sieciowego, uzyskane w rozkładzie ruchu potoki pasażerskie i natężenia ruchu pojazdów mogą różnić się od pomierzonych.

W takiej sytuacji możliwe są co najmniej dwa podejścia. Pierwsze podejście zakłada pozostawienie modelu bez dalszych korekt. W drugim podejściu można założyć, że wyniki pomiarów ruchu są rezultatem realizacji nieopisanego procesu losowego, którego uśredniony model popytu nie opisuje. Przyjmując drugie podejście w niniejszym modelu wprowadzono dodatkowe korekty, pozwalające na dobre dopasowanie wyników modelu teoretycznego do wyników pomiaru ruchu.

Osiągnięto to poprzez modyfikacje modelu sieciowego i modelu popytu. Dla modelu aglomeracyjnego wprowadzono w każdej gminie (MainZone) mnożnik produkcji i atrakcji, który pozwolił uzyskać zgodność natężeń ruchu na kordonie Warszawy. Dla podróży w Warszawie użyto mnożnika w podróżach przez Wisłę oraz ogółem. Mnożniki te dobrano tak, by liczba podróży na ekranie Wisły i na kordonie śródmieścia była zgodna z pomiarem. Nie używano macierzy korekcji, a więc model jest wciąż zgodny z założeniami modelu teoretycznego i umożliwia prognozowanie.

W komunikacji zbiorowej kalibracja odbywała się poprzez dobór parametrów uciążliwości (dodatkowa kara za przesiadkę, za oczekiwanie i dojeżdżanie), dobór parametru w logitowym modelu wyboru połączenia, względną uciążliwość czasu przejazdu w poszczególnych środkach transportu, pojemności pojazdu, oraz wydłużenie czasu przejazdu autobusem względem rozkładu.

W komunikacji indywidualnej kalibrowano przepustowość, prędkość i funkcje oporu poszczególnych typów odcinków, oraz identyfikowano odcinki nietypowe (np. Nowy Świat, Karowa, Aleje Jerozolimskie, rozbudowywana Trasa AK). Aby uzyskać realistyczne przepływy pojazdów przez sieć dopracowywano funkcje oporu odcinków, oraz metodę parametryzacji relacji skrajnych, weryfikowano heurystyki w uproszczonej metodzie Webstera, oraz heurystykę określającą liczbę pasów i parametry funkcji oporu Akcelik. Dla zidentyfikowanych skrzyżowań o nietypowej geometrii określano ręcznie parametry do obliczania przepustowości: liczbę pasów, udział sygnału zielonego i przepustowość w relacjach niesygnalizowanych.

Kalibrację modelu wykonano dla godzin szczytu porannego i popołudniowego. Kalibracja modelu statycznego dla okresu doby nie jest możliwa (głównie z powodu parametryzacji przepustowości sieci dla okresu doby – nie ma metody określania przepustowości dobowej i czasu przejazdu w dobie) i wydaje się bezcelowa. System miejski modeluje się do godzin szczytu, których wyniki mogą być ekstrapolowane (korzystając ze wskaźników udziałów godzin szczytu w dobie) dla całej doby. W wypadku konieczności wykonania modelu dla innych godzin można użyć odpowiednich udziałów tej godziny w motywacjach, niestety nie ma danych pozwalających na łatwe przeliczenie macierzy zewnętrznych na dowolną godzinę.

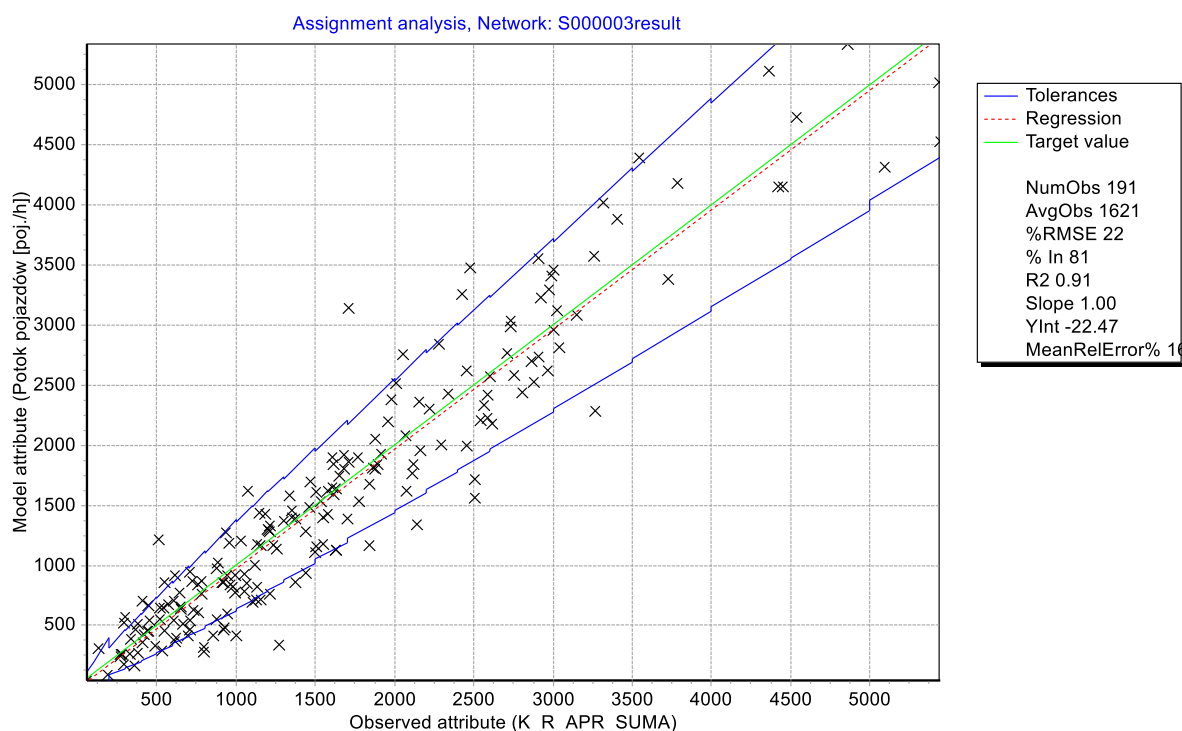
#### 4.1. Punkty kontrolne w transporcie indywidualnym

Z uwagi na zmiany w układzie transportowym Warszawy w trakcie wykonywania zamówienia oraz wątpliwości dotyczące niektórych wyników pomiarów wykonanych w ramach WBR wynikające między innymi z nietypowych warunków, w jakich przeprowadzane było badanie, w porozumieniu z Zamawiającym do weryfikacji modelu wykorzystano wyniki automatycznych pomiarów ruchu (APR) z roku 2016. Łącznie pozyskano 185 punktów pomiarowych dla szczytu porannego i 218 punktów dla szczytu popołudniowego (jeden punkt pomiarowy rozumiany jest jako pomiar w jednym kierunku).

Wyniki kalibracji w formie wykresów zgodności przedstawiono na poniższych rysunkach.

W obu godzinach szczytu uzyskano wysoką zgodność na poszczególnych punktach kontrolnych w transporcie indywidualnym, pomiędzy pomierzonymi a modelowanymi potokami samochodów osobowych. Uzyskane współczynniki determinacji są większe niż 0,90.

**Rysunek IV.8. ocena zgodności potoków pojazdów uzyskanych w modelu z wynikami pomiarów APR. Szczyt poranny**

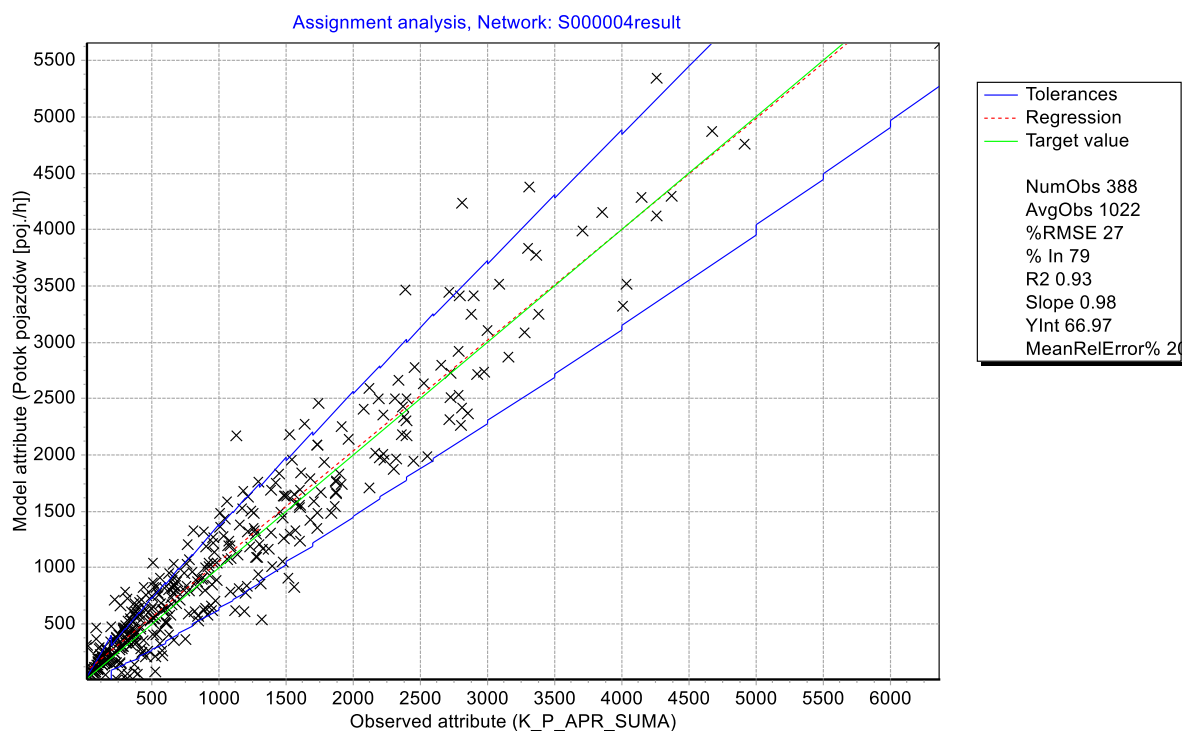


Źródło: opracowanie własne.

[...]

**Rysunek IV.9. ocena zgodności potoków pojazdów uzyskanych w modelu z wynikami pomiarów APR. Szczyt popołudniowy.**





[...]

#### 4.2. Punkty kontrolne w transporcie zbiorowym

Weryfikację zgodności modelu z pomiarem dla sieci transportu zbiorowego wykonano w 80 punktach kontrolnych wskazanych przez ZTM dla szczytu porannego i szczytu popołudniowego. W jej wyniku uzyskano wysoki stopień zgodności pomiędzy pomierzonymi i modelowanymi potokami pasażerskimi wyrażoną współczynnikiem determinacji  $R^2$ , którego wartość w obydwu szczytach jest powyżej 0.85, a sumaryczne wartości potoków modelowych i pomierzonych dla wszystkich punktów pomiarowych nie różnią się więcej niż o odpowiednio 3% (w szczycie porannym) oraz 1% (w szczycie popołudniowym). Niemniej występują punkty, w których rozbieżności pomiędzy modelem i pomiarem wydają się stosunkowo duże, tj. różnica wartości model vs. pomiar przekracza 20%. Należy tu zwrócić uwagę, że pomiary napełnień były wykonywane przez obserwację pojazdów z zewnątrz, a taka metoda pomiaru jest obciążona dużym błędem (zwłaszcza w godzinach szczytu), mogących sięgać powyżej 20% - dotyczy to zarówno niedoszacowania jak i przeszacowania liczby pasażerów w pojeździe.

Wyniki kalibracji są dostępne w modelu poprzez porównanie parametrów K\_R\_KZ i K\_P\_KZ z wynikami rozkładu ruchu. Możliwe jest to zarówno graficznie (wyniki  $r^2$ ), jak i liczbowo. Z powodu wątpliwości jakie budzą pewne wyniki pomiarów w opisie nie zamieszczono tutaj szczegółowych wyników.

## V. Opis procedur w modelu

Model został przekazany wraz z zestawem procedur umożliwiającym ponowne wykonanie obliczeń. W szczególności procedury pozwalają na obliczenie modelu popytu (więźb podróży) oraz wyników ich rozkładu na sieć dla stanu bazowego, oraz dowolnej zmiany w danych wejściowych (zmienne objaśniające). Procedury zakodowano w sposób otwarty, umożliwiając zmianę parametrów wykonywanych procedur.

Ogółem model składa się z 568 procedur, tworzących 23 grupy. Dodatkowo w menadżerze scenariuszy przygotowano 10 zestawów procedur, umożliwiających pracę z modelem.

**Tabela V.1. Grupy procedur w modelu**

numer	model popytu	nazwa	komentarz
1	M04 TOWAROWY	Potencjały ruchotwórcze	Obliczenie potencjałów ruchotwórczych jako funkcji zmiennych objaśniających i przyjętych parametrów modelu generacji
2	M04 TOWAROWY	Rozkład przestrzenny	Obliczenie więźb ruchu na podstawie macierzy kosztów przemieszczeń i parametrów funkcji oporu przestrzeni
3	M04 TOWAROWY	Macierze w szczycie porannym i popołudniowym	Obliczenie macierzy w godzinach szczytowych, na podstawie udziałów godzin szczytu
4	M04 TOWAROWY	Macierze podróży zewnętrznych	Obliczenie generacji i rozkładu przestrzennego w podróżach zewnętrznych
5	M04 TOWAROWY	Sumy macierzy do rozkładu ruchu	Formuły sumujące macierze cząstkowe do więźb ruchu używanych w rozkładach
6	M05 ROWEROWY_PRYWATNY	Potencjały ruchotwórcze	Obliczenie potencjałów ruchotwórczych jako funkcji zmiennych objaśniających i przyjętych parametrów modelu generacji
7	M05 ROWEROWY_PRYWATNY	Rozkład przestrzenny	Obliczenie więźb ruchu na podstawie macierzy kosztów przemieszczeń i parametrów funkcji oporu przestrzeni
8	M05 ROWEROWY_PRYWATNY	Sumy macierzy do rozkładu ruchu	Formuły sumujące macierze cząstkowe do więźb ruchu używanych w rozkładach
9	M06 ROWEROWY_PUBLICZNY	Potencjały ruchotwórcze	Obliczenie potencjałów ruchotwórczych jako funkcji zmiennych objaśniających i przyjętych parametrów modelu generacji
10	M06 ROWEROWY_PUBLICZNY	Rozkład przestrzenny	Obliczenie więźb ruchu na podstawie macierzy kosztów przemieszczeń i parametrów funkcji oporu przestrzeni
11	M01 WARSZAWA	Potencjały ruchotwórcze	Obliczenie potencjałów ruchotwórczych jako funkcji zmiennych objaśniających i przyjętych parametrów modelu generacji
12	M02 AGLOMERACJA	Potencjały ruchotwórcze	Obliczenie potencjałów ruchotwórczych jako funkcji zmiennych objaśniających i przyjętych parametrów modelu generacji
13	M01 WARSZAWA, M02 AGLOMERACJA	Rozkład przestrzenny	Obliczenie więźb ruchu na podstawie macierzy kosztów przemieszczeń i parametrów funkcji oporu przestrzeni
14	M03 ZEWNĘTRZNY	Potencjały ruchotwórcze i rozkład przestrzenny	Obliczenie generacji i rozkładu przestrzennego w podróżach zewnętrznych
15	M01 WARSZAWA, M02 AGLOMERACJA	Macierze w szczycie porannym i popołudniowym	Obliczenie macierzy w godzinach szczytowych, na podstawie udziałów godzin szczytu

numer	model popytu	nazwa	komentarz
16	M01 WARSZAWA, M02 AGLOMERACJA	Podział zadań przewozowych, część 1: Podróże piesze	Wydzielenie podróży pieszych i niepieszych na podstawie oporu przestrzeni zgodnie z przyjętą postacią formuły wydzielania podróży pieszych
17	M01 WARSZAWA, M02 AGLOMERACJA	Poranny podział zadań przewozowych, część 2: Podróże KZ i KI	Logitowy model wyboru środka transportu w szczycie porannym
18	M01 WARSZAWA, M02 AGLOMERACJA	Popołudniowy podział zadań przewozowych, część 2: Podróże KZ i KI	Logitowy model wyboru środka transportu w szczycie popołudniowym
19	M01 WARSZAWA, M02 AGLOMERACJA, M03 ZEWNĘTRZNY	Sumy macierzy do rozkładu ruchu	Formuły sumujące macierze cząstkowe do więźb ruchu używanych w rozkładach
20	Model oporu w sieci drogowej		Procedury parametryzujące skrzyżowania sieci drogowej: przepustowości, liczby pasów, czasy przejazdu
21	Rozkład ruchu na sieć w szczycie porannym		Procedury rozkładu pojazdów i pasażerów na sieć w szczycie porannym
22	Rozkład ruchu na sieć w szczycie popołudniowym		Procedury rozkładu pojazdów i pasażerów na sieć w szczycie popołudniowym
23	Sprawdzenie zgodności		Procedury statystycznego sprawdzenia zgodności wyników rozkładów z danymi pomiarowymi

**Tabela V.2. Zestawy procedur przygotowane w menadżerze scenariuszy**

numer	nazwa	komentarz	zastosowanie	czas (orientacyjny)
1	01_rozkład_rano_SO	parametryzacja modelu oporu sieci drogowej, oraz obliczenie rozkładu ruchu samochodów osobowych (pozostałe pojazdy pozostają bez zmian, lub nierozłożone)	praca bieżąca z siecią drogową, szybkie sprawdzenia nowej parametryzacji odcinków i relacji skrajnych. Do ostatecznych wyników wymagane jest obliczenie procedur 03, lub 04	~30min <sup>12</sup>
2	02_rozkład_popo_SO			
3	03_rozkład_rano_KI+ROWER	parametryzacja modelu oporu sieci drogowej, oraz obliczenie rozkładu ruchu dla wszystkich typów pojazdów	zmiany w sieci wpływające na rozkład SC, SCp, SD. Uzyskanie ostatecznych wyników dla zmian w sieci drogowej.	~1h 30min
4	04_rozkład_popo_KI+ROWER			
5	05_rozkład_rano_KZ	rozkład pasażerów na sieć komunikacji zbiorowej w szczycie porannym	zmiany w rozkładzie jazdy, w układzie linii, i inne w sieci komunikacji zbiorowej.	~30min <sup>13</sup>
6	06_rozkład_popo_KZ			
7	07_rozkład_rano_KI+KZ	rozkład pojazdów we wszystkich systemach, oraz pasażerów	połączenie grup 03, 04 z 05, 06. Uzyskanie ostatecznych wyników dla zmian w sieci KZ i KI	~2h
8	08_rozkład_popo_KI+KZ			
9	09_model_popytu_i_rozkład_rano	obliczenie pełnego modelu popytu (wraz z iteracjami przy obliczaniu udziału komunikacji zbiorowej opisanymi w rozdziale V.3) a następnie wykonanie pełnych rozkładów popytu na sieć (procedury 07,08)	jakiegokolwiek istotne zmiany w popycie: nowe zmienne objaśniające (miejsca pracy, rozmieszczenie ludności), nowe formuły generacji (większa ruchliwość), inny opór przestrzeni (nowe połączenia), nowy podział zadań przewozowych (nowe odcinki drogowe, lub nowe linie zmieniające wybory podróży)	~3h
10	10_model_popytu_i_rozkład_popo			

<sup>12</sup> przy roboczej pracy możliwość skrócenia czasu do około 5 minut przy zastosowaniu procedury Lohse i wykonania 10 iteracji (wyniki bardzo przybliżone, nadające się jedynie do roboczego wglądu w trendy).

<sup>13</sup> możliwość skrócenia czasu do około 5 minut przy korzystaniu z zapisanych połączeń



Źródło: opracowanie własne.

## VI. Prognozy ruchu

W prognozach ruchu przyjęto 3 horyzonty czasowe:

- rok 2020,
- rok 2030,
- rok 2050.

Dla każdego z nich wykonano prognozę zmiennych objaśniających na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego. Na wlotach zewnętrznych do obszaru przyjęto wskaźniki wzrostu ruchu obliczone na podstawie prognozy wzrostu PKB. Dodatkowo w każdym z wariantów prognostycznych odwzorowano sieć transportową zgodnie z założeniami przekazanymi przez Zamawiającego.

Z uwagi na stabilizację w porównaniu z ostatnimi badaniami ruchu w Warszawie wartości wskaźnika motoryzacji, przyjęto jego niezmiennosc w okresach prognostycznych.

Czas obliczenia pełnego zestawu procedur (poz. 9 lub 10 z tabeli V.2) dla wszystkich analizowanych scenariuszy (rok 2016, 2020, 2030, 2050 w szczycie porannym i popołudniowym) trwa ok. 16 godzin.

### 1. Prognozowane zmienne objaśniające

Na potrzeby opracowania prognoz ruchu wykonano prognozy wszystkich zmiennych objaśniających, które zostały uwzględnione w modelu ruchu osobowego oraz w modelu ruchu towarowego i rowerowego. Zatem konieczne było uzyskanie prognozowanych wartości dla zmiennej:

- Z\_L14S całkowita liczba mieszkańców (dot. Warszawy),
- Z\_AGL\_LMIESZK całkowita liczba mieszkańców (dot. okolic Warszawy),
- Z\_L14S\_6PLUS liczba mieszkańców w wieku 6 i więcej lat (dot. Warszawy), obliczana jako 93 % całkowitej liczby mieszkańców,
- Z\_AGL\_LMIESZK\_6PLUS liczba mieszkańców w wieku 6 i więcej lat, na podstawie zmiennej Z\_AGL\_LMIESZK i danych GUS o strukturze wiekowej w gminach WBR2015 (dot. okolic Warszawy),
- Z\_L14S\_01\_UCZNIOWIE liczba uczniów (dot. Warszawy), określana na podstawie liczby mieszkańców i struktury ludności z badań ankietowych WBR 2015 w podziale na 100 makrorejonów,
- Z\_L14S\_02\_STUDENCI liczba studentów (dot. Warszawy), określana na podstawie liczby mieszkańców i struktury ludności z badań ankietowych WBR 2015 w podziale na 100 makrorejonów,
- Z\_P14S całkowita liczba miejsc pracy (dot. Warszawy),
- Z\_AGL\_LMP\_RAZEM razem zatrudnieni w 2015 roku (dot. okolic Warszawy),
- Z\_P\_MPHU liczba miejsc pracy w handlu, usługach i pozostałych działalnościach (dot. Warszawy), w tym:
  - ✓ Z\_P14S2 liczba miejsc pracy w kategorii działalności handel hurtowy (dot. Warszawy),
  - ✓ Z\_P14S3 liczba miejsc pracy w kategorii działalności handel detaliczny i naprawy (dot. Warszawy),
  - ✓ Z\_P14S4 liczba miejsc pracy w kategorii działalności transport i magazynowanie (dot. Warszawy),
  - ✓ Z\_P14S5 liczba miejsc pracy w kategorii działalności turystyka, kultura, rekreacja, gastronomia (dot. Warszawy),
  - ✓ Z\_P14S6 liczba miejsc pracy w kategorii działalności biura (dot. Warszawy),
  - ✓ Z\_P14S7 liczba miejsc pracy w kategorii działalności administracja publiczna (dot. Warszawy),

- ✓ *Z\_P14S8 liczba miejsc pracy w kategorii działalności nauka i edukacja (dot. Warszawy),*
- ✓ *Z\_P14S9 liczba miejsc pracy w kategorii działalności zdrowie i pomoc społeczna (dot. Warszawy),*
- ✓ *Z\_P14S10 liczba miejsc pracy w kategorii działalności pozostałe (dot. Warszawy),*
- *Z\_AGL\_LMP\_USLUGI zatrudnieni w handlu, usługach i pozostałych dziedzinach w 2015 roku (dot. okolic Warszawy),*
- *Z\_P14S1 liczba miejsc pracy w kategorii działalności rolnictwo, przemysł i budownictwo (dot. Warszawy),*
- *Z\_AGL\_LMP\_PRZEMYSŁ zatrudnieni w przemyśle i budownictwie w 2015 roku (dot. okolic Warszawy),*
- *Z\_AGL\_LMP\_ROLNICTWO zatrudnieni w rolnictwie, leśnictwie, łowiectwie i rybactwie w 2015 roku (dot. okolic Warszawy),*
- *Z\_E14SPS liczba miejsc nauki - przedszkola (dot. Warszawy),*
- *Z\_E14SPO liczba miejsc nauki - szkoły podstawowe (dot. Warszawy),*
- *Z\_AGL\_SPO liczba miejsc w szkołach podstawowych (szacunek PK na podstawie BDL GUS i faktycznego rozmieszczenia szkół) (dot. okolic Warszawy),*
- *Z\_E14SGI liczba miejsc nauki - gimnazja (dot. Warszawy),*
- *Z\_AGL\_SGI liczba miejsc w gimnazjach (szacunek PK na podstawie BDL GUS i faktycznego rozmieszczenia szkół) (dot. okolic Warszawy),*
- *Z\_E14SSR liczba miejsc nauki - szkoły średnie (dot. Warszawy),*
- *Z\_AGL\_SSRS liczba miejsc w szkołach średnich, ze szkołami specjalnymi (szacunek PK na podstawie BDL GUS i faktycznego rozmieszczenia szkół) (dot. okolic Warszawy),*
- *Z\_AGL\_SSR liczba miejsc w szkołach średnich, bez szkół specjalnych (szacunek PK na podstawie BDL GUS i faktycznego rozmieszczenia szkół) (dot. okolic Warszawy),*
- *Z\_AGL\_SPOL liczba miejsc w szkołach policealnych (szacunek PK na podstawie BDL GUS i faktycznego rozmieszczenia szkół) (dot. okolic Warszawy),*
- *Z\_E14SWY liczba miejsc nauki - szkoły wyższe (dot. Warszawy),*
- *Z\_E14SWYS studenci stacjonarni (dot. Warszawy),*
- *Z\_E14SWYNS studenci niestacjonarni (dot. Warszawy),*
- *Z\_WAW\_PHU powierzchnia całkowita budynków handlowych i usługowych (dot. Warszawy),*
- *Z\_AGL\_PHU powierzchnia całkowita budynków handlowych i usługowych (dot. okolic Warszawy),*
- *Z\_9UH\_WOH powierzchnia całkowita wielkoprzestrzennych obiektów handlowych (dot. Warszawy),*
- *Z\_AGL\_WOH powierzchnia całkowita wielkoprzestrzennych obiektów handlowych (dot. okolic Warszawy),*
- *Z\_WAW\_PPM powierzchnia budynków produkcyjnych, magazynowych itp. (dot. Warszawy),*
- *Z\_AGL\_PPM powierzchnia budynków produkcyjnych, magazynowych itp. (dot. okolic Warszawy),*
- *Z\_WAW\_PMT ważona powierzchnia budynków mieszkaniowych, obsługi transportu oraz obsługi technicznej (dot. Warszawy),*
- *Z\_AGL\_PMT ważona powierzchnia budynków mieszkaniowych, obsługi transportu oraz obsługi technicznej (dot. okolic Warszawy),*



Prognozy dla wszystkich zmiennych dotyczących stanu ludności, zatrudnienia oraz miejsc nauki i wielko-przestrzennych obiektów handlowych uzyskano od Zamawiającego, zaś prognozy powierzchni całkowitych uwzględnionych w modelu ruchu towarowego opracowano we własnym zakresie. Przyjęto tu, że zmiany powierzchni danego typu będą w pewnym stopniu powiązane ze zmianami zatrudnienia w poszczególnych grupach działalności.

Uwzględnione w modelu prognozowane wartości zmiennych objaśniających dla całego obszaru objętego analizą zestawiono w tabeli V.1 (w modelu zmienne te zostały zidentyfikowane na poziomie rejonów komunikacyjnych).

**Tabela VI.1. Zmienne objaśniające i ich wartości w modelu prognostycznym w poszczególnych latach (horyzoncie do 2050 r.)**

Zmienna	Interpretacja	2015	2016	2020	2030	2050	
Z_L14S	Liczba mieszkańców Warszawy	1 805 767	1 805 767	1 916 745	2 100 379	2 470 142	
Z_AGL_LMIESZK	Liczba mieszkańców poza Warszawą	709 488	714 643	761 063	812 641	890 000	
Z_L14S_6PLUS	Liczba mieszk. Warszawy w wieku pow. 5 lat	1 681 721	1 681 721	1 782 584	1 953 344	2 297 241	
Z_AGL_LMIESZK_6PLUS	Liczba mieszk. poza Warszawą pow. 5 lat	650 600	655 320	697 896	745 185	816 134	
Z_L14S_01_UCZNIOWIE	Liczba uczniów mieszkających w Warszawie	183 592	183 592	197 744	218 147	256 912	
Z_L14S_02_STUDENCI	Liczba studentów mieszk. w Warszawie	92 848	92 848	97 550	106 758	125 331	
Z_P14S	Liczba pracujących w Warszawie	1 358 970	1 358 970	1 418 773	1 538 393	1 897 278	
Z_AGL_LMP_RAZEM	Liczba pracujących poza Warszawą	224 489	226 304	252 600	276 830	320 861	
Z_P_MPHU	Liczba pra- cujących w Warszawie	w handlu i usługach	1 132 155	1 132 155	1 222 443	1 334 281	1 669 800
Z_P14S2		w handlu hurtowym	115 071	115 071	117 685	122 501	136 992
Z_P14S3		w handlu det. i naprawach	118 469	118 469	124 147	133 408	161 254
Z_P14S4		w transporcie i magazynach	69 154	69 154	71 388	75 623	88 261
Z_P14S5		w usł. turystycznych i kulturze	70 927	70 927	75 659	84 256	110 088
Z_P14S6		w biurach	510 545	510 545	573 358	636 615	826 401
Z_P14S7		w administracji publicznej	58 239	58 239	61 420	65 919	79 356
Z_P14S8		w nauce i edukacji	100 072	100 072	104 241	111 943	135 046
Z_P14S9		w opiece zdrowotnej i społ.	57 480	57 480	60 975	67 947	88 834
Z_P14S10		w pozostałych działalnoścach	32 198	32 198	33 570	36 069	43 557
Z_AGL_LMP_USLUGI	Pracujący poza W-wą w handlu i usługach	146 059	147 138	179 590	209 986	256 559	
Z_P14S1	Pracujący w W-wie w roln., przemyśle i bud.	192 276	192 276	196 334	204 118	227 462	
Z_AGL_LMP_PRZEMYSL	Pracujący poza W-wą w przemyśle i bud.	61 268	61 837	63 602	61 739	60 866	
Z_AGL_LMP_ROLNICTWO	Pracujący poza W-wą w roln., leśn. i ryb.	17 162	17 328	9 413	5 115	3 440	
Z_E14SPS	Miejsca nauki w przedszkolach w W-wie	60 934	60 934	62 236	64 915	72 836	
Z_E14SPO	Miejsca nauki w szkołach podst. w W-wie	108 346	108 346	114 849	127 892	166 976	
Z_AGL_SPO	Miejsca nauki w szkołach podst. poza W-wą	46 402	51 363	74 012	83 648	62 351	
Z_E14SGI	Miejsca nauki w gimnazjach w Warszawie	41 978	41 978	45 779	53 378	76 183	
Z_AGL_SGI	Miejsca nauki w gimnazjach poza Warszawą	19 613	21 694	31 049	34 853	25 755	
Z_E14SSR	Miejsca nauki w szkołach średnich w W-wie	79 950	79 950	85 435	96 419	129 364	
Z_AGL_SSRS	Miejsca nauki w szkołach średn. poza W-wą	14 988	16 580	20 583	25 016	23 326	
Z_AGL_SSR	Miejsca nauki w szkołach średnich innych niż specjalne poza Warszawą	10 667	11 795	14 567	17 614	16 315	
Z_AGL_SPOL	Miejsca nauki w szkołach polic. poza W-wą	3 742	4 145	5 191	6 369	6 012	
Z_E14SWY	Miejsca nauki w szkołach wyższych w W-wie	270 396	270 396	261 454	243 559	189 892	
Z_E14SWYS	Studenci st. w szkołach wyższych w W-wie	141 157	141 157	136 234	126 391	96 867	
Z_E14SWYNS	Studenci niest. w szk. wyższych w W-wie	129 239	129 239	125 220	117 168	93 025	



Zmienna	Interpretacja	2015	2016	2020	2030	2050
Z_WAW_PHU	Powierzchnia budynków handlowych i usługowych w Warszawie	15 713 708	15 713 708	17 095 009	18 488 520	21 916 301
Z_AGL_PHU	Powierzchnia budynków handlowych i usługowych poza Warszawą	1 156 465	1 166 068	1 429 138	1 673 032	2 026 268
Z_9UH_WOH	Powierzchnia wielkoprzestrzennych obiektów handlowych w Warszawie	2 908 071	2 908 071	3 430 127	4 313 531	4 643 531
Z_AGL_WOH	Powierzchnia wielkoprzestrzennych obiektów handlowych poza Warszawą	1 041 688	1 041 688	1 546 798	1 866 798	1 926 798
Z_WAW_PPM	Powierzchnia budynków produkcyjnych i magazynowych w Warszawie	8 782 695	8 782 695	9 301 449	9 619 659	10 322 590
Z_AGL_PPM	Powierzchnia budynków produkcyjnych i magazynowych poza Warszawą	5 955 833	5 866 645	6 071 708	5 916 742	5 860 115
Z_WAW_PMT	Ważona pow. budynków mieszkalnych, obsługi transportu i technicznej w Warszawie	8 247 849	8 247 849	8 639 436	9 594 560	11 390 682
Z_AGL_PMT	Ważona pow. budynków mieszkalnych, obsługi transportu i technicznej poza Warszawą	7 569 553	7 887 652	8 461 675	8 954 021	9 795 833

Źródło: opracowanie własne.

## 2. Uwzględnione inwestycje i ich kombinacje

W oparciu o studia uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego aglomeracji oraz innych dokumentów planistycznych dla poszczególnych stanów progностycznych przyjęto założenia odnośnie rozwoju sieci transportowej Aglomeracji Warszawskiej, które przedstawiono w tab. V.2. Kolorem czerwonym zaznaczono przewidywany rok zakończenia budowy i rozpoczęcia eksploatacji natomiast zielonym eksploatację inwestycji.

**Tabela VI.2. Inwestycje uwzględnione w modelu progностycznym w poszczególnych latach (horyzoncie do 2050 r.)**

L.p.	INW_NAZWA	Przekrój drogi	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2050
<b>AUTOSTRADA (A) <sup>1)</sup></b>																
1	A2, odcinek węzeł "Lubelska" (S17) - Mińsk Mazowiecki, budowa	2/2														
<b>DROGI EKSPRESOWE (S) <sup>1)</sup></b>																
1	S2 (Południowa Obwodnica Warszawy), odcinek węzeł "Puławska" - węzeł "Lubelska" (A2, S17), budowa	2/3														
2	S7 (Trasa N-S), odcinek węzeł "N-S" (S8) - Czosnów, budowa	2/3														
3	S7 (Trasa N-S), odcinek węzeł "Lotnisko" (S2, S79) - węzeł "Lesznówola" (proj. DW 721/obwodnica Lesznówoli), budowa	2/3														
4	S7, odcinek węzeł "Lesznówola" (proj. DW 721/obwodnica Lesznówoli) - węzeł "Tarczyn II", budowa	2/2														
5	S7, odcinek węzeł "Salomea" - węzeł "Wolica" / węzeł "Sekocin", budowa	2/3														
6	S8, odcinek węzeł "Pasków" - węzeł "Radziejowice", rozbudowa do drogi klasy "S"	2/2														
7	S8, odcinek węzeł "Piłsudskiego" - węzeł "Radzymiń Północny" (obwodnica Marek), budowa	2/3														
8	S17 (Wschodnia Obwodnica Warszawy), odcinek węzeł "Drewnica" (S8) - węzeł "Lubelska" (A2, S2), budowa	2/3														
9	S17, odcinek węzeł "Lubelska" (A2, S2) - węzeł "Wiązowna II / Południe/" (DW 721), budowa	2/3														
10	S17, odcinek węzeł "Wiązowna II / Południe/" (DW 721) - węzeł Garwolin, budowa	2/2														
<b>DROGI I ULICE KLASY GŁÓWNEJ RUCHU PRZYSPIESZONEGO (GP)</b>																
1	DK 61 (Legionowo, ul. Zegrzyńska), odcinek wiadukt nad stacją kolejową - DW 631 (ul. Wieliszew), rozbudowa do 2 x 2 <sup>1)</sup>	2/2														
2	DK 79 (m. Piaseczno, ul. Puławska, ul. Armii Krajowej), odcinek ul. Energetyczna - ul. 17 Stycznia/ul. Mostowa, rozbudowa	2/3														
3	DK 79 (gm. Piaseczno, Góra Kalwaria), odcinek ul. Armii Krajowej/17 Stycznia (m. Piaseczno) - węzeł "Kąty" (Góra Kalwaria) na początku obwodnicy Góry Kalwarii, rozbudowa <sup>15)</sup>	2/2														
4	DW 631 (Warszawa, ul. Marsa), odcinek węzeł "Marsa" - ul. Żołnierska, rozbudowa <sup>2)</sup>	4/2														
5	DW 631 (Warszawa, ul. Żołnierska), odcinek ul. Marsa - gr. miasta, rozbudowa <sup>2)</sup>	2/2														
6	DW 631 (Zielonka), odcinek DW 634 (S. Wyszyńskiego) - węzeł "Ząbki" (S17), budowa <sup>3)</sup>	2/2														
7	DW 631 (Zielonka, Marki), odcinek węzeł "Ząbki" (S17) - DK 8 (Piłsudskiego, Marki), rozbudowa	2/2														

L.p.	INW_NAZWA	Przekrój drogi	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2050
8	DW 631 (Marki, Nieporęt), stanowiąca na tym odcinku północną część Małej Obwodnicy Warszawy, odcinek DK 8 (Al. Piłsudskiego) - DW 633 (ul. Jana Kazimierza), rozbudowa	2/2														
9	DW 637 (Halinów), odcinek Mała Obwodnica Warszawy (planowana DW 635) w Okuniewie - DK 50 (Stanisławów), modernizacja <sup>3)</sup>	1/2														
10	DW 719 (Pruszków, Al. Jerozolimskie), odcinek ul. Partyzantów - ul. Bohaterów Warszawy, rozbudowa <sup>3)</sup>	2/2														
11	DW 801 (Warszawa, Wał Miedzeszyński), odcinek Trakt Lubelski - węzeł z S2, rozbudowa <sup>3)</sup>	2/2														
12	DW 801 (Warszawa, Wał Miedzeszyński, Józefów, ul. Nadwiślańska), węzeł z S2 - ul. S. Wyszyńskiego w Józefowie, budowa nowego przebiegu drogi <sup>4) 5)</sup>	2/2														
13	Legionowska Trasa Mostowa, jako północna część Małej Obwodnicy Warszawy (Łomianki, Jabłonna, Legionowo, Wieliszew), odcinek S7 (Łomianki) - Trasa Olszynki Grochowskiej/DW 632 w Wieliszewie, budowa	2/2														
14	Trasa Olszynki Grochowskiej, odcinek Trasa Mostu na Zaporze - Trasa Toruńska (S8)	2/2														
15	Trasa Olszynki Grochowskiej, odcinek Trasa Toruńska (S8) - Trasa Mostu Północnego <sup>5)</sup>	2/2														
16	Trasa Olszynki Grochowskiej, w części przebiegu w Wieliszewie i Nieporęcie, stanowiąca północną część Małej Obwodnicy Warszawy (Warszawa, Nieporęt, Wieliszew), odcinek Trasa Mostu Północnego - DW 632/Legionowska Trasa Mostowa w Wieliszewie, budowa	2/2														
17	Trasa Mostu Północnego, odcinek ul. Modlińska - ul. Płochocińska <sup>5)</sup>	2/2														
18	Trasa Mostu Północnego, odcinek ul. Płochocińska - Trasa Olszynki Grochowskiej <sup>5)</sup>	2/2														
19	Trasa Mostu Północnego, odcinek ul. Kasprzowicza (węzeł "Młociny") - węzeł z S7(Trasą N-S) <sup>5) 6)</sup>	2/3 (4/2)														
20	Trasa N-S, odcinek węzeł "Marynarska" (S79) - węzeł "N-S" (S7, S8)	2/3														
21	Marynarska, odcinek ul. Taśmowa (węzeł "Marynarska") - ul. Rzymowskiego, rozbudowa <sup>2)</sup>	2/3														
22	Al. Tysiąclecia, odcinek Wał Miedzeszyński - Al. Stanów Zjednoczonych	2/3														
23	Marywilska, odcinek Trasa Toruńska (S8) - Trasa Mostu Północnego, rozbudowa	2/3														
24	Obwodnica Śródmiejska, cz. zachodnia, odcinek Most Gdański - ul. Wawelska, rozbudowa i modernizacja	2/3														
<b>DROGI I ULICE KLASY GŁÓWNEJ (G)</b>																
1	DW 634 (Warszawa, ul. Łodygowa), odcinek ul. Radzywińska - ul. Klamrowa, rozbudowa <sup>2)</sup>	2/2														
2	DW 634 (Warszawa, ul. Łodygowa), odc. ul. Klamrowa - ul. Warszawska (Ząbki), budowa wiaduktu	1/2														
3	DW 634 (Ząbki, Zielonka, Kobyłka, Wołomin), odc. ul. Nowo - Ziemowita/ul. Ks. Skorupki (Ząbki) - DW 635 (Al. Niepodległości, Wołomin), rozbudowa	2/2														
4	DW 634, wschodnie obejście Wołomina i Duczek (Wołomin), odcinek Al. Niepodległości (DW 635) - Szosa Jadowska w Duczkach, budowa	2/2														
5	Nowo - Ziemowita, odcinek ul. Zabraniecka - ul. Rieczna, budowa	2/2														
6	Ziemowita - Swojska, ul. Rieczna - ul. Bardowskiego, rozbudowa	2/2														
7	Nowo - Ziemowita (Warszawa, Ząbki), odcinek ul. Bardowskiego - ul. Ks. Skorupki (DW 634), budowa	2/2														
8	DW 635 (Wołomin, Radzymin), odcinek ul. Witosa w Czarnej - węzeł "Wołomin" (S8), budowa połączenia DW 635 z S8 w ciągu planowanej Małej Obwodnicy Warszawy <sup>3)</sup>	2/2														
9	DW 635 (Marki, Radzymin, Wołomin), odcinek węzeł dróg DK 8 i DW 631 w Strudze - S8 (węzeł "Wołomin"), budowa wschodniej części Małej Obwodnicy Warszawy	2/2														
10	DW 635 (Wołomin), odcinek S8 (węzeł "Wołomin") - DW 634 (planowane wschodnie obejście Wołomina), budowa wschodniej części Małej Obwodnicy Warszawy	2/2														
11	DW 635 (Wołomin, Zielonka, Halinów, Wiązowna), odcinek DW 634 (planowane wschodnie obejście Wołomina) - S 17 (węzeł "Wiązowna Północ/Wiązowna II"), budowa wschodniej części Małej Obwodnicy Warszawy <sup>19)</sup>	1/2														
12	DW 718 (Pruszków), odcinek Al. Jerozolimskie (DW 719) - Rondo Solidarności, rozbudowa <sup>3)</sup>	2/2														
13	DW 718 (Pruszków), odcinek Rondo Solidarności - węzeł "Puszków" (A2), rozbudowa	2/2														
14	"Paskowianka" stanowiąca na tym odcinku południową część Małej Obwodnicy Warszawy (Brwinów, Pruszków), odcinek DW 719 - węzeł "Pruszków" (A2), budowa	2/2														
15	"Paskowianka", stanowiąca na tym odcinku południową część Małej Obwodnicy Warszawy (Nadarzyn, Brwinów), odcinek węzeł "Puszków" (S8) - DW 719, budowa	2/2														
16	DW 721 (obwodnica Lesznawoli), stanowiąca na tym odcinku południową część Małej Obwodnicy Warszawy, odcinek węzeł "Sękocin" (DK 7) - ul. Okulickiego, budowa	2/2														
17	DW 721 (Piaseczno, ul. Okulickiego), stanowiąca na tym odcinku południową część Małej Obwodnicy Warszawy, odcinek ul. Mieczarska - ul. Julianowska, rozbudowa	2/2														
18	DW 721, stanowiąca na tym odcinku południową część Małej Obwodnicy Warszawy, (Piaseczno, Konstancin - Jeziorna, Karczew, Józefów), odcinek ul. Okulickiego (Piaseczno) - ul. Jarosławska (Józefów), budowa nowego przebiegu drogi z mostem przez Wisłę	2/2														
19	DW 721, stanowiąca na tym odcinku południową część Małej Obwodnicy Warszawy, (Józefów, Wiązowna), odcinek Józefów (ul. Jarosławska) - węzeł "Wiązowna II/Południe" (S17), rozbudowa, z korektami przebiegu w Józefowie, Emowie i Wiązownej	2/2														
20	DW 724 (obwodnica Góry Kalwarii i Konstancina-Jeziornej), odcinek DK 79 Góra Kalwaria - ul. Łukasza Drewny (Warszawa), budowa	2/2														
21	Trasa Olszynki Grochowskiej i ul. Nowo-Przewodowa, odcinek Trasa Mostu na Zaporze - Wał Miedzeszyński, budowa	2/2														
22	Trasa Mostu Krasińskiego odcinek Pl. Wilsona - ul. Jagiellońska, budowa <sup>2) 5)</sup>	2/2 (2/1) <sup>7)</sup>														
23	Trasa Mostu Krasińskiego, odcinek ul. Jagiellońska - ul. Odrowąża, budowa <sup>2) 5)</sup>	2/2														
24	Ul. Świętego Wincentego, odcinek ul. Odrowąża - ul. Kondratowicza, rozbudowa <sup>5)</sup>	2/2														
25	Obwodnica Śródmiejska, odcinek Rondo Wiatraczna - ul. Radzywińska, budowa <sup>2) 5) 8)</sup>	2/3 (2/2) <sup>7)</sup>														
26	Obwodnica Śródmiejska, odcinek ul. Radzywińska - węzeł "Żaba", budowa <sup>5) 8)</sup>	2/3														
27	Ul. Łazurowa, odcinek ul. Sternicza - ul. Górczewska, rozbudowa <sup>2)</sup>	2/2														
28	Ul. Łazurowa, odcinek ul. Górczewska - S8 (Obrońców Grodna), rozbudowa	2/2														
29	Trasa Mostu na Zaporze (ulice Zwolerska, Nowo-Zwolerska, Zawodzie, Augustówka), odcinek ul. Patriotów - ul. Powsińska, budowa i rozbudowa	2/2														

Lp.	INW_NAZWA	Przekrój drogi	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2050
30	Zwoleńska (tunel pod linią kolejową), odcinek ul. Mrówcza - Żegańska, budowa <sup>2)</sup>	2/2														
31	Al. Polski Walczący (Czerniakowska-Bis), odcinek ul. Czerniakowska - Trasa Siekierkowska, budowa <sup>2)</sup>	2/2														
32	Ul. Czerniakowska - Bis, odcinek Trasa Siekierkowska - Nowo - Bartycka, budowa	2/2														
33	Ul. Czerniakowska - Bis, odcinek ul. Nowo-Bartycka - Trasa Mostu na Zaporze, budowa	2/2														
34	Wybrzeże Helskie, odcinek ul. Okrzei - Most Gdański, rozbudowa <sup>2)</sup>	1/3(2+1) <sup>10)</sup>														
35	Ul. Płaskowickiej, odcinek ul. Dereniowa - ul. Rosoła <sup>2)</sup>	2/2														
36	Ul. Płaskowickiej, odcinek ul. Rosoła - ul. Zdrowa (Św. Urszuli Ledóchowskiej), budowa <sup>9)</sup>	2/2														
37	Ul. Branickiego, odcinek ul. Zdrowa (Św. Urszuli Ledóchowskiej) - ul. Przyczółkowa, budowa <sup>2)</sup>	2/2														
38	Ul. Rosoła, odcinek ul. Ciszewskiego - ul. Rosnowskiego (N-Kabacka), rozbudowa <sup>2)</sup>	2/2														
39	Ul. Rosnowskiego (N-Kabacka), odcinek ul. Przyczółkowa - ul. Rosoła, budowa <sup>2)</sup>	2/2														
40	Ul. Marywińska, odcinek ul. Bohaterów - ul. Mehoffera, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
41	Ul. Broniewskiego, odcinek ul. Wólczyńska - ul. Reymonta, budowa	1/2 lub 2/2														
42	Ul. Płochocińska (Warszawa, Nieporęt), odcinek ul. Modlińska - DW 632 (ul. Strużańska, Nieporęt), rozbudowa	2/2														
43	Ul. Nowo-Trocka, odcinek ul. Radzywińska - ul. Św. Wincentego, budowa	2/2														
44	Ul. Ręczna, odcinek ul. Radzywińska - ul. Zabraniecka, rozbudowa	2/2														
45	Ul. Zabraniecka, odcinek ul. Ręczna - ul. Chełmżyńska, rozbudowa	2/2														
46	Ul. Nowo - Zabraniecka, odcinek ul. Chełmżyńska - ul. Zesłańców Polskich, budowa	2/2														
47	Ul. Nowolazurowa, odcinek ul. Chrościckiego - ul. Połczyńska (otwarty w 2015 r.) oraz odcinek ul. Połczyńska - ul. Łazurowa, budowa	2/2														
48	Ul. Cyrulików, odcinek ul. Zesłańców Polskich - ul. Marsa, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
49	Ulice Cyrulików i Okuniewska, odcinek ul. Zesłańców Polskich - DW 638 (ul. Piłsudskiego, Sulejówek), rozbudowa	2/2														
50	Ulice Gospodarcza i Szkolna (Kobyłka, Radzymin), ul. Przyjacielska (Kobyłka) - węzeł "Kobyłka" (droga S8, gm. Radzymin), budowa	1/2														
51	Ul. Projektowana (Kobyłka), ul. Poniatowskiego - ul. Przyjacielska, wraz z bezkolizyjnym przejazdem przez linię kolejową, budowa <sup>11)</sup>	1/2														
52	Ulice Dworkowa (Kobyłka) i Główna (Marki), ul. Szeroka (Kobyłka) - DW 631 (Marki), budowa, rozbudowa <sup>14)</sup>	1/2														
53	"Paszkwianka", stanowiąca na tym odcinku zachodnią część Małej Obwodnicy Warszawy, (Pruszków, Ożarów Mazowiecki), węzeł "Pruszków (A- 2/DW 718) - DW 580-bis, budowa	2/2														
54	"Paszkwianka", stanowiąca na tym odcinku zachodnią część Małej Obwodnicy Warszawy, (Stare Babice), DW 580-bis - DW 891 (ul. Sikorskiego)	1/2														
<b>DROGI I ULICE KLASY ZBIORCZEJ (Z)</b>																
1	Trasa Świętokrzyska, odcinek ul. Zamoyskiego - ul. Tysiąclecia, budowa <sup>2)</sup>	2/2														
2	Trasa Świętokrzyska, odcinek ul. Tysiąclecia - ul. Zabraniecka, budowa <sup>2)</sup>	2/2														
3	Al. Dzieci Polskich, odcinek ul. Mchów - ul. Borkowska, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
4	Ul. Żegańska, odcinek tunel - ul. Pożaryskiego, rozbudowa <sup>2)</sup>	2/2														
5	Ul. Światowida, odcinek ul. Dzierżońska - ul. Modlińska, budowa <sup>2)</sup>	2/2														
6	Ul. Tysiąclecia, odcinek ul. Grochowska - ul. Kijowska, budowa	2/2														
7	Ul. Bora - Komorowskiego, odcinek Trasa Siekierkowska - ul. Kadetów, budowa	2/2														
8	Ul. Bora - Komorowskiego, odcinek ul. Kadetów - Trakt Lubelski, budowa	2/2														
9	Ul. Bora - Komorowskiego, odcinek Trakt Lubelski - Trasa Mostu na Zaporze, budowa	2/2														
10	Ul. Piastów Śląskich, odcinek ul. Osmańczyka - ul. Obrońców Tobruku, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
11	Ul. Człuchowska, odcinek ul. Łazurowa - ul. Szeligowska	1/2														
12	Ul. Familijna, odcinek ul. Myśliwska - ul. Modlińska <sup>16)</sup>	2/2														
13	Ul. Orląt Lwowskich, odcinek ul. Warszawska - ul. Piastowska, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
14	Ul. Orląt Lwowskich, odcinek ul. Piastowska - ul. Reguła, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
15	Ul. Tynkarska, odcinek ul. Solipska - ul. Chrobrego, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
16	Ul. Tynkarska, odcinek ul. Solipska - Al. 4 Czerwca 1989 r., budowa	1/2														
17	Ul. Popularna, przedłużenie do ul. Szybkiej, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
18	Ul. Krzyżanowskiego, odcinek Al. Jerozolimskie - ul. Prądzyńskiego, budowa	2/2														
19	Ul. Krzyżanowskiego, odcinek ul. Prądzyńskiego - ul. Kasprzaka, budowa	2/2														
20	Ul. Prądzyńskiego, odcinek ul. Bema - ul. Ordona, budowa	2/2														
21	Al. Jerozolimskie, odcinek ul. Białobrzaska - Pl. Zawiszy, rozbudowa	2/2														
22	Ul. Woronicza, odcinek ul. Etiudy Rewolucyjnej - ul. Żwirki i Wigury, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
23	Ul. Nowo-Bartycka, odcinek ul. Gościńiec - ul. Czerniakowska-Bis, budowa	2/2														
24	Al. Rzeczpospolitej, odcinek ul. Branickiego - ul. Rosnowskiego, budowa	2/2														
25	Ul. Karczunkowska, wiadukt nad linią kolejową, budowa <sup>18)</sup>	1/2														
26	Ul. Chełmżyńska, wiadukt nad linią kolejową, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
27	Ulice Marsa i Chruściela, tunel pod stacją kolejową, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
28	Ulica 1 Praskiego Pułku (Wesoła), tunel pod linią kolejową, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
29	Ulica Wirażowa, Cybernetyki - rejon przejazdu przez bocznicę, rozbudowa	2/2														
<b>DROGI ZBIORCZE W CAŁOŚCI POŁOŻONE POZA WARSZAWĄ</b>																
101	Ul. Sikorskiego (Józefów) - ul. Jana Pawła II (Otwock), ul. Wiązowska (Józefów) - ul. Poetycka (Otwock), budowa mostu na Świdrze z dojazdami <sup>12)</sup>	1/2														
102	Ul. Orszagha (Kobyłka), DW 634 - ul. Kraszewskiego, wraz z bezkolizyjnym przejazdem przez linię kolejową, budowa, rozbudowa <sup>11)</sup>	1/2														
103	Drogi w Antoninowie (Piaseczno), łączące węzeł "Antoninów" (S-7) z ulicami Złotych Piasków i Masztową w rej. Komunalnego Cmentarza Południowego, budowa <sup>17)</sup>	1/2														
104	Ul. Karolińska w Woli Gołkowskiej i Baszkówce (Piaseczno), węzeł "Antoninów" (S-7) - ul. Sadowa, budowa <sup>17)</sup>	1/2														
105	Ul. Nowo-Bobrowiecka w Woli Gołkowskiej i Gołkowie (Piaseczno), ul. Karolińska - ul. Mazurska, budowa <sup>17)</sup>	1/2														
106	Ulice Działkowa i Błońska, tunel pod linią kolejową, budowa <sup>18)</sup>	1/2														
107	Ulice Sasina i Przejazd (Wotomin), bezkolizyjny przejazd przez linię kolejową, budowa <sup>11)</sup>	1/2														
108	DW 635, ulice Niepodległości i Geodetów (Wotomin), bezkolizyjny przejazd przez linię kolejową, budowa <sup>11)</sup>	1/2														
109	Ul. Kolejowa (Zielonka), bezkolizyjny przejazd przez linię kolejową, budowa <sup>11)</sup>	1/2														

L.p.	INW_NAZWA	Przekrój drogi	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2050
<b>WYBRANE ULICE KLASY LOKALNEJ (L)</b>																
1	Ul. Równoległa, ul. Łopuszańska - ul. Szybka, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
2	Ul. Rydygiera, Ul. Prasnyska - ul. Powązkowska, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
3	Ul. Elbląska, ul. Szamocka do proj. skrzyżowania na granicy istn. osiedla, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
4	Ul. I. Gandhi, ul. Pileckiego - ul. Plaskowickiej, budowa <sup>2)</sup>	2/2														
5	Ul. Ciszewskiego, Ul. Kiedacza - Al. Rzeczpospolitej, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
6	Ul. Sieczna, ul. Głębocka - ul. Konik Polny, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
7	Ul. Daniszewska, ul. Szlachecka - ul. Białolecka, budowa <sup>2)</sup>	1/2														
<b>TRANSPORT ZBIOROWY SZYNOWY W WARSZAWIE</b>																
1	Obsługa osiedla Tarchomin komunikacją tramwajową, odcinek ul. Mehoffera – ul. Leśnej Polanki <sup>2)</sup>	n.d.														
2	Budowa trasy tramwajowej w ul. Kasprzaka – ul. Wolska <sup>20)</sup>	n.d.														
3	Obsługa osiedla Tarchomin komunikacją tramwajową, odcinek ul. Leśnej Polanki – Winnica	n.d.														
4	Budowa trasy tramwajowej Dw. Zachodni – Wilanów (ul. Braniczkiego)	n.d.														
5	Budowa trasy tramwajowej na Gocław (Al. Waszyngtona, wzdłuż Kanału Wystawowego, ul. Bora-Komorowskiego - istniejąca pętla autobusowa)	n.d.														
6	Trasa tramwajowa w ciągu ulic Krasińskiego – Budowlana od Placu Wilsona do skrzyżowania z ul. Jagiellońską <sup>5)</sup>	n.d.														
7	Trasa tramwajowa w ciągu ulic Krasińskiego – Budowlana od ul. Jagiellońskiej do skrzyżowania ul. Budowlana/Odrowąża <sup>5)</sup>	n.d.														
8	Budowa trasy tramwajowej ul. Kasprzaka – Dw. Zachodni <sup>23)</sup>	n.d.														
9	Budowa trasy tramwajowej w ulicach Budowlanej, Św. Wincentego od ul. Rembielińskiej do Trasy Armii Krajowej (S8) <sup>5)</sup>	n.d.														
10	Budowa trasy tramwajowej w Trasie Olszyny Grochowskiej od Trasy Armii Krajowej (S8) do Trasy Mostu Północnego <sup>5)</sup>	n.d.														
11	Budowa trasy tramwajowej w ul. Czerniakowskiej – Bis (Al. Polski Walczącej) i ul. Nowo-Bartyckiej, od ul. Belwederskiej do EC Siekierki <sup>5)</sup>	n.d.														
12	Trasa tramwajowa w Trasie Mostu Północnego odc. Trakt Nadwiślański – Trasa Olszyny Grochowskiej <sup>5)</sup>	n.d.														
13	Obsługa osiedla Tarchomin komunikacją tramwajową, odcinek Żerań – ul. Płochocińska – Trasa Mostu Północnego <sup>5)</sup>	n.d.														
14	Trasa tramwajowa w ulicy Radiowej na odcinku ul. Powstańców Śląskich – ul. Sylwestra Kaliskiego	n.d.														
15	Linia tramwajowa do Żabek w Trasie Świętokrzyskiej i ul. Nowo-Ziemowita, ul. Tysiąclecia - rejon ul. Szwoleżerów w Żabkach	n.d.														
16	Budowa II linii metra odcinek stacja "Rondo Daszyńskiego" stacja "Księcia Janusza" <sup>2)</sup>	n.d.														
17	Budowa II linii metra odcinek stacja "Dw. Wileński" i "Trocka/Targówek 2" <sup>22)</sup>	n.d.														
18	Budowa II linii metra odcinek stacja "Księcia Janusza" - „Powstańców Śląskich" <sup>2)</sup>	n.d.														
19	Budowa II linii metra odcinek stacja „Trocka” – stacja „Bródno” <sup>3)</sup>	n.d.														
20	Budowa II linii metra odcinek pomiędzy stacją "Powstańców Śląskich" i Stacją Techniczno-Postojową "Mory" <sup>5)</sup>	n.d.														
21	Budowa II linii metra odc. Stadion Narodowy - Rondo Wiatraczna <sup>5)</sup>	n.d.														
22	Budowa II linii metra odc. Rondo Wiatraczna - Gocław <sup>5)</sup>	n.d.														
23	Budowa III linii metra odc. Stadion Narodowy – Dworzec Zachodni	n.d.														
24	Budowa stacji metra A16 "Muranów" na eksploatowanej I linii metra	n.d.														
25	Budowa stacji metra A12 „Plac Konstytucji” na eksploatowanej I linii metra	n.d.														

- 1) Na podstawie Programu budowy dróg krajowych na lata 2014 - 2013 (z perspektywą do 2025 r.), załącznik do uchwały Rady Ministrów nr 156/2015 z dn. 8.09.2015 r.
- 2) Na podstawie Uchwały Nr XXV/625/2016 Rady m.st. Warszawy z dnia 17.03.2016 r. w.s. Wieloletniej Prognozy Finansowej m.st. Warszawy na lata 2016 - 2042
- 3) Na podstawie Wykazu przedsięwzięć do Wieloletniej Prognozy Finansowej Województwa Mazowieckiego na lata 2016 - 2039, zał. nr 2 do Uchwały nr 21/16 Sejmiku Województwa Mazowieckiego z dnia 22.02.2016 r.
- 4) Kontrakt terytorialny dla województwa mazowieckiego przewiduje do 2020 r. warunkowo budowę drogi wojewódzkiej po nowym śladzie na odcinku od Warszawy do Karczewa, konieczna koordynacja i ewentualne przyspieszenie budowy nowego odcinka także w Warszawie, inwestycja na odcinku warszawskim zgłoszona do Strategii Rozwoju Województwa Mazowieckiego do 2030 r.
- 5) Inwestycja zgłoszona do Strategii Rozwoju Województwa Mazowieckiego do 2030 r.
- 6) Budowa tego odcinka wynika z konieczności połączenia północnego odcinka drogi S-7, w układem miejskim. Inwestycja zgłoszona do Strategii Rozwoju Województwa Mazowieckiego do 2030 r.
- 7) Projekt w trakcie opracowania.
- 8) Zmiana klasy z "GP" (wg Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego) na "G".
- 9) Realizacja w ramach budowy drogi S2.
- 10) 2 pasy w kierunku północnym i jeden w południowym.
- 11) Inwestycja w ramach realizacji "Rail Baltica", w tym budowy bezkolizyjnych przejazdów kolejowych w Zielonce, Kobyłce i Wołominie oraz przystanku osobowego Mokry Ług.
- 12) Zgodnie z Wieloletnią Prognozą Finansową Powiatu Otwockiego na lata 2016 - 2028, uchwała Rady Powiatu Otwockiego nr 93/XIII/16 z dnia 17.03.2016 r.
- 13) W świetle wyników konsultacji w.s. projektu Mostu Krasińskiego, możliwe odstąpienie od budowy połączenia ulicy z Al. Prymasa Tysiąclecia i w konsekwencji obniżenie klasy ulicy np. do lokalnej (L) o przekroju 1/2.
- 14) W ramach budowy drogi S-8 realizacja przejazdu drogowego (wiaduktu) w ciągu ulicy Głównej oraz dojazdów do istniejących odcinków ulic Dworkowej i Głównej.
- 15) Budowa obwodnicy Góry Kalwarii (GP 2/2) do 2017 r.
- 16) Planowane obniżenie klas Traktu Nadwiślańskiego i ul. Familijnej oraz adaptacja ul. Myślubskiej jako zbiorczej.
- 17) Drogi i ulice konieczne do realizacji wraz z budową drogi S-7, w celu rozprowadzenia ruchu z węzła "Antoninów".
- 18) Budowa w ramach modernizacji linii kolejowej. Dane PKP PLK S.A.
- 19) Zgodnie z Planem Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Mazowieckiego (Uchwała nr 180/14 Sejmiku Województwa Mazowieckiego z dnia 7.07.2014 r.) Mała Obwodnica Warszawy (MOW) od północy doprowadzona jest do autostrady A2 między węzłami "Lubelska" i "Konik Stary" (bez węzła MOW z A-2), następnie przebiega wzdłuż autostrady do węzła "Lubelska" (bez powiązań MOW z drogami A-2, S-2 i S-17 w tym węźle), następnie wzdłuż drogi S-17, z którą możliwe jest powiązanie w węźle "Wiązowna I (Północ)". W ten sposób odstąpiono od przewidzianego m.in. w Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego

gm. Wiązowna" najkrótszego połączenia z węzłem "Wiązowna I/Północ/" przebiegającego przez Michałowek i Boryszew w gminie Wiązowna. Z uwagi na brak szczegółowych ustaleń dla tej drogi, w modelu sieci należy przyjąć jej przebieg wzdłuż A-2 i S17, z powiązaniem w węźle "Wiązowna I(Północ)".

20) Według najnowszych koncepcji linia tramwajowa zostanie poprowadzona w osi ulicy Kasprzaka, z wykorzystaniem przejazdu pod wiaduktem ul. Redutowej i z pozostawieniem jego przejezdności dla ruchu samochodowego.

21) Przebieg linii tramwajowej od Dworca Zachodniego do włączenia w Al. Prymasa Tysiąclecia zgodnie z miejscowym planem Czystego (uchwała nr XXXIX/1011/2012 Rady m.st. Warszawy z dnia 5.07.2012 r.).

*Źródło: opracowanie własne.*

Dla inwestycji drogowych wrysowano nowe odcinki dróg a następnie połączone je z istniejącą siecią transportową. Dla każdego odcinka przypisano docelowy jego typ oraz zbiór parametrów:

- INW\_NAZWA - nazwa inwestycji
- INW\_NR- numer inwestycji
- INW\_ROK – rok początku eksploatacji
- INW\_ZMIANA – w przypadku istniejącego obiektu - wprowadzone zmiany
- INW\_DOCELOWY\_LINKTYPE\_NUMBER- numer docelowy typu odcinka.

Dla transportu szynowego (tramwaj, metro) wrysowano nowe odcinki dróg połączono je z istniejącą siecią publicznego transportu zbiorowego. Dla każdego odcinka przypisano docelowy jego typ oraz zbiór parametrów jak dla transportu drogowego. Wrysowano również zespoły przystankowe oraz do przystanków podłączono konektory.

Nie wykonywano dokładnej marszrutyzacji. Dla projektowanych torowisk przyjęto arbitralne przebiegi linii i rozkłady jazdy. Przy szczegółowych analizach należy doprecyzować planowaną marszrutyzację, oraz połączenia z istniejącym układem komunikacji zbiorowej.

### 3. Menadżer scenariuszy

Model stanu istniejącego, oraz modele prognostyczne przekazano w formie menadżera scenariuszy.

Zawarto w nim:

- sieć i zmienne objaśniające w stanie istniejącym (zapisane dodatkowo w formie pliku .ver)
- prognozowane wartości zmiennych objaśniających zgodnie z tabelą VI.1 na rok:
  - 2020
  - 2030
  - 2050
- modyfikacje sieci, tj. nowe odcinki drogowe i nowe linie KZ prognozowane zgodnie z tabelą VI.2. Zagregowane do trzech horyzontów, tj. inwestycji realizowanych do roku:
  - 2020
  - 2030
  - 2050
- zestawy procedur (zgodnie z tabelą V.2)
- scenariusze składające się z prognozowanych zmian w sieci i zmiennych objaśniających dla których obliczono pełny zestaw procedur (nr 9, oraz 10):
  - rok 2016 szczyt poranny
  - rok 2016 szczyt popołudniowy
  - rok 2020 szczyt poranny
  - rok 2020 szczyt popołudniowy
  - rok 2030 szczyt poranny

- rok 2030 szczyt popołudniowy
- rok 2050 szczyt poranny
- rok 2050 szczyt popołudniowy

w każdym ze scenariuszy zawarto gotowe wyniki modelowania dostępne do podglądu, lub do zapisu w formie pliku .ver

Przygotowane scenariusze należy traktować poglądowo, zakodowano wszystkie planowane inwestycje zgodnie z aktualnym stanem wiedzy. Wiele inwestycji nie ma doprecyzowanego wariantu realizacji, wiele jest na etapie studiów korytarzowych. Stąd przy wszelkich analizach szczegółowych należy uszczegółwić scenariusz, doprecyzować przyjęte założenia i zweryfikować poprawność kodowania sieciowego odcinków drogowych i tras komunikacji zbiorowej.

[...]