



**POLITECHNIKA  
BYDGOSKA**  
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY  
INŻYNIERIA LĄDOWA, GEODEZJA I TRANSPORT  
ROZPRAWA DOKTORSKA**

**WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA WIELKOŚĆ  
GENEROWANEGO RUCHU DROGOWEGO**

**EFFECT OF SELECTED FACTORS ON THE GENER-  
ATED ROAD TRAFFIC SCALE**

**DZIEDZINA: NAUKI INŻYNIERYJNO TECHNICZNE  
DYSCYPLINA: INŻYNIERIA LĄDOWA, GEODEZJA  
I TRANSPORT**

**Autor: mgr inż. Paulina Olenkowicz-Trempała**

Promotor: dr hab. inż. Jan Kempa, prof. PBŚ

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Jacek Chmielewski, prof. PK

Publikacja wydana na prawach rękopisu

*Serdecznie dziękuję Panu dr. hab. inż. Janowi Kempie, prof. PBS' za pomoc, opiekę, cenne rady i życzliwość. Dziękuję, że mimo tylu zajęć zawsze miał Pan dla mnie czas, odpowiadał na moje niezbyt mądre pytania i zgłaszał ciekawe sugestie. Zapewniam o swojej pamięci. Jestem głęboko wdzięczna za wsparcie i czas jaki Pan mi poświęcił.*

*Chciałabym również podziękować dr. hab. inż. Jackowi Chmielewskiemu, prof. PK oraz dr. hab. inż. Aleksandrowi Sobocie, prof. PŚ za cenne wskazówki oraz wskazanie mi narzędzi, których potrzebowałam, aby wybrać właściwy kierunek i ukończyć pracę.*

*Bardzo dziękuję Kolegom z katedry, którzy zawsze służyli mi dobrą radą, pomocą oraz wielowymiarowym wsparciem.*

*Dziękuję Rodzicom za wartościowe rady przez te wszystkie lata, i za to, że dzięki nim jestem w miejscu, w którym chcę być.*

*Pragnę również wyrazić moją wdzięczność mężowi Michałowi, córce Poli oraz rodzeństwu Justynie, Martynie oraz Krystianowi za wsparcie na każdym etapie pisania pracy.*



## SPIS TREŚCI

<b>1. Wprowadzenie.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Cel, teza i zakres pracy .....</b>	<b>9</b>
2.1. Cel pracy .....	9
2.2. Tezy pracy .....	11
2.3. Zakres pracy .....	12
<b>3. Przegląd modeli transportowych w zakresie ich budowy i zastosowania .....</b>	<b>15</b>
3.1. Cele modelowania ruchu drogowego .....	15
3.2. Rodzaje modeli transportowych .....	16
3.3. Źródła danych o generowaniu podróży .....	22
3.4. Przegląd realizacji prac studialnych w Polsce z użyciem modeli transportowych .....	26
3.5. Podsumowanie.....	27
<b>4. Konstrukcja bazy danych o zachowaniach transportowych mieszkańców .....</b>	<b>30</b>
4.1. Charakterystyka źródeł danych.....	30
4.2. Charakterystyka opracowanej bazy danych.....	44
<b>5. Metodyka budowania modeli generowania ruchu drogowego.....</b>	<b>50</b>
5.1. Etapy budowania modeli generowania ruchu .....	50
5.2. Ogólna metodyka budowania modeli regresji z jedną zmienną objaśniającą.....	55
<b>6. Opis przyjętych zmiennych i zakres prowadzonych prac analitycznych .....</b>	<b>57</b>
6.1. Definicja zmiennej objaśnianej.....	57
6.2. Wybór zmiennych objaśniających i ich definicja .....	58
6.3. Zakres prowadzonych prac analitycznych.....	61
<b>7. Modele generowania ruchu drogowego .....</b>	<b>64</b>
7.1. Ogólna postać matematycznych modeli .....	64
7.2. Modele dla pierwszego poziomu szczegółowości .....	66
7.3. Modele dla drugiego poziomu szczegółowości .....	68
7.4. Modele dla trzeciego poziomu szczegółowości.....	75

7.5. Modele dla czwartego poziomu szczegółowości .....	84
7.5.1. Modele generowania ruchu drogowego w zależności od odległości i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego.....	84
7.5.2. Modele generowania ruchu drogowego w zależności od wskaźnika gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego .....	87
7.5.3. Modele generowania ruchu drogowego w zależności od wskaźnika obsługi transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego .....	89
7.6. Przykłady wyznaczonych modeli dla poziomu czwartego wybranych grup osób jednorodnych zachowań transportowych .....	92
<b>8. Podsumowanie i kierunki dalszych prac badawczych .....</b>	<b>104</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>108</b>
<b>Streszczenie .....</b>	<b>123</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>124</b>

## 1. WPROWADZENIE

Potrzeba przemieszczenia (podróże osób oraz przewozy ładunków) wynika z natury człowieka, którego środowisko nasycone jest ruchem. Popyt na transport zmienia się wraz z rozwojem społecznym, gospodarczym i technologicznym. Kształtowany jest przy tym nie tylko przez strukturę zagospodarowania przestrzennego, ale wynika także z cech indywidualnych samych użytkowników dróg. Czynniki te oddziałują na siebie, a analiza ich wzajemnych zależności umożliwia opis systemów transportowych, nie tylko pod względem techniczno-organizacyjnym, ale również funkcjonalnym. W tym celu do opisu ruchu, w tym także możliwość określenia jego wielkości, wykorzystuje się matematyczne modele, które odwzorowują zjawiska w nim zachodzące. Mogą być one wykorzystywane zarówno na etapie planowania (w tym strategicznego rozwoju systemów transportowych), bądź wspomagać decyzje o kształtowaniu bieżącego ruchu na poziomie zarządzania operacyjnego (np. zmian organizacji ruchu). Podejmowanie działań w kierunku usprawnienia systemów transportowych wydaje się niezbędne m.in. w kontekście ograniczonych zasobów przestrzennych. Często bowiem realizowane wielkim wysiłkiem inwestycje drogowe, choć zwiększają przepustowość elementów sieci, poprawiają sytuację tylko w krótkim czasie przenosząc stany zatłoczenia w inne miejsca [Szarata 2013].

Systemy transportowe można definiować jako kombinację szeregu współzależnych elementów generujących popyt na podróże w danym obszarze oraz odpowiadającą mu podaż zaspokajającą powstałe potrzeby transportowe [Leszczyński 1990]. Analiza indywidualnych cech użytkowników dróg w kontekście wielkości generowanego zapotrzebowania, może przyczynić się do lepszego, a więc bardziej efektywnego, zarządzania podażą (stanowiącą obiekty budowlane, które służą do realizacji zamierzonych podróży, jak np. układ drogowy, torowiska tramwajowe, linie kolejowe). Sprzyja temu rozwój możliwości informatycznych, pozwalających na bardziej efektywne modelowanie przemieszczania się ludności i towarów w sieciach transportowych.

Matematyczne modele znacząco upraszczają rzeczywistość, niemniej z powodzeniem wykorzystywane są w dziedzinie planowania systemów transportowych od ponad wieku. Najszerzej stosowanym jest model łączący cztery składowe tj.: generowanie podróży, rozkład przestrzenny, podział zadań przewozowych oraz rozkład ruchu w sieci systemów transportowych analizowanego obszaru. Pomimo swoich niedoskonałości wciąż stanowi on podstawowy sposób modelowania podróży [Szarata 2013]. Potrzeby transportowe użytkowników systemów transportowych są determinowane przez ich udział w różnych aktywnościach rozproszonych w czasie i przestrzeni. Na ich motywacje wpływają m.in. cechy poszczególnych ludzi, w tym płeć, wiek, przynależność do grupy społecznej czy miejsce ich zamieszkania.

Do tej pory matematyczne modele szacowania liczby podróży mieszkańców ze względu na indywidualne cechy poszczególnych uczestników ruchu

nie zostały jeszcze całkowicie opracowane, stąd zbudowanie takich modeli przyczyniłoby się również do realizacji w sposób bardziej efektywny działań dotyczących:

- systemów zarządzania ruchem drogowym, tzw. Inteligentnych Systemów Transportowych (ITS),
- zmian w sieci drogowej i modernizacji infrastruktury drogowej,
- lokalizacji obiektów użyteczności publicznej,
- koncepcji rozwoju publicznego transportu publicznego,
- studiów transportowych obszarów,
- studiów uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego,
- analiz oddziaływania ruchu drogowego na środowisko (np. dotyczących hałasu drogowego, zanieczyszczenia powietrza itp.),
- analiz efektywności ekonomicznej (kosztów i korzyści) projektów transportowych.

Określenie ruchliwości użytkowników dróg jest konieczne dla każdego z wyżej wymienionych zadań. Wykorzystanie w tym celu matematycznych modeli przyczyni się do skrócenia czasu i kosztów tych analiz.

Podjęty w niniejszej rozprawie problem jest istotny z uwagi na wysokie koszty realizacji potrzeb transportowych. Pogarszanie się standardów podróży, spowodowane wyczerpywaniem przepustowości ciągów drogowych, może niweczyć założenia regionalnych czy lokalnych polityk i strategii w zakresie transportu, w tym eliminacji jego negatywnych oddziaływań. Z tego też względu badania wpływu indywidualnych cech uczestników ruchu na wielkość generowanego ruchu powinny być uwzględniane również przy tworzeniu dokumentów o charakterze planistycznym. Także ze względu na potrzeby nieustannej optymalizacji systemów transportowych wynikających z rosnącego popytu na podróże czy podnoszenia poziomu jakości tych systemów, analizy przedstawione w niniejszej pracy będą miały szczególny wymiar praktyczny.



---

## 2. CEL, TEZA I ZAKRES PRACY

### 2.1. CEL PRACY

Ruchliwość jest determinowana wieloma czynnikami, które można podzielić m.in. na:

- strukturę przestrzenną (układ centrum-peryferie),
- cechy społeczno-ekonomiczne i demograficzne gospodarstwa domowego,
- jakość sieci drogowej i transportu publicznego,
- motywacje podróży [Rosik et al. 2018].

Głównym celem naukowym rozprawy jest opracowanie matematycznych modeli opisujących wpływ wybranych czynników na liczbę podróży (wielkość ruchu drogowego) generowanych przez użytkowników dróg z uwzględnienie par motywacji podróży. Do realizacji tego celu zdefiniowano następujące cechy odnoszące się do tych użytkowników, które poddano analizie w niniejszej pracy:

- przynależność do grupy społecznej,
- płeć,
- miejsce zamieszkania,
- dostępność (posiadanie) środka transportowego.

Celem pracy jest opracowanie matematycznych modeli generowania ruchu drogowego uwzględniających cechy jego uczestników związane z ich zamieszkaniem, przynależnością do grupy społecznej czy dostępnością do środka transportowego i innymi czynnikami wynikającymi z zagospodarowania przestrzennego, a mające wpływ na liczbę wykonywanych przez nich podróży w poszczególnych motywacjach podróży.

Modelowanie zachowań transportowych użytkowników dróg jest integralnym elementem prognozy ruchu, zaś ich kształtowanie – procesem złożonym, zależnym od wielu czynników wpływających na ich decyzje. Celem praktycznym pracy jest umożliwienie określenia wielkości generowanego ruchu oraz liczby podróży wykonywanych przez użytkowników dróg. Informacje te są wykorzystywane podczas budowy modeli transportowych czy systemów zarządzania ruchem drogowym.

Należy podzielić pogląd [Szarata 2012], że największą zaletą matematycznych modeli odwzorowujących ruch drogowy jest niemal nieograniczona możliwość weryfikowania różnych scenariuszy zmian, bez konieczności ponoszenia dodatkowych kosztów. Dla opracowanego modelu systemów transportowych można w sposób dowolny kreować i testować różne rozwiązania. Posługując się językiem prakseologicznej teorii organizacji [Kotarbiński 1995; Szarata 2012], można powiedzieć, że model symulacyjny pozwala na imanentyzację, czyli „zastępowanie prób faktycznych pseudoprobami wykonywanymi

w myśli”. Umożliwia to testowanie nowych rozwiązań bez konieczności ponoszenia kosztów ich rzeczywistej realizacji. Znając obciążenia ciągów dróg jakie generują grupy poszczególnych ich użytkowników, możliwy będzie optymalny dobór parametrów infrastruktury drogowej.

Praca, zdaniem autorki będzie stanowić wkład w rozwój dyscypliny naukowej, w tym przede wszystkim dziedzin dotyczących inżynierii ruchu drogowego, urbanistyki czy transportu – w zakresie planowania, projektowania czy zarządzania infrastrukturą drogową i ruchem. Przyjmowane w wielu regionach polityki transportowe i planowane inwestycje wymagają prowadzenia analiz ich efektywności ekonomicznej. Wykorzystanie w tym celu matematycznych modeli ruchu może skrócić czas niezbędnych analiz i zmniejszyć ich koszty.

Tematyka rozprawy będzie stanowić zarazem źródło informacji o potencjalach ruchotwórczych czy organizacji transportu i jako takie może być wykorzystywane z powodzeniem w ramach zajęć dydaktycznych, w tym m.in. w zakresie: „Planowania układów komunikacyjnych”, „Planowania sieci transportu drogowego”, „Organizacji transportu zbiorowego”, „Inżynierii transportu”, „Urbanistyki” czy „Bezpieczeństwa ruchu drogowego”.

Zweryfikowana wiedza o wielkości generowanego ruchu przez poszczególne grupy jego uczestników może ułatwić podejmowanie decyzji związanych z:

- określeniem zapotrzebowania i zapewnieniem właściwej obsługi publicznym transportem zbiorowym,
- określeniem optymalnej lokalizacji inwestycji infrastrukturalnych i architektonicznych (przez co poprawia się konkurencyjność miast i regionów w oczach inwestorów i osób poszukujących miejsca zamieszkania),
- wskazaniem zwiększonego ruchu drogowego w przypadku planowania lokalizacji obiektów ruchotwórczych.

Błędne oszacowanie potencjalnych wielkości ruchu może powodować nieefektywną rozbudowę infrastruktury drogowej bądź niepotrzebne podnoszenie kosztów inwestycyjnych przewymiarowanego układu drogowego.

Należy podzielić pogląd [Rosik et al. 2018], że wyniki modelowania ruchu drogowego mają istotny wymiar poznawczy o znaczeniu wykraczającym poza problematykę transportową. Dają możliwość identyfikowania obszarów o szczególnym (mniejszym lub większym) potencjale ruchotwórczym, a tym samym mogą służyć do weryfikacji rozkładów terytorialnych zmiennych demograficznych, społecznych i ekonomicznych.

W literaturze przedmiotu [Tracz et al. 2004] sformułowano uproszczonego metodę obliczania przepustowości. Prowadzone w dysertacji analizy zapoczątkują pracę nad zbudowaniem analogicznej metody, w odniesieniu do szacowania ruchliwości grup osób jednorodnych zachowań transportowych. Mogłaby ona z powodzeniem służyć np. przy planowaniu układów komunikacyjnych.

Dlatego celem kierunkowym pracy, którą autorka zamierza zrealizować w najbliższych latach jest zbudowanie uproszczonej, szacunkowej metody wyznaczania wielkości generowania ruchu drogowego do celów planistycznych. Wiele studiów i faz planistycznych nie wymaga bardzo dokładnych modeli transportowych, często wystarczyłyby szacunkowe wartości omawianej wielkości.

Należy zaznaczyć, że tylko nieliczne jednostki w Polsce dysponują oprogramowaniem (bardzo drogim), wiedzą i doświadczeniem, aby móc zbudować model transportowy dla danej sieci drogowej. Ponadto wykonanie niezbędnych badań ankietowych jest nie tylko bardzo czasochłonne, ale również bardzo kosztowne. Pierwszym i zasadniczym krokiem do realizacji celu kierunkowego było zbudowanie bazy danych i modeli generowania ruchu drogowego przez poszczególne grupy osób jednorodnych zachowań transportowych.

Rezultatem niniejszej pracy będzie częściowa realizacja pierwszego etapu czterostopniowego modelu transportowego.

## 2.2. TEZY PRACY

Zagadnienia modelowania ruchu oraz zachowań mieszkańców stanowią aktualny przedmiot krajowych jak i zagranicznych badań naukowych. Większość tych badań skupia się na modelowaniu złożonych systemów drogowych w mikroskali, z pominięciem wpływu charakterystycznych zachowań poszczególnych grup uczestników ruchu. Takie podejście w znacznym stopniu wpływa na rezultaty prognozy zachowań oraz na wyniki symulacji ruchu drogowego.

Analizy funkcjonowania systemów transportowych, zarówno w stanie istniejącym, jak i dla okresów prognostycznych, wymagają stosowania odpowiednich narzędzi informatycznych. Złożoność procesu transportowego, jego duża zmienność w czasie oraz zależność od zachowań i preferencji transportowych ludzi, a także od jakości sieci transportowych sprawiają, iż właściwe odtworzenie tego zjawiska wymaga wielu danych opisujących zarówno stronę popytu (potrzeb transportowych) oraz podaży (dostępnych możliwości przemieszczania się) w transporcie [Szczuraszek, Chmielewski 2017].

Nie ulega przy tym wątpliwości, że efektywnie funkcjonujące systemy transportowe podnoszą jakość życia mieszkańców. Dylematy z zakresu budowy modeli krajowych, regionalnych i lokalnych wskazują na pilną potrzebę opracowania modeli generowania podróży, zależnych od indywidualnych cech użytkowników infrastruktury drogowej. Metodyka modelowania ruchu wymaga w tym zakresie rozwoju i udoskonalenia. Modele te z powodzeniem stosować będzie można m.in. przy planowaniu czy modernizacji sieci transportowych. Do tej pory najczęściej modelowanie ruchu drogowego odbywało się na poziomie miast lub aglomeracji. Zbudowane modele umożliwią zastosowanie wyników analiz zawartych w niniejszej pracy na większe obszary, dla których przeważnie prowadzone pomiary ruchu miały wymiar uproszczony i ogólny.

W zaproponowanym w pracy podejściu do modelowania liczby podróży skupiono się na indywidualnych cechach użytkowników dróg i czynnikach związanych z terenem przez nich zamieszkiwanym. Pozwala to nie tylko na większą dokładność symulacji, ale również na użycie modelu w zupełnie innym zastosowaniu. Bowiern modele mogą profilować parametry systemów i „dostrajać” je do indywidualnego zachowania użytkowników, przez co może zostać również użyty do zarządzania ruchem. Znając potencjalne zachowanie użytkowników dróg, można wydajniej planować i dostosować podaż w systemach transportowych.

Na podstawie wyżej omówionych celów pracy, jak i danych z przeglądu literatury oraz własnych badań prowadzonych w ramach prac m.in.: [Szczuraszek et al. 2012; Szczuraszek et al. 2015; Szczuraszek et al. 2017] autorka pracy sformułowała prezentowaną poniżej tezę.

Wpływ na liczbę generowanych podróży (ruchliwość lub mobilność mieszkańców) mają m.in. następujące cechy użytkowników dróg:

- płeć,
- miejsce zamieszkania (miasto, wieś),
- przynależność do grupy osób jednorodnych zachowań transportowych (np. praujący, student itp.),
- posiadanie w gospodarstwie domowym środka transportowego do dyspozycji,

jak i czynników wynikających z zagospodarowania przestrzennego, a mianowicie:

- gęstość zaludnienia rejonu transportowego,
- odległość rejonu transportowego (miejsca zamieszkania) od rejonu centralnego,
- atrakcyjność transportowa publicznego transportu zbiorowego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania).

Dla wyżej wymienionych przyjętych podziałów cech i czynników możliwe jest opracowanie matematycznych modeli generowania ruchu dla grup osób jednorodnych zachowań transportowych przy danych parach motywacji podróży.

### **2.3. ZAKRES PRACY**

Przedmiotem analiz zawartych w rozprawie jest ustalenie wielkości generowanego ruchu przez grupy osób zależne od ich cech indywidualnych i czynników z uwzględnieniem motywacji podróży, stąd zakres pracy obejmuje:

- a) studia literaturowe rozważanej problematyki,
- b) dobór i charakterystyka poligonu badawczego,
- c) opis wykonywanych analiz i przyjętych zmiennych objaśniających,

- d) omówienie metodyki budowy matematycznych modeli wyznaczających liczby generowanych podróży przez osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych, w zależności od przyjętych zmiennych z uwzględnieniem par motywacji podróży,
- e) budowę modeli określających liczbę podróży generowanych przez osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych w podziale na motywacje podróży w zależności od zmiennych objaśniających,
- f) podsumowanie i kierunki dalszych prac badawczych.

Struktura pracy odpowiada założeniom badawczym. Rozprawa składa się z ośmiu rozdziałów. We wstępie autorka zamieściła ogólne wprowadzenie w problematykę będącą tematem niniejszej rozprawy. Drugi rozdział przedstawia tło zagadnień związanych z problematyką generowania podróży. Określono w nim cele naukowe i praktyczne, tezę i zakres prowadzonych badań.

W rozdziale trzecim przedstawiono studia literaturowe dotyczące badanego zagadnienia w Polsce i na świecie. Scharakteryzowano dotychczasowe osiągnięcie w tym zakresie wraz ze wskazaniem istniejących matematycznych modeli ruchu drogowego. Dokonano oceny stanu wiedzy w przedstawionej problematyce.

W kolejnym, czwartym rozdziale przedstawiono poligon badawczy. Wskazano źródła pozyskania danych wykorzystywanych na kolejnych etapach analizy. Przedstawiono liczby wykonanych ankiet dla każdego z przyjętych poligonów badawczych. Omówiono założenia dotyczące sposobu prowadzenia i realizacji badań przez autorkę. Wyniki badań opisane w tym rozdziale zostały wykorzystane do zbudowania ostatecznej bazy danych o mieszkańcach rozważanych obszarów.

W rozdziale piątym przedstawiono szczegółową procedurę poszukiwania oraz budowy matematycznych modeli generowania podróży grup osób jednorodnych zachowań transportowych metodami analizy regresji i korelacji. Pokazano w kolejnych krokach procedurę poszukiwania funkcji o najlepszym dopasowaniu do wyników badań empirycznych.

W rozdziale szóstym zdefiniowano zmienną objaśnianą oraz zmienne objaśniające, a następnie dokonano wyboru tych zmiennych, które były dalej analizowane. W kolejnym podpunkcie tego rozdziału przedstawiono szereg prac analitycznych jakie zostały wykonane do otrzymania końcowej bazy danych o mieszkańcach. Omówiono stosowane w rozprawie parametry oceny dopasowania wyników modelowania do danych empirycznych, którymi kierowano się przy ocenie dokładności budowanych matematycznych modeli.

W rozdziale siódmym przedstawiono proces poszukiwania funkcji opisujących wielkość generowanych podróży przez osobę z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych w poszczególnych motywacjach podróży, w zależności od trzech zmiennych objaśniających tj. odległość rejonu transportowego miejsca zamieszkania od rejonu centralnego, gęstość zaludnienia rejonu

transportowego (miejsca zamieszkania), wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym rejonu transportowego (miejsca zamieszkania). Sformułowano ostateczne modele matematyczne opisujące liczbę podróży generowanych wykonywanych przez osobę z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych przy przyjętych parach motywacji podróży.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie efektów pracy podjętych w ramach rozprawy. W konkluzji zawarto podsumowanie, wnioski płynące z przeprowadzonych analiz, opis praktycznego wykorzystania wyników rozprawy oraz kierunków dalszych prac badawczych.

### 3. PRZEGLĄD MODELI TRANSPORTOWYCH W ZAKRESIE ICH BUDOWY I ZASTOSOWANIA

#### 3.1. CELE MODELOWANIA RUCHU DROGOWEGO

Współczesny dostęp do komputerów o dużej mocy obliczeniowej umożliwia analizowanie zjawisk zachodzących w środowisku w dużo szybszym tempie niż przeprowadzenie eksperymentów w realnym świecie. Z powodzeniem można to wykorzystywać w poszczególnych dziedzinach inżynierii ruchu drogowego czy transportu, zwłaszcza w przypadkach, gdy rozpatrywane zagadnienia są na tyle złożone, że badanie ich w sposób analityczny (tradycyjny) jest szczególnie czaso- i kosztochłonne.

Wzrost zainteresowania modelowaniem ruchu jest naturalną konsekwencją narastających problemów transportowych, tj. emisji zanieczyszczeń, hałasu, wypadków drogowych, zatłoczenia, strat czasu w przewozach itp. W przypadku systemów transportowych prognozowanie dotyczy najczęściej oszacowania przyszłego (krótko- lub długoterminowego) ruchu drogowego, przewozów pasażerskich lub towarowych na istniejącej lub planowanej sieci transportowej [Sivakumar 2007].

Model ruchu jest jednym z kluczowych narzędzi wspomagających nowoczesne zarządzanie rozwojem analizowanego obszaru, w tym prowadzenia prac planistycznych i projektowych oraz podejmowania strategicznych i operacyjnych decyzji dotyczących rozwoju systemów transportowych. Umożliwia on [Transport.um 2015]:

- uzyskanie pełnego obrazu funkcjonowania systemów transportowych,
- analizę i ocenę działania systemów transportowych, w szczególności poprzez określenie parametrów charakteryzujących jego funkcjonowanie (np. wielkości potoków ruchu w poszczególnych środkach transportu),
- optymalizację sieci transportowej oraz określanie najkorzystniejszych lokalizacji i parametrów techniczno-eksploatacyjnych planowanych czy przebudowywanych inwestycji,
- badanie efektywności planowanych inwestycji poprzez możliwość wyznaczenia kosztów i korzyści wynikających z jej realizacji (jest to szczególnie ważne w przypadku działań i projektów dofinansowywanych choćby z funduszy europejskich),
- określanie w sieciach transportowych wpływu zmian na warunki ruchu wynikające z koniecznych wyłączeń lub ograniczeń w funkcjonowaniu niektórych elementów sieci ze względu na przebudowę istniejących lub budowę nowych inwestycji transportowych (np. wybór optymalnych rozwiązań czasowej organizacji ruchu),

- optymalizację zarządzania ruchem w systemach transportowych (np. stała organizacja ruchu).

Należy podkreślić, że wraz ze wzrostem złożoności modelu rośnie czas obliczeń oraz liczba niezbędnych danych charakteryzujących modelowany obiekt rzeczywisty. Z drugiej strony, aby odzwierciedlić istotne własności obiektów rzeczywistych, konieczne jest zebranie i uporządkowanie szeregu danych wejściowych. W istocie podstawowym założeniem jest zapewnienie realizmu prowadzonych symulacji na bazie przejętego kompromisu pomiędzy poziomem szczegółowości, a złożonością obliczeniową. Z różnych względów modele zawierają uproszczenia lub braki (celowe lub niecelowe) w opisie rzeczywistości, które determinują ich dokładność.

Najogólniej rzecz ujmując modele ruchu [Jaspers 2015] są pewną wypadkową pomiędzy aktywnością człowieka, która zawsze związana jest z przemieszczaniem w celu zaspokajania potrzeb, uzyskiwania dochodów z pracy oraz określonymi preferencjami pasażerów, co do sposobów, odległości i czasu przemieszczania. Korzyści uzyskiwane w związku z wykorzystaniem systemów modelowania i prognozowania ruchu w zarządzaniu infrastrukturą transportową, mogą być identyfikowane w dwóch układach: układzie korzyści odnoszonych przez poszczególne osoby przemieszczające się oraz w układzie korzyści zewnętrznych, uwzględniających wpływ transportu na otoczenie, uzyskiwanych przez społeczeństwo wybranego obszaru, miasta, regionu [Kos, Dydkowski 2014].

Ideą modeli transportowych jest jak najdokładniejsze matematyczne sformalizowanie zjawisk transportowych, zachodzących w analizowanym obszarze, dzięki któremu możliwe jest odtworzenie sposobu realizacji codziennych podróży przez osoby i przewozu towarów w wybranym obszarze analizy w danym okresie.

### **3.2. RODZAJE MODELI TRANSPORTOWYCH**

Modelowanie podróży rozwijane jest co najmniej od lat 60-tych ubiegłego wieku [Hensher, Button 2000]. Pierwsze modele symulacyjne, oparte w większości o analogię pomiędzy zjawiskiem przepływu cieczy a ruchem drogowym, były modelami bardzo prostymi z szeregiem założeń upraszczających i z reguły dotyczyły przepływu ruchu na odcinkach międzywęzłowych sieci. Intensywny rozwój informatyki, w tym numerycznych technik obliczeniowych sprzężonych z komputerami o coraz większej mocy obliczeniowej, istotnie przyczynił się do rozwoju nowocześniejszych procedur obliczeniowych stosowanych w inżynierii ruchu drogowego. W procedurach tych uwzględnia się coraz to większą grupę czynników wpływających na złożone zjawisko, jakim jest transport, a w nim ruch drogowy. Procedury te mają w jak największym stopniu i możliwie jak najdokładniej odwzorować skomplikowane zjawisko, jakim jest realizacja podróży [portal edroga.pl].



Zagadnienia te leżą w obszarach zainteresowania nie tylko osób zajmujących się inżynierią ruchu drogowego, modelowaniem ruchu czy transportem, ale również osób zajmujących się m.in. marketingiem, gospodarką przestrzenną, ekonomią. To powoduje, iż informacje zawarte w literaturze światowej są rozproszone w różnych obszarach dziedzin nauki i bardzo często przedstawiane są w sposób charakterystyczny dla jednej z nich. Jednocześnie w wielu przypadkach zagadnienie to staje się tematem interdyscyplinarnym, łączącym różne dziedziny nauki, w związku z szerokim aspektem oddziaływania liczby wykonywanych podróży przez mieszkańców na funkcjonowanie obszarów i jego zagospodarowania pod względem ekonomicznym, społecznym, transportowym, architektonicznym i kulturowym. Dodatkowo stanowi znaczący obszar zainteresowania osób zajmujących się szeroko rozumianym biznesem, ponieważ stanowi istotny zakres działalności gospodarczej człowieka.

W obrębie polskiej nauki prace nad rozwojem modeli podróży prowadzili [Friedberg 1979; Gaca 2008; Sucharzewski 2008; Szczuraszek 2009; Dybicz 2010; Krych 2012; Chmielewski 2013; Szarata 2013; Szczuraszek, Chmielewski 2019; Sobota et al. 2019; Szczuraszek, Chmielewski 2020].

Na świecie od dawna prowadzone są badania czynników mających wpływ na proces decyzyjny uczestników ruchu drogowego czy systemów transportowych oraz jak to się przekłada na liczbę generowanych podróży przez mieszkańców analizowanych obszarów.

W systemach transportowych wykorzystuje się różne rodzaje modeli symulacyjnych, a te odmienne podejścia można sklasyfikować wedle różnych kryteriów, przy czym każdy z poniższych podziałów jest niezależny i może być użyty do charakterystyki modelu w odmiennych aspektach. Modele możemy wyróżnić ze względu na:

- a) wiedzę na temat działania modelu: modele black box (czarnej skrzynki) zakładają brak informacji na temat natury procesu, znana jest wyłącznie zależność pomiędzy wejściem a wyjściem. Przykładem takich modeli mogą być te z wykorzystaniem sieci neuronowych (podejmowanie decyzji na podstawie zmieniających się czynników oraz poprzednich decyzji) [Bunge 1963, Glanville 2009]. Modele white box (białej skrzynki) – mechanizm działania procesu jest znany i opisany zestawem zależności (np. praw fizyki, a wszystkie reakcje oraz działania są ściśle określone za pomocą ustalonych wzorców zachowań). Można także wyróżnić model pośredni grey box (szarej skrzynki), który łączy w sobie cechy poprzednich dwóch podejść jeżeli dobrze znamy i możemy opisać część procesu [Kleijnen 1995];
- b) przewidywalność zachowania modelu: deterministyczny oraz stochastyczny. Model deterministyczny charakteryzuje się tym, że wynik jest powtarzalny i zależy od danych wejściowych oraz ewentualnie od stanu systemu [Burghout 2006]. Model stochastyczny korzysta z generatora liczb pseudolosowych, co oznacza,

- że wynik obliczeń nie jest powtarzalny [Eidehall, Petersson 2008; Hoehener et al. 2015; Jingyu, Qiqiang 2008];
- c) sposób reprezentacji parametrów modelu: dyskretne jak i ciągłe, zarówno w domenie czasu jak i stanu obiektów. W modelu dyskretnym zmiany w systemie zachodzą w określonych momentach w czasie, przy czym mają charakter dyskretny [Schriber, Brunner 1998; Soh et al. 2013]. Model ciągły to taki, w którym stan systemu zmienia się w sposób ciągły [Sanchez-Rico et al. 2014]. Można także wyróżnić model pośredni – hybrydowy, który wykazuje zarówno ciągłe, jak i dyskretne własności;
  - d) stopień szczegółowości modelu [Harslof Holst 2007]: mikro, mezo, makro. Symulacja makroskopowa bierze pod uwagę tylko zagregowany przepływ ruchu badanego odcinka drogi [Kuehne 1995]. Przepływ strumienia pojazdów jest opisywany, np. za pomocą średniej prędkości oraz gęstości pojazdów, nie bierze jednak pod uwagę istnienia poszczególnych obiektów na sieci drogowej. Modelowanie tego typu jest historycznie najstarsze, przy tym szeroko stosowane. Symulacja mezoskopowa, w porównaniu z symulacją makroskopową, dodaje do modelu kilka cech poszczególnych pojazdów, jednak cała symulacja jest obliczana dla grupy pojazdów poruszających się wzdłuż jednej ścieżki. Przykładami takiego podejścia są Gas Kinetic Models [Necoara et al. 2004; Gong et al. 2008] i Queing Network Models [Wu, Liu 2009; Bi, Liu; Wang et al. 2015]. Symulacja mikroskopowa modeluje każdy pojazd jako pojedynczy obiekt [Lieberman 1991]. Uwzględnia pasy ruchu, kierunki ruchu na tych pasach, obiekty poruszające się wzdłuż nich, zmiany pasów ruchu przez pojedyncze pojazdy oraz interakcję pomiędzy pojazdami. Każdy pojedynczy pojazd posiada swoją indywidualną pozycję, prędkość, przyspieszenie oraz wiele innych parametrów. Modelowanie tego typu uwzględnia także dokładniejszy stan środowiska, stany sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniach oraz relację obowiązywania danego sygnału drogowego dla danego pasa ruchu. Często jest także brana pod uwagę odległość pomiędzy pojazdami w trakcie symulacji.

Prawidłowe matematyczne opisanie procesów transportowych w modelach dla stanu istniejącego stanowi podstawę do opracowywania poprawnych modeli prognostycznych, które umożliwiają prowadzenie szeregu analiz dotyczących skutków zmian w infrastrukturze transportowej. Ze względu na różny sposób podejścia do opisu w modelach powiązania części podażowej i popytowej aktualnie stosuje się m.in. następujące konstrukcje modeli transportowych [Chmielewski, Szczuraszek 2019]:

- a) modele pośrednich możliwości (alokacyjne), które zawierają dwie procedury modelowe – model przesunięcia celów (iteracyjnego dopasowywania lokalizacji celu podróży względem zgłaszanego

zapotrzebowania) i przesunięcia ogólnego (równoczesnego przemieszczenia źródeł i celów podróży). Idea modelu nadarzających się okazji (intervening opportunities), inaczej nazywanego modelem pośrednich możliwości, została sformułowana przez Stouffera [Stouffer 2006] w Stanach Zjednoczonych, a później rozwinięta przez zespół CATS (Chicago Area Transportation Study). Model ten posłużył między innymi do obliczeń prognozowanej wymiany ruchu ulicznego pomiędzy rejonami aglomeracji Chicago. Wdrożony do obiegu naukowego znalazł także zastosowanie w podobnych rozwiązaniach na innych obszarach. W ramach losowania (modelowo zastępującego indywidualne postępowanie pojedynczego człowieka) określa się prawdopodobieństwo „sukcesu”, tzn. akceptacji losowanej okazji. W wyniku tego pojawia się ciąg prób Bernoulliego, czyli niezależnych losowań o stałym prawdopodobieństwie sukcesu, a kolejność losowań odpowiada uporządkowaniu „okazji” od najbliższej do najdalszej. Proces podlega zasadzie minimalizacji energii, a ogólnie - minimalizacji kosztu, który może być różnie definiowany, co wiąże się z przyjętą kolejnością rozważania nadarzających się okazji (odpowiada ona wzrastającemu kosztowi podróży);

- b) modele łańcuchów podróży [Castiglione et al. 2015], w których warstwa popytowa oparta jest na łańcuchu celów podróży, przy czym każda podróż osoby zaczyna się i kończy w miejscu jej zamieszkania (dom). W modelu tym stosowana jest idea łączenia różnych celów (motywacji) podróży w trakcie jej realizacji. O wyborze każdego z ogniw łańcucha podróży i użytego środka transportowego decydują preferencje transportowe mieszkańców, będące przedmiotem badań ankietowych. Modele te, choć bliskie są rzeczywistym zachowaniom mieszkańców, szczególnie w dużych miastach, w których podróże w ramach jednej motywacji są rzadkością, to nie są aktualnie powszechnie stosowane. Wynika to przede wszystkim z trudności w pozyskaniu odpowiedniej statystycznie reprezentatywnej próby w badaniach ankietowych mieszkańców w zakresie opisu ww. łańcuchów podróży. Opis wyboru środka transportowego do realizacji całego łańcucha podróży, a także wybór celów pośrednich w łańcuchu podróży wymagają znacznie dokładniejszej parametryzacji. Ponadto wymagają zwykle większej mocy obliczeniowej komputerów, szczególnie przy długich łańcuchach podróży. Zasadniczą zaletą tych modeli jest możliwość uzyskania dużej dokładności rozkładu tych podróży na sieciach transportowych rozważanego obszaru;
- c) modele czterostopniowe – których szczegółowy opis i procedurę budowy na potrzeby rozprawy przedstawiono w dalszej części niniejszego podrozdziału;

- d) modele pięciostopniowe [National Guidelines for Transport System Management 2016], stanowiące rozszerzenie modeli czterostopniowych o piąty etap, zwany oknem czasowym (time frame). W zasadzie wszystkie aktualnie budowane i używane w analizach modele, które dotyczą okresów wybranych godzin, powstają poprzez tzw. „wycięcie” procesów transportowych z całej doby. Nie uwzględniają one faktu, iż podróżni w praktyce mogą decydować się na zmianę czasu rozpoczęcia podróży ze względu na stany zatorów na sieci drogowej. Dlatego w modelu pięciostopniowym modeluje się prawdopodobieństwo zmiany czasu rozpoczęcia podróży jako odpowiedzi na stany zatorów w sieciach transportowych. Stanowi to czwarty krok obliczeniowy – między rozkładem przestrzennym a wyborem środka, piątym jest natomiast rozkład ruchu na sieci transportowe. Zjawisko to prowadzi oczywiście do zmiany macierzy podróży oraz ich rozkładu na sieci transportowe. Fakt ten jest niezwykle istotny w modelach dla okresów prognostycznych. Pominięcie tego zjawiska może bowiem w istotny sposób zawyżać natężenie ruchu drogowego w sieciach transportowych w godzinach szczytu. Modele te nie są jednak aktualnie szerzej stosowane ze względu na trwające jeszcze nad nimi prace badawcze, mające na celu zapewnienie im wymaganej dokładności [Fox et al. 2015].

Czterostopniowe modele transportowe ze względu na swoją prostą budowę są najczęściej stosowanym podejściem w zakresie modelowania zjawisk transportowych. Podstawowym elementem opisu tych modeli transportowych jest wydzielenie w obszarze modelowania (analizy) pewnych podobszarów. Źródła i cele podróży rozproszone są w obszarze analizy, dlatego grupuje się je w tzw. rejony transportowe, reprezentujące obszary o jednorodnym zagospodarowaniu przestrzennym [Martinez et al. 2007]. Należy podkreślić, iż olbrzymią zaletą modelu czterostopniowego jest łatwość uwzględnienia zależności pomiędzy stanem obciążenia ruchem sieci transportowych oraz kosztów transportu a wyborem celu i środka transportowego do realizacji podróży. Idea prowadzenia analiz symulacyjnych za pomocą czterostopniowego modelu transportowego, obejmuje cztery główne kroki obliczeniowe:

1. generowanie podróży,
2. wybór celu podróży,
3. wybór środka transportowego,
4. rozkład ruchu na sieci transportowe.

W pierwszym etapie budowy tego modelu wyznaczana jest generowanie potrzeb transportowych. W tym etapie ważnym elementem jest określenie ruchliwości mieszkańców (liczba wykonywanych podróży w danej jednostce czasu), co bezpośrednio związane jest z analizą zachowań transportowych osób [Macioszek et al. 2010]. Dlatego jednym z działań realizowanych przez auto-

rów modeli transportowych jest określenie podziału osób na grupy osób jednorodnych zachowań transportowych (studenci, osoby pracujące, osoby niepracujące itd.), a także określenie liczebności tych grup oraz struktury motywacji podróży (określenie względnej liczby podróży każdej grupy osób dla każdej motywacji - np. praca, zakupy, nauka itp.). Pozyskanie tych danych jest wykonywane zazwyczaj za pomocą wywiadów ankietowych. Na tym etapie budowy modelu określa się liczbę wszystkich podróży generowanych przez poszczególne grupy osób będących mieszkańcami rozważanego obszaru, charakteryzujących się jednorodnymi zachowaniami transportowymi. Ujęte są tu zarówno podróże piesze, jaki i niepiesze, podróże pomiędzy rejonami transportowymi oraz podróże w ramach jednego rejonu (tzw. podróże wewnętrzne). Rezultatem modelu generowania ruchu jest wyznaczenie liczby podróży w określonym czasie „z” i „do” określonego obszaru.

Drugim etapem jest zbudowanie macierzy podróży pomiędzy rejonami transportowymi. Rozkład przestrzenny podróży polega na wyznaczeniu macierzy dwuwymiarowej, której elementy odwzorowują wielkość popytu (liczbę podróży) pomiędzy poszczególnymi rejonami transportowymi [Żochowska et al. 2010]. Metody opracowania macierzy podróży można podzielić na dwie zasadnicze grupy: modele wskaźnikowe i syntetyczne. Modele wskaźnikowe wykorzystują znane wcześniej zależności (np. macierze historyczne) i na podstawie wyznaczonych wskaźników wzrostu (zmian w potencjałach ruchotwórczych) umożliwiają aktualizację tej macierzy (stosując np. metodę Fratarą opisaną w [Baber 2002]), czy Furnessa podaną w pracy [Bell 1984]). Druga grupa to metody syntetyczne, w których najczęściej stosowany jest model grawitacyjny, zakładający, że liczba podróży między rejonami transportowymi jest proporcjonalna do ich potencjałów z uwzględnieniem wpływu odległości (lub czasu) podróży jako funkcji oporu [Gaber 2002].

W trzecim etapie budowy modelu transportowego, dokonuje się podziału podróży na poszczególne (dostępne) środki transportowe. Model podziału zadań przewozowych to jeden z najtrudniejszych etapów w modelowaniu ruchu. Wybór środka transportowego do realizacji podróży określany jest zwykle mianem modal split – rozkładu modalnego. Jest on determinowany zarówno dostępnością środka transportowego wśród mieszkańców rozważanego obszaru, preferencjami w jego wyborze, a także czasem podróży danym środkiem transportowym. Podstawą opracowania podziału modalnego są najczęściej wyniki badań ankietowych mieszkańców badanego obszaru.

Ostatnim etapem (czwartym) jest rozkład ruchu na sieć transportową dla analizowanego obszaru. Efektem tego etapu pracy modelu jest obciążenie poszczególnych systemów transportowych pojazdami, pieszymi, rowerzystami, pasażerami transportu zbiorowego i indywidualnego. Najczęściej przedstawiane jest to w postaci mapy potoków ruchu samochodowego oraz potoków pasażerskich na całej sieci transportowej.

Wielkość ruchu zależna jest od czynników, które można ująć w następujących grupach charakteryzujących:

- a) mieszkańców danego rejonu np.: liczba mieszkańców rejonu, liczba mieszkańców zawodowo czynnych, dochód gospodarstwa domowego, zawód osoby, wiek, status motoryzacyjny itp.;
- b) infrastrukturę oraz środowisko rejonu i całego obszaru analiz np.: potencjał gospodarczy rejonu, dostępność do infrastruktury transportowej, posiadanie centrum usługowego, odległość od centrum miasta itp.

Na podstawie wartości liczbowych wymienionych zmiennych można określić wielkości ruchu generowanego i absorbowanego w rejonach transportowych. Wyznaczenie wskaźnika ruchliwości to jeden z pierwszych etapów analiz jakie są prowadzone podczas budowania makroskopowych modeli transportowych. Poprawnie określone wartości wskaźnika ruchliwości dają możliwość zweryfikowania przyjętych założeń przy budowanie modeli – szczególnie na pierwszym etapie jego opracowywania.

### 3.3. ŹRÓDŁA DANYCH O GENEROWANIU PODRÓŻY

Podstawowym źródłem danych niezbędnych do wyliczenia ruchliwości są wyniki badań ankietowych zachowań transportowych. Wykonywane są one w gospodarstwach domowych i dotyczą identyfikacji sposobów zaspokajania potrzeb przemieszczania się. W szczególności analizowana jest częstość występowania potrzeb transportowych (ruchliwość), ich pora, nasilenie oraz sposoby zaspokojenia. Badane są przyczyny, sposób, czas realizacji podróży oraz kierunek, w którym się odbywa [Ciestoń-Ciulkin, Puławska 2014]. Badania ankietowe mają charakter badań niewyczerpujących, a istotną kwestią jest odpowiedni dobór próby badawczej (zbiorowości podlegającej badaniu), tak by można uogólnić wynik na zbiorowość generalną. Najpopularniejszą metodą doboru wielkości próby badawczej jest próba losowa. Istotne jest również określenie wielkości próby w poszczególnych rejonach transportowych po to, aby jak najbardziej odzwierciedlała strukturę demograficzną i zachowania transportowe mieszkańców. Przy ustaleniu próby badawczej należy zwrócić uwagę na bezwzględną wielkość badanej populacji, im jest mniejsza, tym większy odsetek mieszkańców powinien zostać przebadany.

Badania ankietowe, badania ruchu towarowego czy badania generowania i absorpcji ruchu przez punkty ruchotwórcze wykorzystywane są na wszystkich czterech etapach budowy modelu, natomiast pomiary natężeń ruchu i liczby pasażerów służą do kalibracji modelu transportowego. Badania funkcji oporu elementów infrastruktury drogowej wykorzystuje się do przyjęcia empirycznej postaci funkcji oporu tworzone na etapie modelu sieci.

Na świecie od wielu lat prowadzone są badania mające na celu zmniejszenie kosztów pozyskania danych poprzez agregację rejonów transportowych [Bovy, Jansen 1983; Crevo 1991; Khatib et al. 2001] lub obniżenie liczebności próby badawczej [Smith 1981; Stopher 2008] (podejście tradycyjne – polegającym na wywiadach w gospodarstwach domowych). Zastosowanie urządzeń

GPS wciąż jest techniką kosztowną i jeszcze nie do końca sprawdzoną. Pomimo to, urządzenia te są chętnie wykorzystywane do badań ruchliwości, lecz ich zastosowanie ogranicza się do zbierania danych i kontroli przeprowadzonych wywiadów [Giaino et al. 2010; Swamm, Stopher 2008]. Podejmuje się również próby wykorzystania śladu trajektorii ruchu zarejestrowanego przez telefony komórkowe [Friedrich et al. 2010], lecz stanowi to w chwili obecnej raczej wstępną próbę badawczą niż działania znajdujące praktyczne zastosowania. Innym działaniem są badania fokusowe [Dziedzic, Szarata 2013], w których na niewielkiej grupie respondentów prowadzi się szczegółowe wywiady dotyczące ich zachowań transportowych. Wywiady te, prowadzone są przez psychologów, aby wspomóc proces identyfikacji i charakterystyki zachowań transportowych. Na uwagę zasługuje również technika badań eksperckich, w której opinie osób zawodowo zajmujących się modelowaniem podróży stanowią podstawę do tworzenia procedur i formuł matematycznych opisujących procesy podróżowania [Szarata 2014; Chmielewski et al. 2018].

W warunkach polskich badania ankietowe pozostają wciąż fundamentem pozyskiwania danych o zachowaniach transportowych mieszkańców danego obszaru. Na podstawie danych z badań ankietowych opisuje się liczbę podróży realizowanych w próbie, w jednostce czasu (doba, godziny szczytu itp.). Następnie na podstawie informacji o procentowym udziale liczby osób w próbie, w stosunku do liczby osób w populacji, wyznacza się liczbę podróży w populacji. Weryfikacja poprawności tak wyznaczonej liczby podróży polega na sprawdzeniu liczby podróży w dobie w populacji, ale określonej na podstawie modelu generowania ruchu (pierwszy stopień modelu czterostopniowego) z liczbą mieszkańców w populacji pomnożonej przez wskaźnik ruchliwości. Dlatego wskaźnik ruchliwości jest dobrą miarą, która może służyć do kalibracji modelu generowania ruchu tak, aby skorygować uzyskaną liczbę podróży z modelu generowania ruchu do empirycznej liczby podróży realizowanej na danym obszarze.

Przegląd literatury wskazuje, że podstawowymi problemami związanymi z modelowaniem ruchu są: metody pozyskiwania danych, związanych z atrakcyjnością transportową poszczególnych obszarów z punktu widzenia generowania i absorbowania podróży, a także związanych z preferencją i zachowaniami mieszkańców konkretnych obszarów zamieszkania. Istnieje szereg publikacji dotyczących zagadnień ogólnych i teoretycznych związanych z funkcjonowaniem czterostopniowego modelu.

Autorzy [Mitchell, Rapkin 1954; Daly, Miller 2006] wskazują, że ruch generowany w obszarach uzależniony jest od różnych czynników wpływających na procesy podejmowania decyzji użytkowników systemów transportowych. Budowa modelu generowania podróży wymaga zatem głębokiej analizy uwzględniającej złożoność tych procesów oraz skomplikowane współzależności występujące pomiędzy strukturą aktywności uczestników ruchu, a systemami transportowymi. Za najistotniejsze determinanty zjawiska powstawania ruchu należy uznać [Supernak 1980]:

- czynniki charakteryzujące mieszkańców analizowanego obszaru np.: liczba osób w rodzinie, liczba osób zawodowo czynnych w gospodarstwie domowym, liczba samochodów, przynależność do grup społecznych o różnych formach aktywności, wiek osoby, płeć osoby, posiadanie małych dzieci itp.;
- czynniki charakteryzujące zagospodarowanie przestrzenne obszaru np.: gęstość zaludnienia w rejonie zamieszkania, oddalenie miejsca zamieszkania od centrum (mierzone odległością lub czasem), średnia odległość miejsca zamieszkania od pozostałych rejonów, średnia odległość miejsc zamieszkania od miejsc pracy i nauki, średnia gęstość zaludnienia w mieście itp.;
- czynniki charakteryzujące infrastrukturę transportową np.: średni czas dojścia do przystanku transportu zbiorowego, gęstość sieci transportu zbiorowego, średnia odległość miejsca zamieszkania od centrum mierzona czasem dojazdu środkami transportu zbiorowego itp.;
- czynniki związane z czasem np.: pora dnia, dzień tygodnia, pora roku [Żochowska et al. 2016].

W pracy [Shahnum 2021] stwierdzono, że na sposób przemieszczania się osób ma wpływ płeć wskazując, że tryb podróżowania kobiet jest bardziej złożony, chociażby ze względu na role jakie pełnią w gospodarstwie domowym.

W Polsce środowiska naukowe zabiegały o wykonywanie przez instytucje państwowe (tj. np. Główny Urząd Statystyczny) badań ankietowych w celu poznania zachowań transportowych mieszkańców całego kraju. Do tej pory badania zachowań transportowych w Polsce w większości prowadzone były na potrzeby budowy konkretnych modeli określonych obszarów kraju. Pierwsza próba badań w skali kraju, ale o ograniczonym znacznie zakresie merytorycznym, została wykonana w roku 2015 przez GUS [Gadziński, Goras 2019], a jej wyniki zostały przedstawione m.in. w pracy [Turek et al. 2015] oraz na konferencji: Badania pilotażowe zachowań transportowych ludności w Polsce w 2015 r. Na wspomnianej konferencji przedstawiono wyniki badań m.in.: dotyczące struktury posiadania liczby samochodów osobowych w gospodarstwie domowym, udziału procentowego przewozu osób według wybranych sposobów odbywania podróży w poszczególnych województwach itp. Badania przeprowadzono na 13 551 gospodarstwach domowych, co przekładało się na 30 886 mieszkańców kraju. Podejście do badań jak i ich opracowanie niestety nie było konsultowane przez instytucje naukowe (zakres), co znacznie obniżyło przydatność wykonanych badań.

Zainteresowanie instytucji państwowych powyższym problemem świadczy o tym, że zagadnienie jest ponadlokalne i wymaga prowadzenia cyklicznych badań i obserwacji, tzn. aby np. systemy transportowe spełniały oczekiwania podróżnych oraz aby zagospodarowanie terenu było przystosowane



do potrzeb mieszkańców. Autorka ma nadzieję, że te badania będą wykonywane regularnie albo zostanie im nadany priorytet badań obligatoryjnych dla losowo wybieranych mieszkańców całego kraju i mogłyby być składne np. razem z deklamacją podatku PIT.

W tzw. Kompleksowych Badaniach Ruchu (KBR), np. [KBR Poznań 2000; KBR Kraków 2003; Modelowanie ruchu - Przetwarzanie wyników badań, Sopot, 2004; Jamroz et al. 2010; Szczuraszek et al. 2012; Zintegrowany System Transportu Szynowego Aglomeracji i we Wrocławiu 2013; Szczuraszek et al. 2015] lub innych opracowaniach dotyczących zachowań transportowych mieszkańców, główny nacisk położony jest na analizę i modelowanie podróży osób. W badaniach tych wpływ czynników charakteryzujących zagospodarowanie przestrzenne, takich jak np. wskaźnik gęstości zaludnienia, czy odległość od centrum miasta, nie był brany pod uwagę jako czynnik wpływu zachowań transportowych mieszkańców.

Z kolei w Stanach Zjednoczonych badania ankietowe związane m.in. o opisywanej wyżej charakterystyce wykonywane są regularnie co 10 lat, pod nazwą Środowiskowe Badania Społeczne. Pierwsze badania ankietowe odbyło się w roku 1996 na próbie kilku hrabstw. Obecnie badania ankietowe prowadzone są już we wszystkich hrabstwach USA oraz na Puerto Rico. Na podstawie tych badań pozyskiwane są informacje m.in. takie jak:

- dochody gospodarstwa domowego,
- sposoby dojazdu do celów podróży,
- wiek ankietowanych,
- rasy, język używany w domu,
- przebyta służba wojskowa.

Pytania zawarte w wyżej opisanej ankiecie mają na celu zebranie danych potrzebnych do zarządzania programami rządowymi i do ich oceny. Np. informacje o dochodach umożliwiają porównywanie poziomów ekonomicznych na różnych obszarach. Odpowiedzi na pytania dotyczące dojazdów do pracy są wykorzystywane przez Departament Transportu Stanów Zjednoczonych do planowania ulepszeń sieci dróg, opracowywania usług publicznego transportu zbiorowego i opracowywania programów usprawniania ruchu drogowego.

Adresy są wybierane losowo, dlatego ważne jest, aby każde domostwo wybrane drogą losową udzieliło odpowiedzi. Osoba, która otrzyma ankietę musi ją wypełnić zgodnie z [Kodeksem Stanów Zjednoczonych, tytuł 1, art. 141, 193 i 221]. Ta sama ustawa chroni poufność i udzielanych informacji każdej osoby [Środowiskowe Badania Społeczne w Stanach Zjednoczonych, 2020; <https://www.census.gov/programs-surveys/acs>, 2023].

Ponadto w Raporcie specjalnym [Metropolitan Travel Forecasting: Current Practice and Future Direction, 2007], zostały przedstawione analizy modeli prognozowania podróży metropolitalnych, które dostarczają urzędnikom pu-

blicznym informacji potrzebnych do podejmowania decyzji dotyczących głównych inwestycji i polityki w zakresie systemów transportowych. Raport bada, jakie ulepszenia mogą być potrzebne w modelowaniu i jak agencje federalne, stanowe i lokalne mogą je osiągnąć. Według komisji, która opracowała raport, obecnie używane modele prognozowania podróży nie są odpowiednie dla wielu niezbędnych obecnie zastosowań planistycznych i regulacyjnych.

W ostatnich latach, do zbierania danych o ruchu oraz do budowy modeli ruchu, używane są zaawansowane metody pozyskania danych o ruchu wykorzystujące „Big Data”. Metoda pracy na „Big Data” polega na użyciu specjalistycznych algorytmów i znajomości m.in. punktów zatrzymań i prędkości przemieszczeń określa się motywacje i wybrane środki przewozowe w systemie transportowym. Taka metoda pozwala pominąć kosztowne badania i ankiety, jednak wiąże się z nią niepewność przy określeniu kolejnych elementów macierzy. Jednak należy zaznaczyć, że te dane nie są tak szczegółowe jak pozyskane m.in. za pomocą ankiet transportowych, ponieważ nie posiadają informacji np. o motywacji podróży [Górka 2016].

Poszukiwanie sposobów wyznaczenia ruchliwości bez wykorzystania lub zmniejszenia próby wykonywania kosztownych badań ankietowych zachowań transportowych stało się przedmiotem badań opisanych w niniejszej rozprawie np. do szacowania wielkości ruchu szczególnie przy pracach planistycznych. Pozwoli to skrócić czas i obniżyć koszty określenie ruchliwości mieszkańców danego obszaru tj. podstawowych parametrów niezbędnych na pierwszym etapie tworzenia czterostopniowego modelu transportowego. Ma to fundamentalne znaczenie przy realizacji tych modeli ruchu.

### **3.4. PRZEGLĄD REALIZACJI PRAC STUDIALNYCH W POLSCE Z UŻYCIEM MODELI TRANSPORTOWYCH**

Modelowanie ruchu w sieciach transportowych jest złożone, szczególnie złożone jest w obszarach miejskich. Taki obszar jest bowiem miejscem silnego oddziaływania różnych czynników społeczno-gospodarczych, technicznych, organizacyjnych i ekonomicznych. Wpływa to na funkcjonowanie poszczególnych podsystemów transportowych, które z jednej strony charakteryzują się odrębnymi cechami, a z drugiej - są od siebie zależne. Dlatego dość często powstaje narzędzie – model transportowy, które pomagają w podejmowaniu wielu decyzji władzom terytorialnym.

W końcu lat 50-tych opracowano pierwsze prognozy ruchu z zastosowaniem modelu grawitacyjnego i komputerów produkcji krajowej (ZAM1 i ZAM2). W latach 60-tych, modele i prognozy ruchu wykorzystywano nie tylko w planowaniu systemów transportowych, ale także rozwoju miast. Przykładem jest metoda optymalizacji warszawskiej, wykorzystywana w mia-

stach polskich oraz zagranicznych. W latach 70-tych uzyskano dostęp do programów amerykańskich UTPS dla komputerów IBM360/370 i RIAD32 i zastosowano je w wielu miastach polskich. Wiarygodność modeli i prognoz ruchu wzbogacono przez badania zachowań transportowych. W roku 1996, w ramach „Studium układu autostrad i dróg ekspresowych”, zbudowano pierwszy model ruchu na sieci drogowej. Model ten był aktualizowany w kolejnych studiach dotyczących rozwoju dróg krajowych. W latach 2007-2008, w ramach prac nad „Master Plan dla transportu kolejowego w Polsce do 2030 roku”, zbudowano krajowy model ruchu kolejowego. W roku 2012, na konferencji „Modeling”, przedstawiono koncepcję połączenia modelu drogowego i kolejowego w jeden wspólny system prognozowania ruchu na poziomie krajowym. W ramach zrealizowanego w latach 2016-2019 projektu „Zasady prognozowania ruchu drogowego z uwzględnieniem innych środków transportu – INMOP 3”, zbudowano krajowy multimodalny drogowo-kolejowy model transportowy [Sucharzewski et al. 2020].

Do obecnego roku 2023 zbudowano wiele modeli dla miast jak i większych obszarów np. dla dużych miast takich jak: Warszawa, Kraków, Poznań, Bydgoszcz, Toruń, Gdańsk, Wrocław, Łódź, ale jak i dla mniejszych np. Elbląg, Nakło nad Notecią co przedstawiono m.in. w pracach [Jamroz et al. 2010; Szczuraszek et al. 2012; KBR Kraków 2013; Szczuraszek et al. 2015; Szczuraszek et al. 2017; Studium transportowe subregionu centralnego województwa śląskiego 2018]. Ponadto wykonywane są modele dla większych obszarów, a wykonano dla np. województwa kujawsko-pomorskiego, dla aglomeracji trójmiejskiej (Gdynia-Sopot-Gdańsk), dla konurbacji dolnośląskiej, dla aglomeracji warszawskiej czy krakowskiej. To tylko część z wykonanych modeli transportowych w Polsce.

Jedną z największych planowanych inwestycji ostatnich lat w Polsce jest budowa Centralnego Portu Komunikacyjnego (CPK). W ramach tej inwestycji wykonanych będzie 12 tras kolejowych, w tym 10, tzw. szprych prowadzących z różnych regionów Polski do Warszawy i CPK. Ponadto będzie wykonanych 30 zadań inwestycyjnych i 1981 km nowych linii kolejowych. Dla tego zadania został zbudowany prognostyczny model transportowy, który uwzględniał transport drogowy, kolejowy i lotniczy. Wyniki analiz sieciowej prognozy ruchu pozwoliły wskazać, że realizacja inwestycji CPK pozwoli na zwiększenie oferty przewozowej i dwukrotny wzrost liczby pasażerów w pociągach dalekobieżnych w Polsce. [www.cpk.pl] Taki wniosek można postawić przede wszystkim na podstawie analiz wykonanych przy użyciu modeli transportowych.

### 3.5. PODSUMOWANIE

Pierwsze próby matematycznego opisu przepływu potoków ruchu w sieci transportowej miały miejsce ponad sto lat temu. Jednak pomimo znacznego po-

stępu techniki i możliwości zastosowania coraz wydajniejszych narzędzi informatycznych, jak dotąd nie opracowano uniwersalnej teorii, która mogłaby w sposób kompleksowy opisywać rzeczywiste warunki ruchu. Stosowane obecnie modele budowane są zarówno na podstawie metod empirycznych, jak i teoretycznych [Żochowska 2014].

Modele popytu transportowego wykorzystywane w planowaniu potoków ruchu danych obszarów, składają się z kilku modeli cząstkowych. W klasycznym ujęciu, opartym na podstawach teorii mikroekonomicznej np. [Henderson, Quandt 1958; Mitchell, Rapkin 1954], obejmuje on cztery części, które jednocześnie są odwzorowaniem matematycznym kolejnych etapów powstawania ruchu w sieci obszaru analizy. Czterostopniowy model popytu opiera się na podejściu behawioralnym zakładającym, że użytkownicy dróg zachowują się w sposób racjonalny przy podejmowaniu decyzji o potrzebie, czasie, miejscu i sposobie przemieszczania w sieci drogowej. W takim ujęciu funkcja celu definiowana z punktu widzenia użytkownika jest różnicą pomiędzy korzyściami, wynikającymi z połączenia dwóch działalności realizowanych w odrębnych lokalizacjach geograficznych a kosztami realizacji samego przemieszczenia (np. koszt paliwa, czas podróży, itp.). Istotne jest zróżnicowanie tej funkcji z punktu widzenia poszczególnych grup użytkowników. Oznacza to, że każdy z nich wybiera określony punkt docelowy, środek transportu oraz drogę, po której będzie odbywać się przemieszczenie w taki sposób, aby różnica pomiędzy jego subiektywnymi korzyściami a kosztami była maksymalna [Steenbrink 1978].

Matematyczne modele ruchu są narzędziem uniwersalnym. Stosowane są z powodzeniem w wielu krajach, w tym w Polsce. Oczywiście każdy z nich zależy od okoliczności w jakich jest wykonywany, w tym charakterystyki zachowań transportowych mieszkańców obszaru, poziomu rozwoju cywilizacyjnego i gospodarczego społeczeństwa, poziomu zamożności społeczeństwa, warunków kulturowych itd. W kształtowaniu się popytu na ruch drogowy niebagatelną rolę odgrywają także cechy regionalne. Jedną z zasadniczych wad klasycznych modeli popytu jest utrata wielu szczegółowych informacji o sposobie realizacji poszczególnych przemieszczeń na skutek agregacji do poziomu podróży. W związku tym w modelowaniu potoków ruchu coraz częściej wykorzystuje się modele oparte na aktywnościach, w których uwzględnia się zależności pomiędzy pojedynczymi łańcuchami przemieszczeń realizowanymi przez poszczególne osoby lub gospodarstwa domowe w ciągu doby. [Cascetta 2009]

Omówione publikacje prezentują tylko część wiedzy w tym zakresie i co zrozumiałe nie zamykają problematyki. Teoria, a przede wszystkim praktyka postępowania przy realizacji poszczególnych modeli nieustannie kształtuje i rozwija się w konfrontacji z kolejnymi problemami natury badawczej jak i implikacyjnej. Wiele z modeli opisujących zależności i charakterystykę uczestników ruchu drogowego w kontekście generowania podróży stanowi opracowania związane z realizacją poszczególnych projektów uzależnionych od opisu przedmiotu zamówienia czy budżetu. Należy przy tym podkreślić, że dobór

wielkości opisujących ruch zmienia się także w zależności od potrzeb badań. Stąd też obecnie stan wiedzy odnosi się w dużej mierze do badań na podstawie wykonywanych modeli opracowanych przez poszczególne jednostki badawczo-projektowe na potrzeby prowadzonych analiz. Z powodu braku kompleksowych opracowań o charakterze metodologicznym, potrzeba szerszego opracowania problematyki szacowania wielkości ruchu generowanego przez poszczególne grupy uczestników ruchu wydaje się pilna i aktualna. Założenie optymalizacji kosztowej związanej z prowadzeniem badań zachowań transportowych jest naturalną konsekwencją upowszechniania metody matematycznego modelowania ruchu. Zadaniem systemów transportowych nie jest sama realizacja przemieszczenia, ale również spełnienie przy tym określonych warunków, wynikających z założeń o charakterze operacyjnym czy strategicznym. Akceptacja określonych warunków ruchu i związanej z nimi jakości przemieszczania się ma charakter subiektywny i zależy zarówno od cech użytkownika drogi, rodzaju podróży oraz funkcji i lokalizacji elementów sieci transportowej. Tym bardziej badania ukierunkowane na analizy ruchliwości grup osób jednorodnych zachowań transportowych wydają się elementem kluczowym przy poprawnym konstruowaniu modeli prognostycznych. Jednocześnie opracowanie takie powinno być na tyle ogólne, aby mogło posłużyć do wyznaczania wartości generowanych podróży na podstawie stosunkowo łatwo dostępnych informacji dotyczących charakterystyki społeczności lokalnej. Efektywne wykorzystywanie danych dostępnych publicznie możliwe będzie po wyznaczeniu i analizie funkcji ruchliwości dla poszczególnych grup osób jednorodnych zachowań transportowych i par motywacji podróży. Takie działanie umożliwi symulację, ocenę i porównanie różnych wariantów i na tej podstawie dokonywanie bieżących ingerencji w systemach transportowych. Podstawowym elementem koncepcji modelowania jest pozyskanie informacji o liczbie, źródłach i celach wykonywanych podróży. Nieustanny rozwój technologii umożliwiający wykorzystanie nowoczesnych technik i narzędzi modelowania zdaje się znacząco wyprzedzać analizy o charakterze metodologicznym. Zbiór środków technicznych umożliwiających choćby monitorowania przejazdów rośnie i tanieje, obejmując – oprócz świadomie użytkowanych aplikacji mobilnych – w pełni pasywne metody śledzenia, oparte na monitoringu wizyjnym, systemach parkowania, a w przyszłości zapewne dane dostarczone przez producentów samochodów i wypożyczalnie [Kamola, Wesołowski 2019]. Postępująca łatwość w uzyskaniu danych jednostkowych ułatwi modelowanie pod warunkiem opracowania poprawnych i ekonomicznie zasadnych metod ich analizy.

## 4. KONSTRUKCJA BAZY DANYCH O ZACHOWANIACH TRANSPORTOWYCH MIESZKAŃCÓW

### 4.1. CHARAKTERYSTYKA ŹRÓDEŁ DANYCH

W Polsce najczęściej do budowy modeli opisujących liczbę wykonywanych podróży przez osoby z grupy jednorodnych zachowań transportowych dla danej pary motywacji (podrozdział 5.3) w ciągu doby typowego dnia roboczego, wykorzystywane były wyniki badań ankietowych zachowań transportowych mieszkańców, które były przeprowadzane przez różne ośrodki naukowe oraz firmy prywatne. Na potrzeby niniejszej pracy zostały one uporządkowane i zagregowane. Do analiz autorka pracy wytypowała kilka regionów w Polsce, w których były wykonywane badania ankietowe zachowań transportowych. Regiony dobrano pod względem wybranych kryteriów, a mianowicie: zróżnicowana liczba mieszkańców w poszczególnych obszarach, zróżnicowane położenie na terenie kraju, wielkość próby ankietowanych zachowań transportowych oraz możliwości pozyskania szczegółowych danych niezbędnych do określania charakterystyk poszczególnych grup osób jednorodnych zachowań transportowych. Na wniosek autorki pracy wyniki badań ankietowych zostały udostępnione przez wybrane ośrodki naukowe, instytucje samorządów terytorialnych czy stron internetowych jednostek administracyjnych, a mianowicie:

1. Katedry Inżynierii Drogowej, Transportu i Geotechniki Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich (dawniej UTP w Bydgoszczy) wykonanych:
  - na terenie województwa kujawsko-pomorskiego,
  - w Bydgoszczy,
  - w Toruniu,
  - oraz innych mniejszych miejscowościach [Szczuraszek et al. 2012, Szczuraszek et al. 2015, Szczuraszek et al. 2017];
2. Politechniki Krakowskiej:
  - w Warszawie i okolicach [Szarata et al. 2015],
  - w Krakowie i okolicach [Szarata et al. 2012];
3. Biura Rozwoju Gdańska:
  - w Gdańsku [VIA Visutla 2016];
4. Związku Gmin i Powiatów Subregionu Centralnego Województwa Śląskiego:
  - na terenie województwa śląskiego, – konurbacji górnośląskiej (obejmowały w szczególności: Katowice, Gliwice, Chorzów, Bytom) [Studium transportowe subregionu centralnego województwa śląskiego, Warszawa 2018].

Na etapie realizacji przetargów dla zadań związanych z budową modeli transportowych, zobowiązano wykonawców do wykonania badań ankietowych

zachowań transportowych mieszkańców danego obszaru. Istotnym elementem w kontekście takich analiz jest określenie niezbędnej liczby ankiet zachowań transportowych, które należało wykonać. W wyżej wymienionych badaniach liczba wykonanych ankiet zachowań transportowych mieszkańców spełniała wymogi minimalnej statystycznie liczebności, co sprawdzono na podstawie wzoru [Aczel 2000]:

$$N_{min} = \frac{N_p * Z_{\alpha}^2 * f(1-f)}{N_p * d^2 + Z_{\alpha}^2 * f(1-f)} \quad (4.1)$$

gdzie:

- $N_{min}$  – minimalna liczebność próby,
- $N_p$  – liczebność populacji, z której pobierana jest próba,
- $Z_{\alpha}$  – wartość zmiennej normalnej standaryzowanej  $N(0,1)$  dla ustalonej wartości  $1-\alpha$ ; przyjęto 1,96 dla  $\alpha=0,05$ ,
- $f$  – wartość frakcji; przyjęto 0,5,
- $d$  – założony błąd maksymalny, przyjęto na poziomie istotności 0,05.

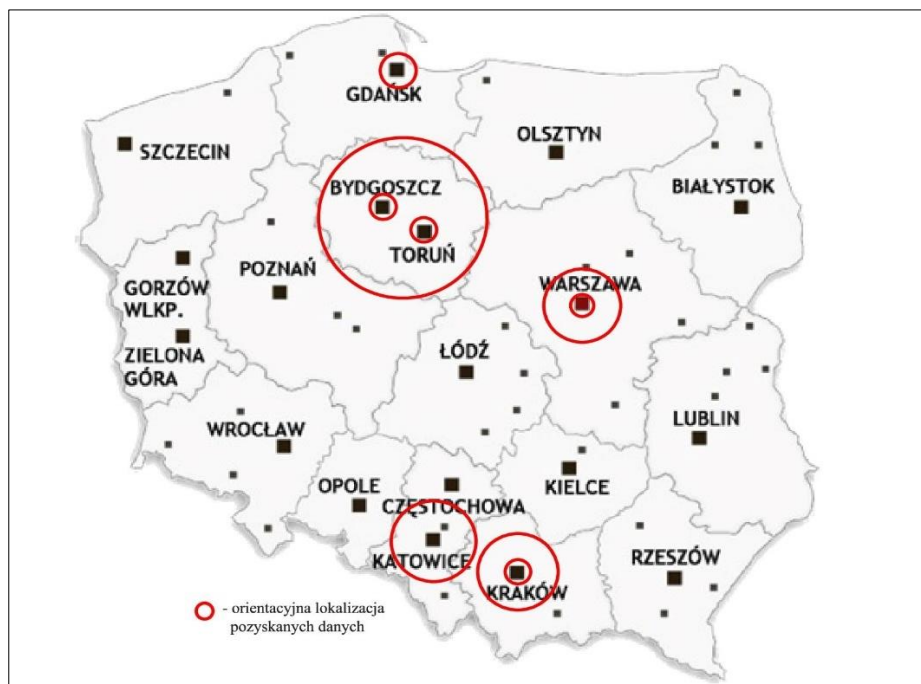
Na podstawie otrzymanych wyników badań ankietowych zachowań transportowych mieszkańców zbudowano bazę danych szczegółowo opisaną w podrozdziale 4.2. Zawiera ona informacje o cechach osób z grup osób jednorodnych zachowań transportowych (m.in. dane o realizacji podróży, tj.: gdzie i czym była wykonywana podróż, jakie było źródło i cel wykonywanej podróży). Autorka pracy pozyskała łącznie 100 134 ankiet transportowych, które były wykonane w 49 220 gospodarstwach domowych, co przekładało się na 221 813 zrealizowanych podróży. W poszczególnych regionach wykonano następującą liczbę ankiet transportowych:

1. województwo kujawsko-pomorskie – łącznie wykonano 21 207 ankiet w 13 655 gospodarstwach domowych co stanowiło ponad 1 % populacji województwa kujawsko-pomorskiego, z czego blisko 8 000 zrealizowano w dwóch „stolicach” województwa Bydgoszczy i Toruniu, co stanowiło prawie 1,5 % populacji obu miast; pozostałeankiety zostały wykonane w obszarach miast, miasteczek, obszarów podmiejskich i gminach, co stanowi ok. 0,9 % populacji obszarów województwa poza miastem Bydgoszcz i Toruń. Rozmieszczenie miejsc prowadzenia badań ankietowych zostało poprzedzone analizą demograficzną całego województwa. Liczba przeprowadzonych wywiadów w poszczególnych obszarach analizy została dobrana proporcjonalnie do liczby mieszkańców, w taki sposób, by w każdym z nich uzyskać reprezentatywną próbę;
2. Warszawa i gminy ościenne – łącznie wykonano 18 784 ankiet w 9 784 gospodarstwach domowych co stanowiło ok. 0,7 % popu-

lacji całego analizowanego obszaru, gdzie ponad 9 000 ankiet zostało wykonanych w Warszawie co stanowiło ponad 0,5 % populacji Warszawy, natomiast pozostałe ankiety zostały wykonane na terenach gmin ościennych miasta stołecznego, co stanowiło ponad 1,0 % populacji terenów poza Warszawą;

3. Kraków i gminy ościenne – łącznie wykonano 16 107 ankiet w 7 129 gospodarstwach domowych, gdzie ponad 13 000 ankiet zostało wykonanych w Krakowie, co stanowiło ponad 1,7 % populacji miasta; natomiast pozostałe ankiety zostały wykonane na terenach gmin ościennych, co stanowiło ponad 1,0 % populacji tego terenu;
4. konurbacja górnośląska – łącznie wykonano 33 932 ankiety w 16 165 gospodarstwach domowych, co stanowiło ok. 1,7 % populacji tego terenu;
5. Gdańsk – ankiety zostały wykonane na terenie miasta Gdańsk, przeprowadzono 10 104 wywiadów ankietowych w 4 951 gospodarstwach domowych. Stanowiło to ok. 2,18 % populacji miasta.

Na rysunku 4.1.1. przedstawiono mapę Polski z zaznaczonymi obszarami, na których były wykonywane badania ankietowe w ramach planów bądź studiów transportowych z których zostały pozyskane wyniki tych badań.

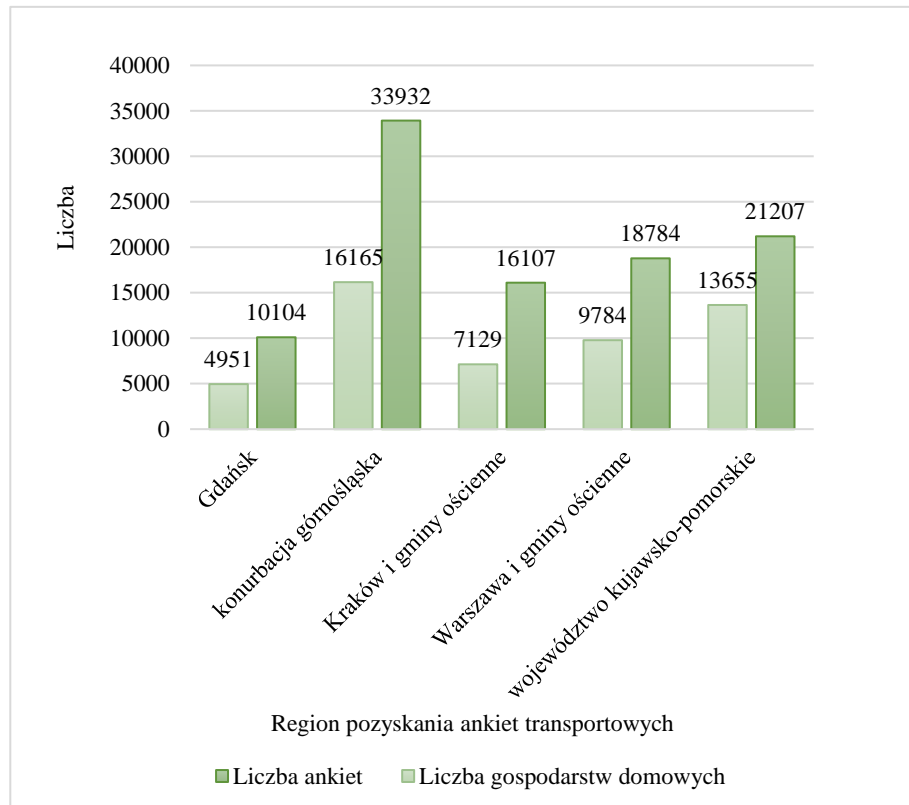


Rys. 4.1.1. Obszary z których pozyskano wyniki badań ankietowych zachowań transportowych [źródło mapy: <https://myshowelove.files.wordpress.com/2016/06/konturowa-mapa-polski-z-miastami.jpg>]

Paulina Olenkowicz-Trempała - Wpływ wybranych czynników na wielkość generowanego ruchu drogowego



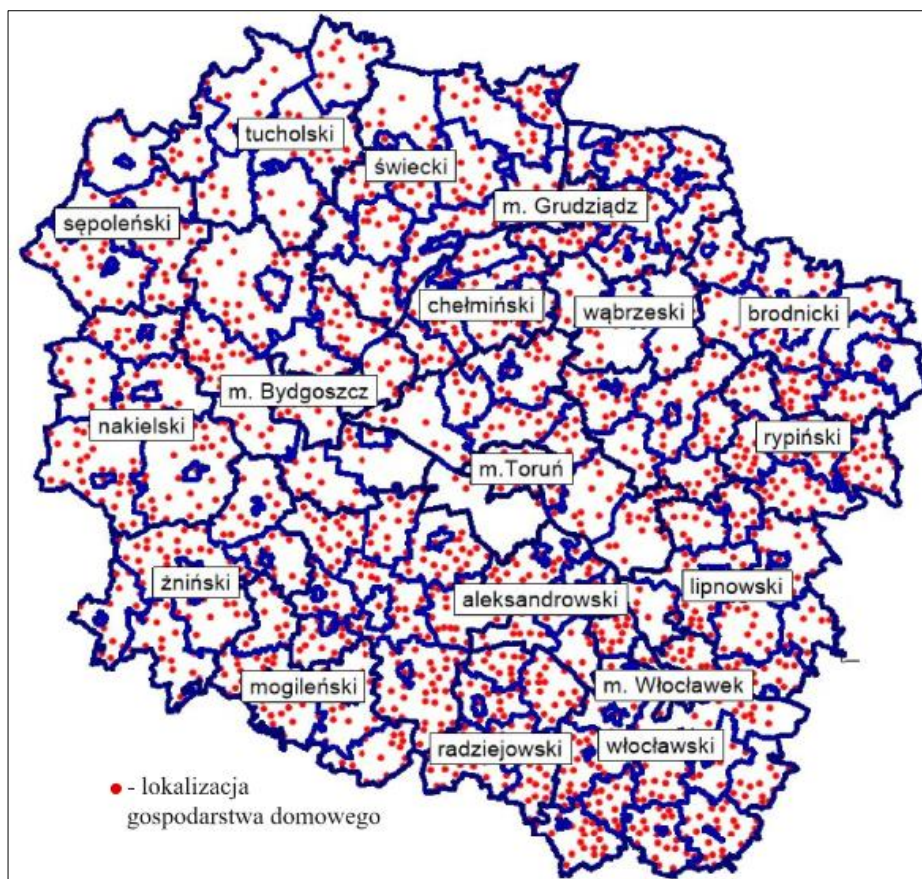
Natomiast na rysunku 4.1.2. przedstawiono graficznie zestawienie liczby wykonanych ankiet zachowań transportowych oraz liczby gospodarstw domowych, w których były przeprowadzone ankiety transportowe z podziałem na obszar wykonywanych badań.



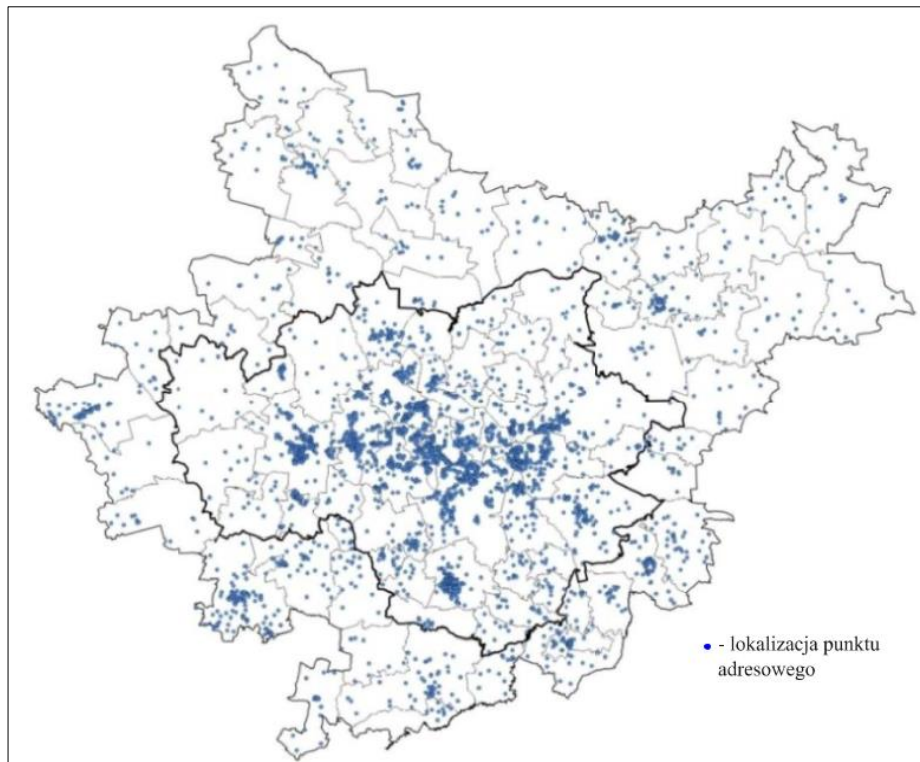
Rys. 4.1.2. Zestawienie liczebności wykonanych ankiet zachowań transportowych oraz gospodarstw domowych, w których były przeprowadzone wywiady ankietowe

Badania zostały przeprowadzone metodą bezpośredniego wywiadu mieszkańców w gospodarstwach domowych. Ankieta była tak skonstruowana, aby umożliwić wyznaczenie wybranych charakterystyk zachowań transportowych osób, niezbędnych w procesie budowy modelu transportowego. Kwestionariusze dotyczyły opisu wykonywanych podróży typowego dnia roboczego (wtorek, środa, czwartek, piątek), poprzedzającego bezpośrednio dzień ankietowania. Ankieterzy odwiedzali wylosowane gospodarstwa domowe, w których przeprowadzali wywiady z każdym członkiem ankietowanego gospodarstwa domowego (za pomocą papierowych formularzy, tabletów lub laptopów) z wyłączeniem osób poniżej 9 roku życia niezależnie od faktu, czy realizowały one podróże (w części ankiet był to wiek poniżej 12 roku życia w zależności

od ośrodka, od którego otrzymano ankiety). Wiarygodność zbieranych danych była weryfikowana poprzez wewnętrzny system kontroli jakości oraz osoby wprowadzające na bieżąco dane z formularzy ankietowych do bazy danych. W niektórych pracach poprawność wykonywanych badań ankietowych weryfikowano telefonicznie, a mianowicie czy dana ankieta została wykonana oraz czy zgadzają się podstawowe dane podane przez osoby w gospodarstwie, np. liczba osób w gospodarstwie domowym, wiek respondenta itp. Na rysunkach 4.1.3. i 4.1.4, przedstawiono przykładowe rozmieszczenie gospodarstw domowych lub punktów adresowych, ankietowanych osób dla projektów wykonanych w ramach prac [Szczuraszek et al. 2012; Studium transportowe subregionu centralnego województwa śląskiego 2018].



Rys. 4.1.3. Rozmieszczenie punktów gospodarstw domowych na przykładzie badań wykonywanych w ramach zadania [Szczuraszek et al. 2012].



Rys. 4.1.4. Rozmieszczenie punktów adresowych na przykładzie badań wykonywanych w ramach Studium transportowego subregionu centralnego województwa śląskiego [źródło mapy: <http://www.subregioncentralny.pl>]

Jako przykładowy wzór formularza do badań ankietowych zachowań transportowych przedstawiono formularz użyty w ramach wykonania zadania [Studium transportowe województwa kujawsko-pomorskiego na potrzeby planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego 2015] (rys. 4.1.5. i 4.1.6.). Zawiera on takie dane, jak:

- rok urodzenia,
- miejsce zamieszkania,
- status zawodowy np. osoba niepracująca, pracująca, ucząca się itp.,
- posiadanie środka transportowego lub posiadanie środka transportowego do dyspozycji,
- dziennik podróży zawierający informacje o:
  - źródle podróży,
  - celu podróży,
  - czasie rozpoczęcia i zakończenia podróży,
  - odległości od źródła do celu podróży,
  - środkach transportowych wykorzystanych do podróży.

Katedra Budownictwa Drogowego UTP w Bydgoszczy - praca magisterska

1

**ANKIETA KOMUNIKACYJNA**

1

Cane o osobach zamieszkujących w gospodarstwie domowym (powyżej 9 lat)

1

nr strony

Ankieter

3

14

Nr gospodarstwa domowego

Numer bieżący osoby w gospodarstwie

1

**OPIS ANKIETOWANEGO**

Rok urodzenia 1984

Adres osoby Bydgoszcz, Tworchińskiego 13  
(miejscowość, ulica, nr domu)

Płeć    mężczyzna     kobieta

**STATUS ZAWODOWY OSOBY**

Niepracująca zawodowo  
gospodarcz/gospodyni  
rencista/ka/emeryt/ka  
bezrobotny/na

Ucząca się  
szkół podstawowa (powyżej 9 lat)  
gimnazjum  
szkół ponadgimnazjalna  
szkół wyższa/pomaturalna

Pracująca zawodowo

**POSIADANY ŚRODEK TRANSPORTOWY**

Prywatny	Służbowy
<input checked="" type="checkbox"/> samochód osobowy <input type="checkbox"/> więcej niż 1 samochód osobowy <input type="checkbox"/> samochód dostawczy <input type="checkbox"/> motocykl/motorower <input type="checkbox"/> rower	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

**Odwiedziny w gospodarstwie domowym**

Jak często osoba ankietowana jest odwiedzana w gospodarstwie domowym przez inne spoza budynku osoby w celach prywatnych (przeciętna liczba odwiedzin w ciągu tygodnia)?

5

Uwagi:

Rysunek 4.1.5. – Przykładowa ankieta transportowa wykorzystywana w badaniach-strona nr 1 [źródło: Studium transportowe województwa kujawsko-pomorskiego na potrzeby planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego 2015]

Paulina Olenkowicz-Trempała - Wpływ wybranych czynników na wielkość generowanego ruchu drogowego

Katedra Budownictwa Drogowego UTP w Bydgoszczy - p											
Ankieta komunikacyjna											
Dane o jazdach (rodzajach) trasy zamieszkujących w gospodarstwie domowym (powierzchnia 0 lat):											
nr strony		Ankieter									
147		3									
Nr gospodarstwa domowego					Nr bieżącej osoby w gospodarstwie						
					1						
Nr jazdy/dojścia		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
POCZĄTEK [jazdy/dojścia] <small>(godzina, minuta)</small>		6:30	15:00	18:00							
LOKALIZACJA ZRODŁA [jazdy/dojścia]	w badanym obszarze <small>(ulica, nr domu)</small>	Tramwajowa 15	Władz. Bydgoszcz	Władz. Bydgoszcz							
	poza badanym obszarem <small>(nazwa miejscowości)</small>										
ZRODŁO [jazdy/dojścia]	miejsce pracy		X								
	szkoła/uczelnia			X							
	sprawy służbowe				X						
	sprawy prywatne										
	zakupy detaliczne										
	dom	X									
	rekreacja										
	inny (jak?)										
ŚRODEK transportowy	pieszo										
	rower										
	motorowy (motocykl)										
	samochód (jako kierowca)	X	X	X							
	samochód osobowy (jako pasażer)										
	autobus										
	kolej										
	inny (jak?)										
BILET transport. publ.	jednorazowy										
	miesięczny										
	brak opłaty										
	inny (jak?)										
LOKALIZACJA CELU [jazdy/dojścia]	w badanym obszarze <small>(ulica, nr domu)</small>	Władz. Bydgoszcz	Władz. Bydgoszcz	Tramwajowa 15							
	poza badanym obszarem <small>(nazwa miejscowości)</small>										
CEL [jazdy/dojścia]	miejsce pracy	X									
	szkoła/uczelnia		X								
	sprawy służbowe										
	sprawy prywatne										
	zakupy detaliczne										
	dom				X						
	rekreacja										
	inny (jak?)										
KONIEC [jazdy/dojścia] <small>(godzina, minuta)</small>		7:00	15:20	18:45							
ODLEGŁOŚĆ [jazdy/dojścia] <small>(km)</small>		12 km	5 km	7 km							

Rysunek 4.1.6. – Przykładowa ankieta transportowa wykorzystywana w badaniach – strona nr 2 [źródło: Studium transportowe województwa kujawsko-pomorskiego na potrzeby planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego 2015]

W tabeli 4.1.1. przedstawiono zestawienie charakterystycznych atrybutów z punktu widzenia cech użytkowników dróg, jak i cech związanych z rodzajem wykonywanych podróży, które pozyskane były w ramach wykonywanych ankiet zachowań transportowych mieszkańców dla obszarów rozpatrywanych przez autorkę pracy. Pozyskane dane były niezbędne na potrzeby niniejszej pracy, ponieważ zostały one użyte do budowy bazy danych, na podstawie której opracowano matematyczne modele generowania ruchu drogowego. W omawianej tabeli zawarto informacje dotyczące:

- podziału grup osób o jednorodnych zachowaniach transportowych,
- rodzaju motywacji podróży,
- rodzaju środka transportowego wykorzystanego podczas podróży,
- roku urodzenia,
- płci,
- posiadania pojazdu do dyspozycji,
- adresu miejsca zamieszkania lub rejonu miejsca zamieszkania,
- minimalnej odległości podróży.

Tab. 4.1.1.1. Zestawienie charakterystyk badań ankietowych przeprowadzonych w poszczególnych regionach kraju

Lp.	Miejsce przeprowadzonych badań	Kod regionu	Grupy osób	Rok urodzenia	Płeć	Środek transportowy do dyspozycji	Rejon zamieszkania/adres zamieszkania	Środek podróży	Motywacje podróży	Odległość podróży
1	Teren województwa kujawsko-pomorskiego	WKP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- osoby pracujące posiadające samochód do swojej wyłącznej dyspozycji,</li> <li>- osoby pracujące nieposiadające samochodu do swojej wyłącznej dyspozycji,</li> <li>- osoby niepracujące posiadające samochód do swojej wyłącznej dyspozycji,</li> <li>- osoby niepracujące nieposiadające samochodu do swojej wyłącznej dyspozycji,</li> <li>- osoby niepracujące nieposiadające samochodu do swojej wyłącznej dyspozycji,</li> <li>- uczniowie szkół podstawowych i gimnazjów,</li> <li>- uczniowie szkół średnich,</li> <li>- studenci w trybie studiów stacjonarnych,</li> <li>- rencista/emeryt,</li> <li>- bezrobotna, gospodarz/gospodyni,</li> <li>- pozostali</li> </ul>	tak	tak	tak	tak	<ul style="list-style-type: none"> <li>- samochód osobowy jako kierowca,</li> <li>- samochód osobowy jako pasażer,</li> <li>- taxi,</li> <li>- pociąg,</li> <li>- autobus miejski,</li> <li>- mikrobus,</li> <li>- autobus regionalny,</li> <li>- pieszo,</li> <li>- inny</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dom,</li> <li>- szkoła,</li> <li>- uczelnia,</li> <li>- praca,</li> <li>- zakupy</li> </ul> detaliczne, <ul style="list-style-type: none"> <li>- centrum handlowego,</li> <li>- sprawy prywatne</li> </ul>	Przebieżanie powyżej 250 m

Cd. tab. 4.1.1.

Lp.	Miejsce przeprowadzonych badań	Kod regionu	Grupy osób	Rok urodzenia	Płeć	Środek transportowy do dyspozycji	Rejon zamieszkania/adres zamieszkania	Środek podróży	Motywacje podróży	Odległość podróży
2	Gdańsk	GD	uczeń szkoły podstawowej, uczeń gimnazjum, uczeń szkoły średniej, student, pracujący poza domem, pracujący w domu, rencista/emeryt, bezrobotny, pozostali	tak	tak	tak	tak	– samochód osobowy jako kierowca, – samochód osobowy jako pasażer, – samochód dostawczy, – pieszo, – pociąg regionalny, – Szybka Kolej Miejska i Metropolitalna, – tramwaj, – autobus komunikacji miejskiej, – autobus regionalny, – autobus szkolny lub zakładowy, – mikrobus, – rower, – motocykl, skuter, – taxi, – inny	– dom, – praca, – szkoła – podstawowa, – gimnazjum, – średnia, – wyższa uczelnia, – zakupy, usługi, – centrum handlowe, galeria, – rozrywka, – wypoczynek, – załatwianie spraw służbowych – w czasie pracy, – hotel, – podwożenie do/z lotniska, – przesiadka na Dworcu Głównym, – inne	Przebieg powyżej 250 m

Paulina Olenkowicz-Trempała - Wpływ wybranych czynników na wielkość generowanego ruchu drogowego



Cd. tab. 4.1.1.

Lp.	Miejsce przeprowadzonych badań	Kod regionu	Grupy osób	Rok urodzenia	Płeć	Środek transportowy do dyspozycji	Rejon zamieszkania/adres zamieszkania	Środek podróży	Motywacje podróży	Odległość podróży
3	Warszawa i gminy ościennie	WA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pracujący poza domem,</li> <li>- pracujący w domu,</li> <li>- uczeń,</li> <li>- student,</li> <li>- emeryt/rencista,</li> <li>- pozostali</li> </ul>	tak	tak	tak		<ul style="list-style-type: none"> <li>- samochodem</li> <li>- osobowy jako kierowca,</li> <li>- samochodem osobowy jako pasażer,</li> <li>- pieszo,</li> <li>- autobusem,</li> <li>- metrem,</li> <li>- tramwajem,</li> <li>- pociągim,</li> <li>- rowerem,</li> <li>- motocyklem,</li> <li>- skuterem,</li> <li>- motorowerem,</li> <li>- autobusem/mikrobusem pozamiejskim,</li> <li>- innym pojazdem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dom,</li> <li>- praca,</li> <li>- szkoła,</li> <li>- wyższa uczelnia,</li> <li>- miejsce zakupu, korzystania z usług,</li> <li>- rozrywki w dużym centrum handlowym,</li> <li>- miejsce zakupu, korzystania z usług, rozrywki poza dużym centrum handlowym,</li> <li>- inne</li> </ul>	Przebieg nie powyżej 250 m

Cd. tab. 4.1.1.

Lp.	Miejsce przeprowadzonych badań	Kod regionu	Grupy osób	Rok urodzenia	Płeć	Środek transportowy do dyspozycji	Rejon zamieszkania/adres zamieszkania	Środek podróży	Motywacje podróży	Odległość podróży
4	Kraków i gminy ościenne	KR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pracujący poza domem,</li> <li>- pracujący w domu,</li> <li>- uczeń szkoły podstawowej,</li> <li>- uczeń gimnazjum,</li> <li>- uczeń szkoły średniej,</li> <li>- student,</li> <li>- emeryt/rencista,</li> <li>- bezrobotny,</li> <li>- pozostali</li> </ul>	tak	tak	tak		<ul style="list-style-type: none"> <li>- samochód osobowy</li> <li>- jako kierowca,</li> <li>- samochód osobowy jako pasażer,</li> <li>- pieszo,</li> <li>- tramwaj,</li> <li>- autobus miejski,</li> <li>- mikrobus,</li> <li>- pociąg,</li> <li>- autobus pozamiejski,</li> <li>- taxi,</li> <li>- rower,</li> <li>- motocykl,</li> <li>- motorower,</li> <li>- samochód dostawczy,</li> <li>- inne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dom,</li> <li>- praca,</li> <li>- nauka,</li> <li>- zakupy, usługi, urzędy,</li> <li>- wypoczynek,</li> <li>- rozrywka, rekreacja, sport, wizyta, odwiedziny (znajomi, rodzina),</li> <li>- załatwianie spraw służbowych w ramach wykonywanej pracy,</li> <li>- podwożenie/odprowadzanie innych osób,</li> <li>- inne</li> </ul>	Prze-mieszczanie powyżej 250 m

Paulina Olenkiewicz-Trempała - Wpływ wybranych czynników na wielkość generowanego ruchu drogowego

Cd. tab. 4.1.1.

Lp.	Miejsce przeprowadzonych badań	Kod regionu	Grupy osób	Rok urodzenia	Płeć	Środek transportowy do dyspozycji	Rejon zamieszkania/adres zamieszkania	Środek podróży	Motywacje podróży	Odległość podróży
5	Konurbacja górnośląska	KAT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pracujący poza domem,</li> <li>- pracujący w domu,</li> <li>- uczeń szkoły podstawowej,</li> <li>- uczeń gimnazjum,</li> <li>- uczeń szkoły średniej,</li> <li>- student,</li> <li>- emeryt/ rencista,</li> <li>- bezrobotny,</li> <li>- pozostali</li> </ul>	tak	tak	tak		<ul style="list-style-type: none"> <li>- samochodem osobowym jako kierowca,</li> <li>- samochodem osobowym jako pasażer,</li> <li>- pieszo,</li> <li>- tramwajem,</li> <li>- trolejbusem,</li> <li>- autobusem miejskim</li> <li>- pociągami,</li> <li>- rowerem,</li> <li>- samochodem ciężarowym,</li> <li>- innym środkiem transportu (autobus pozamiejski, bus, taxi),</li> <li>- inną kombinacją</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dom,</li> <li>- praca,</li> <li>- szkoła,</li> <li>- uczelnia,</li> <li>- miejsce robienia zakupów lub korzystania z usług,</li> <li>- miejsce rozrywki, rekreacji, wypoczynku,</li> <li>- miejsce odwiedzin u rodziny lub znajomych,</li> <li>- miejsce załatwiania spraw służbowych,</li> <li>- miejsce podwożenia lub odprowadzania, urząd, miejsce załatwiania spraw administracyjnych, przychodnia, szpital, wizyta u lekarza,</li> <li>- inne miejsce</li> </ul>	Przebieżnie powyżej 250 m

W ramach wykonywanych badań ankietowych największymi problemami z jakimi musieli się zmierzyć ankieterzy to:

- odmowa wywiadu,
- nieufność respondentów do osób, które wykonywały badania, szczególnie dotyczyło to tych osób, które nie miały styczności z informacją o prowadzonych badaniach,
- sprawdzanie tożsamości ankietera, co wydłużało proces przeprowadzenia badania,
- lokalizacja wylosowanych punktów adresowych występująca na „zamkniętych” osiedlach, gdzie przeprowadzanie wywiadu było utrudnione ze względu na ograniczony fizycznie dostęp,
- podawanie nieprawdziwych danych lub niepodawanie ich wcale np. związanych z rokiem urodzenia czy posiadaniem pojazdu samochodowego do dyspozycji.

Przy wykonywaniu tego typu badań, bardzo istotną kwestią było przeszkolenie ankieterów. Biorąc pod uwagę fakt, że badania ankietowe zachowań transportowych mieszkańców wymagają dużego nakładu czasu, kosztów oraz zaangażowania ankieterów, jak i respondentów zasadniczym elementem musi być odpowiednie wykształcenie osób przeprowadzających ankietę. Osoby te powinny, dokładnie wiedzieć, po co i dlaczego tego typu badania są wykonywane, żeby zrozumieć dokładnie ich sens i umieć podejmować decyzję, czy np. opisywany cel podróży przez respondenta jest rzeczywiście celem czy tylko elementem pośrednim w podróży. Jakość ankiety zależy od dobrze przeszkolonych ankieterów, stąd kadra prowadząca badania zachowań transportowych mieszkańców przywiązywała bardzo dużą uwagę do tych szkoleń.

## **4.2. CHARAKTERYSTYKA OPRACOWANEJ BAZY DANYCH**

Baza danych została zbudowana przez autorkę pracy na podstawie danych udostępnionych przez ośrodki wymienione w podrozdziale 4.1. W Polsce nie występują obligatoryjne zasady oraz wytyczne dotyczące przeprowadzania badań ankietowych zachowań transportowych mieszkańców, przez co dane różniły się informacjami, pozyskanymi od respondentów. Różnice te zostały przedstawione w podrozdziale 4.1 (tab. 4.1.1). Dopiero w roku 2018 został opracowany Poradnik [Turek et al., 2018] w jaki sposób należałoby prowadzić badania ankietowe z zakresu mobilności transportowej ludności, natomiast nie jest on stosowany obligatoryjnie m.in. na potrzeby budowania modeli transportowych. W obecnym stanie prawnym istnieje tylko możliwość dokonania zapisu w opisie przedmiotu zamówienia (OPZ), że badania powinny być wykonane na podstawie określonego dokumentu, natomiast nie ma konieczności wykonywania badań na podstawie wyżej wymienionego Poradnika.

Autorka pracy zaczęła sprawdzanie i weryfikowanie danych pod kątem wyznaczenia poszczególnych, jednolitych elementów znajdujących się w wynikach badań ankietowych zachowań transportowych. Należało je pogrupować w taki sposób, aby utworzyć elementy o takich samych lub bardzo zbliżonych do siebie cechach dla wszystkich otrzymanych danych (na rys. 4.2.1. przedstawiono przykładową bazę danych pozyskaną z jednego z ośrodków).

Przykładem obrazującym tworzenie jednolitych elementów może być utworzenie grupy osób o jednorodnych zachowaniach transportowych np. pracujących. W danych z otrzymanych z Politechniki Krakowskiej dotyczących mieszkańców Warszawy i okolic, osoby pracujące podzielone zostały na dwie grupy, takie jak: pracujący poza domem, pracujący w domu. Z kolei w województwie kujawsko-pomorskim grupy te były podzielone na osoby pracujące posiadające samochód do swojej dyspozycji oraz osoby pracujące nieposiadające samochodu do dyspozycji. Dlatego osoby przypisane do powyższych grup zostały połączone i utworzono jedną grupę osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący. W otrzymanych danych porównywano różnice związane z:

- statusami społecznymi/statusami zawodowymi,
- motywacjami podróży - pary motywacji podróży,
- rodzajami wykorzystanych środków transportowych do podróży przez osobę,

aby świadomie utworzyć grupy osób jednorodnych zachowaniach transportowych. Dlatego konieczne było zagregowanie danych tak, aby utworzyć jednolitą bazę dla wszystkich otrzymanych danych. Po analizie powyższych informacji autorka przyjęła następujące podziały:

- grupy jednorodnych zachowań transportowych:
  - uczniowie,
  - studenci,
  - pracujący,
  - emeryci/renciści,
  - pozostali;
- pary motywacji:
  - praca-dom,
  - dom-praca,
  - nauka-dom,
  - dom-nauka,
  - inne-dom,
  - dom-inne,
  - niezwiązane z domem.

lp.	id ankiety	ID ankietera	Waga	Data wywiadu	Rejon transportowy	nr punktu startowego	nr gospodarstwa w go	nr osoby badanej w gosp.	L. osób w gosp. lub więcej	L. osób w wieku 6 lub więcej	L. rowerów w w gosp.	L. samochodów	pleć	Wykształcenie ukończon	Rok urodzenia	Wiek	Przedział wiekowy		
1	101/3/1/1	9 33,91833	07.04.2016	101	3	1	1	2	2	2	2	1	k	0	7	1974	42	20-44	
2	101/3/1/2	9 27,81223	07.04.2016	101	3	1	2	2	2	2	2	2	k	0	0	2005	11	6-19	
3	101/3/2/1	9 39,54096	07.04.2016	101	3	2	1	3	3	3	3	3	m	1	5	1992	24	20-44	
4	101/3/2/2	9 39,54096	07.04.2016	101	3	2	2	2	3	3	3	3	m	1	7	1984	32	20-44	
5	101/3/3/1	9 39,54096	07.04.2016	101	3	3	1	5	5	5	5	5	m	1	7	1974	42	20-44	
6	101/3/3/2	9 27,81223	07.04.2016	101	3	3	2	5	5	5	5	5	k	0	3	1999	17	6-19	
7	101/3/3/3	9 27,81223	07.04.2016	101	3	3	3	2	5	5	5	5	k	0	1	2003	13	6-19	
8	101/3/3/4	9 43,75179	07.04.2016	101	3	4	5	4	5	5	5	5	m	0	7	1970	46	45-64	
9	101/3/3/5	9 21,04352	07.04.2016	101	3	4	1	2	2	2	2	2	m	1	1	2006	10	6-19	
10	101/3/4/1	9 45,54176	07.04.2016	101	3	4	1	2	2	2	2	2	m	1	7	1940	76	65	
11	101/3/4/2	9 66,67963	07.04.2016	101	3	4	2	2	2	2	2	2	k	0	5	1938	78	65	
12	101/3/5/1	9 66,67963	07.04.2016	101	3	5	1	2	2	2	2	2	k	0	7	1944	72	65	
13	101/3/5/2	9 45,54176	07.04.2016	101	3	5	2	2	2	2	2	2	m	1	7	1937	79	65	
14	101/1/1/1	9 45,54176	08.04.2016	101	1	1	1	1	2	2	2	2	m	1	7	1940	76	65	
15	101/1/2/1	9 66,67963	08.04.2016	101	1	2	1	3	3	3	3	3	0	0	5	1946	70	65	
16	101/1/2/2	9 21,04352	08.04.2016	101	1	2	2	2	3	3	3	3	0	0	1	2004	12	6-19	
17	101/1/3/1	9 33,91833	09.04.2016	101	1	3	1	3	3	3	3	3	1	1	7	1979	37	20-44	
18	101/1/3/2	9 39,54096	09.04.2016	101	1	3	2	2	3	3	3	3	1	1	7	1979	37	20-44	
19	101/1/3/3	9 21,04352	09.04.2016	101	1	3	3	3	3	3	3	3	1	1	2005	11	6-19		
20	101/1/4/1	9 66,67963	09.04.2016	101	1	4	1	2	2	2	2	2	1	1	5	1951	65	65	
21	101/1/4/2	9 45,54176	09.04.2016	101	1	4	2	2	2	2	2	2	1	1	4	1950	66	65	
22	101/1/5/1	9 66,67963	09.04.2016	101	1	5	1	5	2	2	2	2	0	0	4	1944	72	65	
23	101/1/5/2	9 45,54176	09.04.2016	101	1	5	2	2	2	2	2	2	0	0	4	1936	80	65	
24	101/2/1/1	9 39,54096	08.04.2016	101	2	1	1	4	4	4	4	4	3	3	1	1993	23	20-44	
25	101/2/2/1	9 43,75179	08.04.2016	101	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	4	1952	64	45-64	
26	101/2/3/1	9 59,51182	08.04.2016	101	2	3	1	3	3	3	3	3	1	1	7	1965	51	45-64	
27	101/2/3/2	9 43,75179	08.04.2016	101	2	3	2	2	3	3	3	3	1	1	0	7	1965	51	45-64
28	101/2/3/3	9 39,54096	08.04.2016	101	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1	5	1994	22	20-44	
29	101/2/4/1	9 39,54096	08.04.2016	101	2	4	1	4	4	4	4	4	3	3	1	1995	21	20-44	
30	101/2/4/2	9 39,54096	08.04.2016	101	2	4	2	4	4	4	4	4	3	3	1	1994	22	20-44	
31	101/2/5/1	9 66,67963	08.04.2016	101	2	5	1	2	2	2	2	2	0	0	5	1948	68	65	
32	101/2/5/2	9 45,54176	08.04.2016	101	2	5	2	2	2	2	2	2	1	1	5	1947	69	65	
33	101/5/1/1	9 66,67963	13.04.2016	101	5	1	1	1	3	3	3	3	0	0	5	1937	79	65	
34	101/5/2/1	9 66,67963	13.04.2016	101	5	2	2	2	2	2	2	2	0	0	5	1937	79	65	
35	101/5/2/2	9 59,51182	13.04.2016	101	5	2	2	2	2	2	2	2	0	0	4	1961	55	45-64	
36	101/5/3/1	9 59,51182	13.04.2016	101	5	3	1	2	2	2	2	2	0	0	4	1958	58	45-64	

Rysunek 4.2.1. – Część przykładowej bazy danych, która była wykonana dla Gdańska [źródło danych: Biuro Rozwoju Gdańsk]

Paulina Olenkowicz-Trempała - Wpływ wybranych czynników na wielkość generowanego ruchu drogowego

Powyższe podziały były wykorzystane na potrzeby niniejszej pracy. Autorka pracy dodatkowo uzupełniła bazę danych zachowań transportowych mieszkańców o inne elementy, mając na uwadze problematykę swoich dalszych prac badawczych tj.:

- rodzaje środków transportowych:
  - pieszo,
  - samochód jako kierowca,
  - samochód jako pasażer,
  - transport publiczny,
  - rower,
  - motocykl,
  - inne;
- wykształcenie;
- typ zabudowy (czy osoba mieszka w budynku wielorodzinnym czy jednorodzinny);
- wiek mieszkańca;
- długości poszczególnych podróży obliczane po sieci transportowej wykonane transportem indywidualnym oraz publicznym transportem zbiorowym;
- czas poszczególnych podróży wykonanych transportem indywidualnym oraz publicznym transportem zbiorowym;
- godzina rozpoczęcia i zakończenia podróży.

Bazę utworzono w programie Microsoft Excel i przyjęto, że każdy rekord to jedna podróż lub jej brak w przypadku niewykonywania podróży przez mieszkańca. W przypadku kiedy podróż nie została wykonana, do rekordu były również przypisane wszystkie cechy charakterystyczne osoby np. status zawodowy, płeć, liczba podróży, numer podróży, wykorzystany środek transportowy do podróży, posiadanie środka transportowego do dyspozycji itd. W taki sposób były analizowane i dostosowywane wyniki badań ankietowych z poszczególnych ośrodków oprócz m.in. danych z województwa kujawsko-pomorskiego, gdzie cechy charakteryzujące osoby były zapisywane w osobnym arkuszu, co skutkowało dłuższą obróbką i dostosowaniem danych do zdefiniowanych wzorców. Na rysunku 4.2.2. przedstawiono przykładową część bazy danych mieszkańców zbudowaną przez autorkę niniejszej pracy.

Kolejnym krokiem było przypisanie rejonu transportowego do miejsca zamieszkania, celu oraz źródła wykonywanych podróży przez osoby. Ta czynność była konieczna, ponieważ dane z województwa kujawsko-pomorskiego zawierały informacje dotyczące miejsca zamieszkania wprowadzone jako punkty adresowe (np. Bydgoszcz, ul. Wojska Polskiego 7), a nie jako numer rejonu transportowego, tak jak występowało to w pozostałych otrzymanych danych.

LP	ID	Dom miejscowość	Typ zamieszkania	Numer podroży	Liczba podroży	Dom rejon	Typ dom	Region centrum	Odstęłość od centrum [km]	Gęstość zaludnienia rejonu [os./km <sup>2</sup> ]	Płec	Rok urodzenia	Wiek	Zawód	Pojazdzenie samochodowe	Atrakcyjność rejonu dom	Liczba przystanków w rejonie dom
2	10005	Bydgoszcz	1	1	3	1041	1025	1025	4,734759	14254	2	1989	21	2	1	22746,595	3
318	10110	Bydgoszcz	1	1	2	1221	1025	1025	4,561911	15626	2	1991	19	2	1	4792,709	1
389	10136	Bydgoszcz	1	1	4	1201	1025	1025	4,632245	15236	2	1988	22	2	1	10648,607	2
688	10239	Bydgoszcz	1	1	2	1385	1025	1025	10,594866	15814	2	1980	30	1	1	3138,023	0
740	10259	Bydgoszcz	1	1	2	1023	1025	1025	13,132577	18339	2	1987	23	2	1	3666,185	0
746	10262	Bydgoszcz	1	1	4	1147	1025	1025	5,193014	18020	2	1988	22	2	1	28781,023	8
766	10269	Bydgoszcz	1	1	4	1392	1025	1025	13,866282	18721	2	1989	21	2	1	6140,096	2
780	10275	Bydgoszcz	1	1	2	1372	1025	1025	12,760444	9234	2	1989	21	2	1	3059,995	0
866	10305	Bydgoszcz	1	1	4	1233	1025	1025	4,382333	3136	2	1988	22	2	1	3314	2
877	10309	Bydgoszcz	1	1	2	1138	1025	1025	4,227718	11590	2	1987	23	2	1	22071,417	6
981	10340	Bydgoszcz	1	1	3	1081	1025	1025	12,897038	19580	2	1991	19	1	1	3477,558	0
1002	10347	Bydgoszcz	1	1	3	1038	1025	1025	4,653726	17253	2	1991	19	1	1	7903,702	1
1134	10383	Bydgoszcz	1	1	8	1423	1025	1025	4,679851	13292	2	1988	22	2	1	6161,77	3
1179	10394	Bydgoszcz	1	1	2	1318	1025	1025	4,050049	12364	2	1988	22	2	1	7230,53	3
1239	10408	Bydgoszcz	1	1	2	1353	1025	1025	16,702137	18148	2	1988	22	2	1	6070,551	0
1372	10452	Bydgoszcz	1	1	6	1004	1025	1025	10,263268	15332	2	1984	26	2	1	6417,611	2
1511	10495	Bydgoszcz	1	1	6	1223	1025	1025	1,469985	17998	2	1988	22	2	1	3912,409	2
1624	10530	Bydgoszcz	1	1	2	1148	1025	1025	10,997187	11773	2	1988	22	2	1	4576,924	1
1628	10532	Bydgoszcz	1	1	2	1159	1025	1025	1,781349	2568	2	1988	22	2	1	39792,514	5
1636	10535	Bydgoszcz	1	1	3	1298	1025	1025	11,245548	10545	2	1986	24	2	1	5933,216	1
1671	10546	Bydgoszcz	1	1	2	1142	1025	1025	5,600134	21538	2	1990	20	2	1	21997,528	9
1675	10548	Bydgoszcz	1	1	2	1142	1025	1025	5,600134	21538	2	1991	19	2	1	14555,375	9
1679	10550	Bydgoszcz	1	1	2	1326	1025	1025	5,832372	10304	2	1988	22	2	1	14555,375	9
1686	10555	Bydgoszcz	1	1	2	1081	1025	1025	12,897038	19580	2	1988	22	2	1	3477,558	0
1698	10560	Bydgoszcz	1	1	2	1266	1025	1025	10,206048	13931	2	1988	22	2	1	4278,8	1
1700	10561	Bydgoszcz	1	1	3	1266	1025	1025	10,206046	13931	2	1989	21	2	1	4278,8	1
1703	10562	Bydgoszcz	1	1	2	1266	1025	1025	10,206046	13931	2	1987	23	2	1	4278,8	1
1733	10580	Bydgoszcz	1	1	4	1395	1025	1025	4,030653	3114	2	1990	20	2	1	5386,599	3
1757	10581	Bydgoszcz	1	1	2	1395	1025	1025	4,030653	3114	2	1991	19	1	1	5386,599	3
1773	10588	Bydgoszcz	1	1	3	1464	1025	1025	12,368556	23760	2	1991	19	1	1	2818,334	0
1887	10639	Bydgoszcz	1	1	4	1137	1025	1025	2,479907	12846	2	1959	51	2	1	5277,064	0
1891	10640	Bydgoszcz	1	1	6	1137	1025	1025	2,479907	12846	2	1986	24	2	1	5277,064	0
1897	10641	Bydgoszcz	1	1	6	1137	1025	1025	2,479907	12846	2	1988	22	2	1	5277,064	0
1908	10643	Bydgoszcz	1	1	4	1137	1025	1025	2,479907	12846	2	1991	19	1	1	5277,064	0
1990	10671	Bydgoszcz	1	1	6	1519	1025	1025	3,650123	4303	2	1988	22	2	1	6563,92	0

Rysunek 4.2.2. – Przykład części bazy danych zachowań transportowych mieszkańców wykonanej w programie „Excel baza danych mieszkańców”



Na podstawie punktów adresowych za pomocą serwisów internetowych, które dysponują danymi geolokalizacyjnymi określono współrzędne geograficzne punktów adresowych, a następnie punkty adresowe zostały przypisane do poszczególnych rejonów transportowych. Czynność ta musiała zostać wykonana z uwagi na konieczność przypisania rejonu transportowego do miejsca zamieszkania, źródła i celu podróży mieszkańców.

Gdy informacje ze wszystkich otrzymanych danych o zachowaniach transportowych mieszkańców zostały ujednolicone przystąpiono do pozyskiwania kolejnych danych m.in. gęstości zaludnienia dla poszczególnych rejonów transportowych. Wszystkie informacje były pozyskiwane na potrzeby budowy modeli transportowych, a przekazane zostały w oprogramowania PTV Visum, co ułatwiało pozyskanie danych, ponieważ były zrealizowane na jednym oprogramowaniu i nie zachodziła konieczność transformacji danych. Z modeli były pozyskiwane informacje o:

- powierzchni rejonu transportowego [km<sup>2</sup>],
- liczbie mieszkańców w rejonie transportowym [os.],
- pracy eksploatacyjnej w rejonie transportowym [poj. km],
- liczbie przystanków publicznego transportu zbiorowego w rejonie transportowym [szt.],
- odległości pomiędzy poszczególnymi rejonami transportowymi liczonymi po sieci drogowej [km].

Nie wszystkie rejonu transportowe miały te informacje, występowały braki w niektórych rejonach z przyczyn autorce nieznanymi.

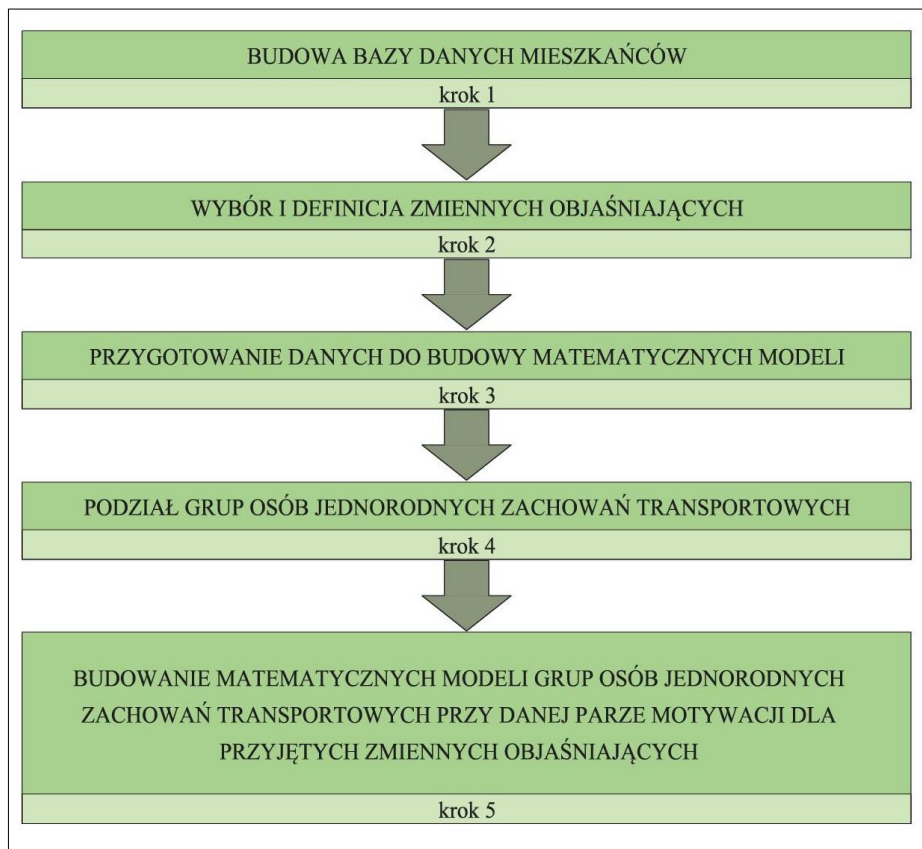
Budowa bazy danych mieszkańców była bardzo czasochłonna. Połączenie wszystkich otrzymanych danych i przygotowanie bazy mieszkańców do budowy pierwszych modeli trwała kilkadziesiąt tygodni. Dostosowanie wyników z ankiet, aby utworzyć grupy osób jak najbardziej do siebie zbliżone w aspekcie danej cechy wymagało wielu analiz i studiowania literatury. Po połączeniu otrzymano łącznie 236 038 rekordów (sumaryczna liczba wprowadzonych podróży i osób przeankietowanych, łącznie z niewykonującymi podróży) w tym 221 813 rekordów to były wykonane podróże przez mieszkańców.

## **5. METODYKA BUDOWANIA MODELI GENEROWANIA RUCHU DROGOWEGO**

### **5.1. ETAPY BUDOWANIA MODELI GENEROWANIA RUCHU**

Z przeglądu literatury wynika, że na liczbę wykonywanych podróży przez mieszkańca na dobę wpływ mają różne czynniki związane z jego cechami [Szczuraszek et al. 2005, Chmielewski et al. 2017, Arian et al. 2021] czy teren, który jest przez niego zamieszkiwany (gęstość zaludnienia, zagospodarowanie przestrzenne itp.). Stąd też poszukiwanie matematycznych modeli wskazujących liczbę wykonywanych podróży przez osobę z grupy jednorodnych zachowań transportowych jest niezmiernie potrzebne po to, aby m. in. zmniejszyć liczbę wykonywanych ankiet przy budowie modeli transportowych, a tym samym zmniejszyć czas wykonywanych badań ankietowych zachowań transportowych mieszkańców. Autorka pracy wytypowała kilka zmiennych objaśniających (szczegółowo opisane w rozdziale 6), aby za pomocą nich móc wyznaczyć ruchliwość dla wskazanych grup osób jednorodnych zachowań transportowych. Zaproponowane zmienne objaśniające najczęściej pochodzą z danych, które są niezbędne do rozpoczęcia prac nad budową modeli transportowych. Istotny jest fakt, że część z tych zmiennych jest pozyskiwana do budowy modeli transportowych na samym początku jego budowy. Dzięki takiej konstrukcji matematycznych modeli opracowywanych w niniejszej pracy pozwalało to na oszacowanie ruchliwości już na początkowym etapie budowy modelu transportowego.

Na rys. 5.1.1. przedstawiono schemat poszczególnych kroków, które były wykonywane podczas tworzenia matematycznych modeli generowania podróży przez grupy osób jednorodnych zachowań transportowych.



Rysunek 5.1.1. – Schemat postępowania podczas wyznaczania matematycznych modeli generowania podróży

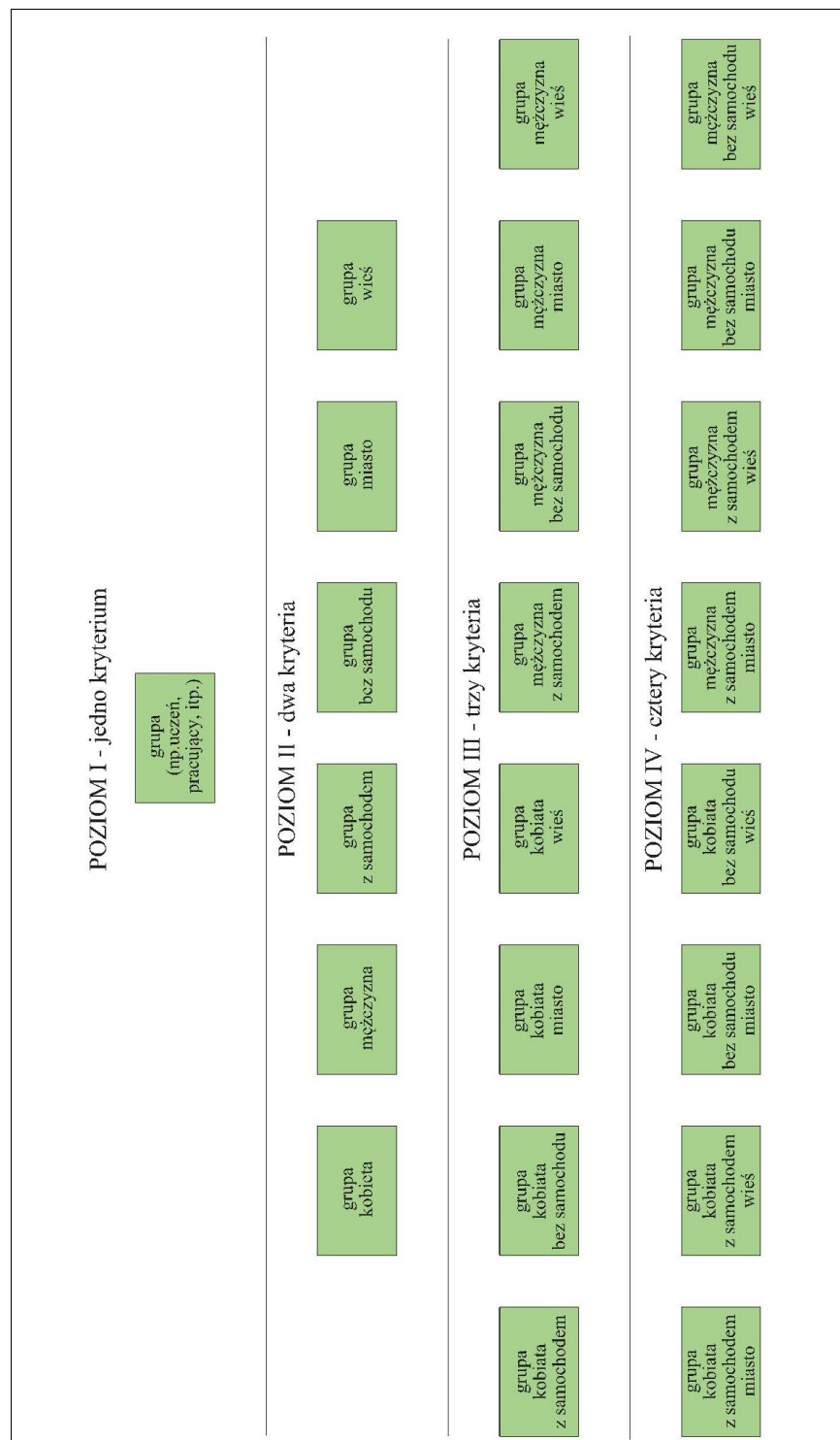
W wyżej przedstawionym sposobie postępowania zostało wyróżnionych kilka kroków, które były niezbędne do opracowania matematycznych modeli generowania podróży:

- **krok 1 – budowa bazy danych** – polegał na odpowiednim i dokładnym opracowaniu charakterystyk mieszkańców (pierwotna baza danych – utworzona baza danych na podstawie informacji zawartych w bazach danych otrzymanych od ośrodków wskazanych w rozdziale 4), która była podstawą do wykonywania analiz i wyznaczenia końcowych matematycznych modeli;
- **krok 2 – wybór i definicja zmiennych objaśniających** – zdefiniowano zmienne objaśniające, które zostały wybrane do dalszych analiz. Podczas wyboru brano pod uwagę dane, które mogłyby być w szybki sposób pozyskane i wykorzystane do obliczenia ruchliwości grup osób jednorodnych zachowań transportowych;

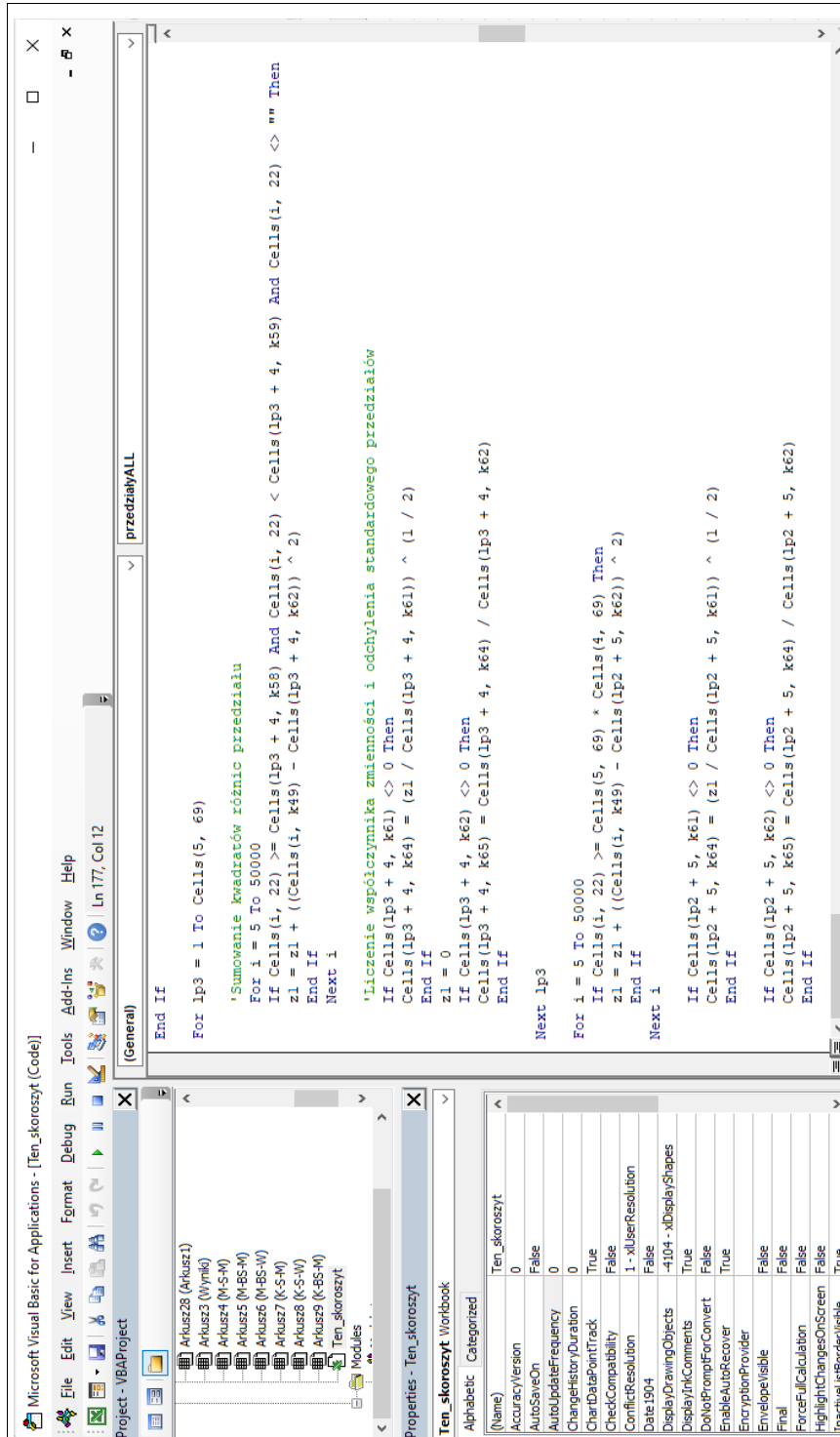
- **krok 3 – przygotowanie danych do budowy matematycznych modeli** – pierwotna baza danych została uzupełniona o brakujące dane, które zostały wytypowane do budowy matematycznych modeli. Dane pozyskane były przede wszystkim ze zbioru danych wykorzystywanych jako „wsad” do budowy modeli transportowych (pozyskanie danych wskazano w tabeli 6.2.1.);
- **krok 4 – podział grup osób jednorodnych zachowań transportowych** - wstępne analizy regresji i korelacji wykazały, że może okazać się konieczne podzielenie grup osób jednorodnych zachowań na bardziej szczegółowe grupy. Podział grup osób jednorodnych zachowań transportowych okazał się niezbędny, co wykazano w rozdziale 7. Przyjęto cztery podziały szczegółowości, każdy z poziomów charakteryzował się liczbą przyjętych kryteriów (od jednego do czterech). Na rys. 5.1.2. za pomocą schematu przedstawiono podział grup osób jednorodnych zachowań transportowych od ogólnego (pierwszy poziom) do najbardziej szczegółowego (poziom czwarty).
- **krok 5 – budowanie matematycznych modeli grup osób jednorodnych zachowań transportowych przy danej parze motywacji dla przyjętych zmiennych objaśniających** – wybór odpowiedniego rodzaju funkcji dla każdej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych dla analizowanych par motywacji podróży oraz każdej zmiennej objaśniającej.

W trakcie analiz autorka napisała kilka programów komputerowych, które znacząco ułatwiały i przyspieszały prace związane z obliczeniami właściwych matematycznych modeli. W związku z tym, że autorka pracy założyła sprawdzanie wielu różnych wariantów, wiązało się to ze znacznym czasem poświęconym na same obliczenia. Dlatego napisano programy komputerowe za pomocą oprogramowania Microsoft Visual Basic for Applications, które usprawniały obliczenia przy wyznaczaniu m.in. ruchliwości dla wybranej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych przy rozważanych parach motywacji dla każdej ze zmiennych objaśniających. Dzięki napisanym programom wykonanie obliczeń trwało kilkadziesiąt dni, a nie jak wstępnie zakładano kilka miesięcy. Na rys. 5.1.3. przedstawiono fragment jednego z programów opracowanego na potrzeby wyliczenia ruchliwości dla grup osób jednorodnych zachowań transportowych.

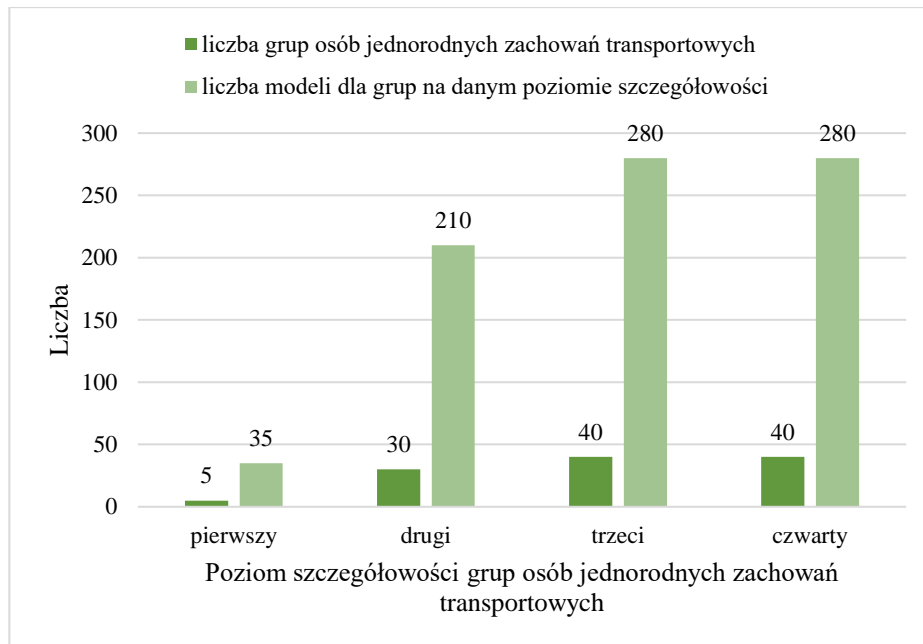
W efekcie autorka pracy spodziewała się uzyskać stosunkowo duże dokładności modeli, a także znacznie szerszą gamę matematycznych modeli, które mają znaczenie aplikacyjne. Na rys. 5.1.4. wskazano liczby grup osób jednorodnych zachowań transportowych oraz liczbę modeli do opracowania dla każdego poziomu szczegółowości dla przyjętych par motywacji podróży. Przedstawione liczebności matematycznych modeli do opracowania stanowią liczebności dla jednej zmiennej objaśniającej.



Rysunek 5.1.2. – Schemat podziału grupy ogólnej na szczegółowe grupy osób jednorodnych zachowań transportowych



Rysunek 5.1.1.3. – Widok fragmentu programu opracowanego na potrzeby wyliczenia ruchliwości



Rysunek 5.1.4. – Liczba grup osób jednorodnych zachowań transportowych oraz liczba opracowanych matematycznych modeli generowania ruchu drogowego przy przyjętych parach motywacji podróży dla każdego poziomu szczegółowości

## 5.2. OGÓLNA METODYKA BUDOWANIA MODELI REGRESJI Z JEDNĄ ZMIENNĄ OBJAŚNIAJĄCĄ

Do budowy matematycznych modeli generowania liczby podróży przez osobę z grupy jednorodnych zachowań transportowych dla przyjętych par motywacji posłużono się analizą regresji i korelacji, gdzie parametry modelu szacowane były metodą najmniejszych kwadratów. Metoda analizy regresji i korelacji jest narzędziem powszechnie wykorzystywanym w badaniach naukowych prowadzonych w dziedzinie inżynierii ruchu drogowego oraz w transporcie, czego przykładem są między innymi prace: [Dybiczy 2001; Frasquet 2001; Chodur 2007; Szczuraszek 2008; Kobe, Lauwerers 2014; Szarata 2012; Szarata 2013].

Ogólna postać matematycznych modeli opisujących liczbę generowanych podróży w dobie przeciętnego dnia roboczego przez osobę z grupy jednorodnych zachowań transportowych zamieszkujących w  $i$ -tym rejonie transportowym dla przyjętych par motywacji w zależności od danej zmiennej objaśniającej przedstawia się następująco:

$$R_{i,OGJZT,m} = f(Zk_i), [\text{podróży osoby/dobę}] \quad (5.1)$$

gdzie:

$R_{i,OGJZT,m}$  – liczba podróży generowanych w dobie przeciętnego dnia roboczego osoby przypisanej do danej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych *OGJZT* zamieszkałej w *i*-tym rejonie transportowym dla pary motywacji *m* w zależności od zmiennej objaśniającej  $Zk_i$  [podróży osoby/dobę];  
 $f(Zk_i)$  – funkcja danej zmiennej objaśniającej.

Dla każdej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych i danej pary motywacji podróży oraz dla każdej ze zmiennych objaśniających analizowano następujące postacie funkcji:

- liniowa,
- logarytmiczna,
- potęgowa,
- wykładnicza,
- wielomianowa 2-go stopnia,
- wielomianowa 3-go stopnia.

Ostateczna postać funkcji dobierana była na podstawie najlepszego dopasowanie danych empirycznych do zbudowanych modeli.

Zmienną objaśnianą w równaniach regresji była ruchliwość osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych przy założonych parach motywacji i zmiennych objaśniających opisanych w rozdziale 6.

Poszukiwanie najlepszych matematycznych modeli do wyznaczenia liczby wykonywanych podróży przez grupy osób jednorodnych zachowań transportowych rozpoczęto od wyznaczenia modeli dla grup ogólnych tj. uczniowie, studenci, pracujący, emeryci/renciści oraz pozostali, a następnie autorka pracy wykonała dalsze podziały grup co wskazano na rys. 5.1.2.

Wyznaczono kilkadziesiąt matematycznych modeli określających liczbę wykonywanych podróży przez osobę z grupy jednorodnych zachowań transportowych. W pracy przedstawiono wszystkie modele na przykładzie grupy pracujący dla wszystkich czterech poziomów szczegółowości. Dla znacznej większości modeli dla poziomu czwartego szczegółowości uzyskano zadowalającą wartość współczynnika determinacji  $R^2$ , co pozwala stwierdzić, że otrzymane matematyczne modele w sposób zadowalający odzwierciedlają warunki rzeczywiste.



## 6. OPIS PRZYJĘTYCH ZMIENNYCH I ZAKRES PROWADZONYCH PRAC ANALITYCZNYCH

### 6.1. DEFINICJA ZMIENNEJ OBJAŚNIANEJ

Mobilność jest głównym czynnikiem determinującym jakość życia człowieka [Carp 1988; Kostyniuk et al. 1998].

Według [Słownika języka polskiego, 2006] mobilność to zdolność do zmiany miejsca. Od drugiej połowy XX wieku nastąpił szybki rozwój badań nad mobilnością, co wynika z narastających problemów komunikacyjnych różnych obszarów, wpływających na jakość życia mieszkańców, których nie da się już rozwiązać poprzez rozbudowę infrastruktury drogowej [Osyra 2016]. Mobilność jest więc tą częścią działalności człowieka, która wiąże się z dokonywaniem wyborów związanych z ruchem.

W literaturze z zakresu ekonomiki transportu pojęcia mobilność i ruchliwość nierzadko stosowane są zamiennie. Ponadto dookreślane są także wyrażeniami mobilności lub ruchliwości społecznej, co stanowi zapożyczenie z socjologii. Poprzez mobilność/ruchliwość społeczną rozumie się zmianę pozycji społecznej jednostek lub grup społecznych w ramach zastanej struktury społeczeństwa na skutek jej przeobrażeń [Encyklopedia PWN]. Jest kategorią, której przedmiot nie wymaga zaangażowania transportu - jego przestrzenna alokacja nie zmienia się lub odbywa się w sferze informacyjnej. W związku z tym można wyróżnić mobilność kapitału, mobilność zawodową (oznaczającą gotowość do zmiany zawodu, doskonalenia i poszerzania umiejętności zawodowych, przystosowania się do ustawowych wymogów pracodawcy) oraz mobilność wirtualną (grupowanie różnych form aktywności człowieka, ale bez zmiany miejsca w przestrzeni) [Janecki 2013].

Mobilność/ruchliwość transportowa oznacza zdolności do przemieszczania się, jako cechy (teoretycznej, potencjalnej możliwości) określonych osób lub rzeczy. Pojęcie to stosuje się także dla opisanego faktycznej częstotliwości przemieszczania się osób i ładunków (liczby przemieszczeń w jednostce czasu). W zakresie parametrów podróży oznacza to decyzje związane z określeniem miejsca docelowego, trasy, terminu i środka transportu [Kruszyna 2014]. Jest to więc temat niezwykle ważny w badaniach geograficznych [Coulter et al. 2016], zwłaszcza że podróż (ruch) jest istotną częścią naszego życia [Nosal, Starowicz 2010]. W sferze logistyki miejskiej mobilność oznacza zarówno całokształt zachowań transportowych, które są związane z przemieszczaniem się ludzi na danym terenie, jak i wszelkie działania zmierzające do osiągnięcia celu tego ruchu, w tym m.in. , rozrywki, spraw społecznych, kulturalnych, które generują ten ruch ludzi [Hebel 2013; Osyra 2016; Borowska-Stefańska, Wiśniewski 2019].

W niniejszej pracy autorka używa pojęcia ruchliwość. Zmienną objaśniającą do budowy modeli generowania ruchu drogowego jest ruchliwość (R)

określana jako liczba podróży generowanych przez osobę z danej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych zamieszkała w i-tym rejonie transportowym miejsca zamieszkania (pod pojęciem rejon miejsca zamieszkania rozumie się rejon transportowy w którym występuje adres zamieszkania mieszkańca) przy określonych parach motywacji z i-tego oraz do i-tego rejonu transportowego z wyjątkiem pary motywacji niezwiązanej z domem.

Natomiast jako podróż definiuje się każde przemieszczenie się osoby pieszo lub dowolnym środkiem transportu, na odległość co najmniej 250 m (w definicji podróży nie uwzględnia się przesiadek). Ponadto każda podróż musi posiadać źródło i cel podróży przy danych parach motywacji, które zostały określone w podrozdziale 5.3.

## 6.2. WYBÓR ZMIENNYCH OBJAŚNIAJĄCYCH I ICH DEFINICJA

Zmienne objaśniające ustalano na podstawie przeprowadzonych przez autorkę studiów literatury, własnych obserwacji i doświadczeń oraz analiz pod kątem zależności ruchliwości a innymi czynnikami mogącymi wpływać na liczbę wykonywanych podróży przez mieszkańców. Pod uwagę wzięto różne zmienne, które mają, bądź mogłyby mieć wpływ na wielkość analizowanej ruchliwości dla grup osób jednorodnych zachowań transportowych. Wybrane w ten sposób zmienne objaśniające, wraz z ich definicją, przedstawiono w tabeli 5.2.1.

Tab. 5.2.1. Wykaz zmiennych objaśniających wykorzystanych przy poszukiwaniu funkcji opisującej ruchliwość mieszkańców

Lp.	Nazwa zmiennej objaśniającej	Oznaczenie zmiennej objaśniającej	Jednostka zmiennej objaśniającej	Źródło danych
1	Powierzchnia i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania)	$P_{i,r}$	km <sup>2</sup>	Dane uzyskane z udostępnionych modeli transportowych.
Definicja:		Obszar lądowy wyznaczony w modelu transportowym, który został zdefiniowany przez autorów udostępnionych modeli transportowych. Nie ingerowano w geometrię rejonów transportowych.		
2	Liczba ludności w i-tym rejonie transportowym (miejsca zamieszkania)	$N_{i,r}$	osoby	jak w punkcie 1
Definicja:		Liczba ludności przypisana do danego rejonu transportowego.		

Cd. Tab. 5.2.1.

Lp.	Nazwa zmiennej objaśniającej	Oznaczenie zmiennej objaśniającej	Jednostka zmiennej objaśniającej	Źródło danych
3	Gęstość zaludnienia i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania)	$W_{i, NP}$	osoby/km <sup>2</sup>	jak w punkcie 1
Definicja:		Przyporządkowanie liczby ludności do powierzchni rejonu transportowego.		
4	Odległość i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania) od rejonu centralnego	$L_{i, C}$	km	jak w punkcie 1
Definicja:		<p>Odległość i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania) mierzona po sieci transportowej (najkrótsza możliwa odległość) do rejonu transportowego przyjętego jako rejon centralny.</p> <p>Pod pojęciem rejonu centralnego rozumie się zdefiniowany przez autorkę rejon transportowy znajdujący się w centrum miejscowości, która ma powyżej 190 tys. liczby ludności. Rejon centrum to rejon transportowy w części miasta skupiający funkcje administracyjne, handlowe, usługowe, wytworzony podczas długotrwałych procesów następujących po sobie przekształceń w wyniku których powstał zespół zabudowy wielofunkcyjnej w pobliżu rynku, głównego placu miejskiego, ratusza itp.</p>		
5	Wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania)	$W_{i, T}$	poj. km*liczba przystanków w i-tym rejonie transportowym miejsca zamieszkania	jak punkt 1
Definicja:		Iloczyn pracy eksploatacyjnej i liczby przystanków publicznego transportu zbiorowego zdefiniowanych w i-tym rejonie transportowym.		
6	Typ zamieszkania	C – miasto W – wieś	-	Dane określone na podstawie miejsca zamieszkania osoby przeankietowanej.
Definicja:		Określenie miejsca zamieszkania mieszkańca poprzez wskazanie jednego z dwóch typów zamieszkania: miasto lub wieś.		

Cd. Tab. 5.2.1.

Lp.	Nazwa zmiennej objaśniającej	Oznaczenie zmiennej objaśniającej	Jednostka zmiennej objaśniającej	Źródło danych
7	Posiadanie środka transportowego do dyspozycji	S – posiadanie środka transportowego do dyspozycji B – brak środka transportowego do dyspozycji	-	Dane pozyskane na podstawie otrzymanych ankiet transportowych.
Definicja:		Zdeklarowanie przez respondenta czy posiada w gospodarstwie domowym środek transportowy do dyspozycji lub nie.		
8	Płeć	K – kobieta M - mężczyzna	-	Dane pozyskane na podstawie otrzymanych ankiet transportowych.
Definicja:		Wskazana płeć przez respondenta: kobieta lub mężczyzna.		

Na podstawie wstępnych analiz regresji i korelacji ostatecznie wytypowano następujące zmienne objaśniające:

- **gęstość zaludnienia rejonu transportowego  $Z1_i$**  - gęstość zaludnienia jest czynnikiem, który bezpośrednio wynika z zagospodarowania terenu oraz terenów przyległych, co może świadczyć o różnej ruchliwości danej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych, bo im bardziej atrakcyjny rejon transportowy tym mniej podróży jest wykonywanych przez mieszkańców;
- **odległość rejonu transportowego od rejonu centralnego  $Z2_i$**  – wybrano tę zmienną ponieważ w wielu opracowaniach wykazano, że im jest większa odległość od atrakcyjnych regionów transportowych (w tym przypadku centrum dużego miasta) tym występuje większy opór w wykonywaniu podróży przez mieszkańca danego rejonu;
- **wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym rejonu transportowego  $Z3_i$**  – wytypowano tę zmienną, ponieważ zdaniem autorki praca eksploatacyjna połączona z liczbą przystanków w danym rejonie transportowym wskazuje czy dany rejon jest atrakcyjny pod względem publicznego transportu zbiorowego.

Kilka zmiennych, których nie uwzględniono powyżej jako zmienne objaśniające zostały wykorzystane przy tworzeniu podziału na grupy osób jednorodnych zachowań transportowych np. posiadanie środka transportowego (samochód osobowy) do dyspozycji czy płeć, co przyczyniło się do utworzenia kolejnych grup osób jednorodnych zachowań transportowych.

### 6.3. ZAKRES PROWADZONYCH PRAC ANALITYCZNYCH

Po zbudowaniu bazy danych o zachowaniach transportowych mieszkańców, przystąpiono do ich podziału na grupy osób jednorodnych zachowań transportowych (wytypowanie ostatecznych grup jednorodnych zachowań transportowych).

Uwzględniając poszczególne cechy charakterystyczne mieszkańców, terenów przez nich zamieszkiwanych oraz rodzaju podróży przyjęto następujący podział grup osób jednorodnych zachowań transportowych tj.:

- uczeń (U),
- student (S),
- pracujący (P),
- emeryt/rencista (E),
- pozostali (I).

Taki podział grup aktywności osób pod względem ruchliwości został utworzony z uwagi na podobne cechy charakteryzujące mieszkańców. Uczniowie to grupa osób uczących się w szkole podstawowej, gimnazjum oraz szkołach średnich (osoby powyżej 9 roku życia). Studenci to grupa osób, których głównym zajęciem są studia w trybie dziennym. Pracujący to osoby, których codziennym zajęciem jest praca bez znaczenia czy jest ona wykonywana w domu czy poza domem. Emeryci i renciści to grupa osób, która nie pracuje zawodowo. Natomiast grupa pozostali to osoby, których nie można było przypisać do wcześniejszych grup, czyli np. osoby niepracujące czy gospodyni domowa.

Każda z powyższych grup została jeszcze podzielona ze względu na:

- płeć:
  - kobieta (K),
  - mężczyzna (M);
- posiadanie środka transportowego do dyspozycji:
  - posiadanie środka transportowego do dyspozycji (S),
  - brak środka transportowego do dyspozycji (B);
- typ miejsca zamieszkania:
  - miasto (C),
  - wieś (W).

Po takim podziale ostatecznie uzyskano 40 różnych grup osób jednorodnych zachowań transportowych, które charakteryzowały cechy mieszkańców.

Dla powyższych zdefiniowanych 40 grup przyjęto następujące pary motywacji podróży:

- dom-praca (d-p),
- dom-nauka (d-n),
- dom-inne (d-i),
- praca-dom (p-d),
- nauka-dom (n-d),
- inne-dom (i-d),
- niezwiązane z domem (nzd).

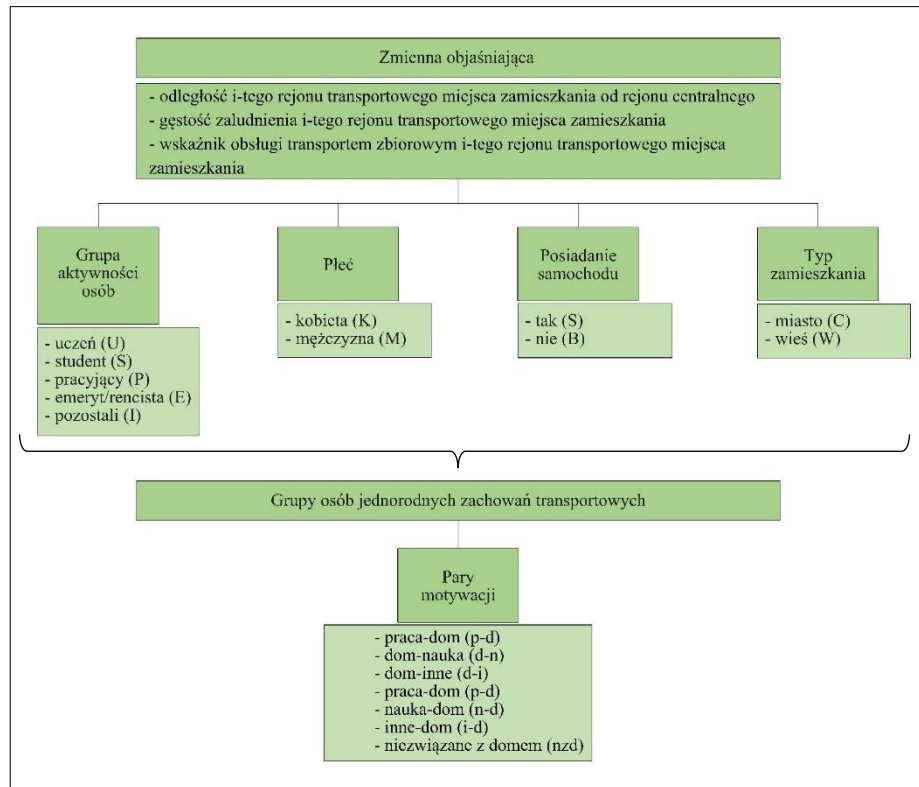
Przyjęte pary motywacji wynikały z faktu, że najczęściej przy budowie modeli transportowych stosuje się właśnie takie podziały, co wskazano m.in. w pracach [Badania zachowań komunikacyjnych mieszkańców Krakowskiego Obszaru Metropolitalnego 2014; Warszawskie badania ruchu 2015 wraz z opracowaniem modelu ruchu, Synteza 2016; Plan mobilności dla miasta Kielce i kieleckiego obszaru funkcjonalnego 2019; Kompleksowe Badanie Ruchu w Szczecinie 2016]. Graficzne odzwierciedlenie powyższego podziału zostało przedstawione na rys. 6.3.1. Takie postępowanie było wykonywane dla każdej zmiennej objaśniającej.

Dla wszystkich grup jednorodnych zachowań transportowych i przyjętych par motywacji analizowano zależność ruchliwości od następujących zmiennych objaśniających (opisano szczerzej w podrozdziale 6.2.):

- odległość rejonu transportowego miejsca zamieszkania od rejonu centrum,
- gęstość zaludnienia w rejonie transportowym miejsca zamieszkania,
- wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym rejonu transportowego miejsca zamieszkania.

Dla określonego podziału mieszkańców i przyjętych zmiennych objaśniających analizowano sześć rodzajów funkcji opisanych w podrozdziale 5.2.

Ze względu na dużą liczbę opracowanych matematycznych modeli jak i objętość pracy w kolejnych rozdziałach przedstawiono przykładowe modele dla wybranych grup osób jednorodnych zachowań transportowych dla przyjętych par motywacji podróży.



Rysunek 6.3.1. – Schemat przedstawiający wytypowane grupy osób jednorodnych zachowań transportowych i przyjęte pary motywacji podróży

## 7. MODELE GENEROWANIA RUCHU DROGOWEGO

### 7.1. OGÓLNA POSTAĆ MATEMATYCZNYCH MODELI

Do budowy modeli generowania ruchu drogowego wybrano zmienne objaśniające (wytypowane i opisane w rozdziale 5):

- zmienna  $Z1_i$  - odległość i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania) od rejonu centralnego,
- zmienna  $Z2_i$  - wskaźnik gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania),
- zmienna  $Z3_i$  - wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania).

Modele zostały opracowane na podstawie analizy regresji i korelacji z jedną zmienną objaśniającą. Zaletą opracowanych matematycznych modeli jest ich prosta postać, natomiast zaletą wytypowanych zmiennych objaśniających jest możliwość ich szybkiego pozyskiwania.

Ogólna postać matematycznych modeli opisujących liczbę generowanych podróży w dobie przeciętnego dnia roboczego przez osobę z grupy jednorodnych zachowań transportowych zamieszkujących w i-tym rejonie transportowym dla przyjętych par motywacji (została wskazana w rozdziale 5).

$$R_{i,OGJZT,m} = f(Zk_i), [\text{podróży osoby/dobę}] \quad (7.1)$$

Dla każdej zmiennej objaśniającej rozważano logiczny przebieg funkcji aproksymującej, w zależności od zmian wartości danej zmiennej objaśniającej.

Wyniki przeprowadzonych analiz wykazały, że w zależności od rodzaju grupy osób jednorodnych zachowań transportowych, jak i par motywacji nie zawsze ta sama postać funkcji, tj. liniowa, potęgowa itp. zapewniała największe wartości współczynnika korelacji ( $R$ ) i determinacji ( $R^2$ ). Postacie funkcji różniły się dla danych grup osób jednorodnych zachowań transportowych jak i rozważanych par motywacji. Miarą jakości danego matematycznego modelu było wyznaczenie wartości współczynnika korelacji oraz determinacji. Najczęściej najkorzystniejsze wartości  $R$  i  $R^2$  uzyskiwano dla funkcji liniowej.

Matematyczne modele zostały opracowane dla wszystkich grup osób jednorodnych zachowań transportowych przedstawionych w rozdziale 5. Natomiast w pracy przedstawiono tylko wybrane grupy z uwagi na dużą liczbę opracowanych modeli i objętość rozprawy.

Przykłady opracowanych matematycznych modeli przedstawiono na reprezentatywnej ogólnej grupie osób jednorodnych zachowań transportowych – pracujący (poziom I), co wiązało się z wystarczającą (pod względem statystyki matematycznej) liczebnością próby przy podziałach na dalsze szczegółowe grupy.



Poszczególne podziały grup osób jednorodnych zachowań transportowych zostały przedstawione poniżej (schemat podziału przedstawiono w rozdziale 5 – rys. 5.1.2.). Grupami, które autorka przedstawia w niniejszej pracy są:

1. pierwszy poziom szczegółowości (dla zmiennej objaśniającej  $Z_{1,i}$ ):
  - pracujący (P);
2. drugi poziom szczegółowości (dla jednej zmiennej objaśniającej):
  - pracujący-kobieta (PK),
  - pracujący-mężczyzna (PM),
  - pracujący-samochód (PS),
  - pracujący-bez samochodu (PB),
  - pracujący-miasto (PC),
  - pracujący-wieś (PW);
3. trzeci poziom szczegółowości (dla jednej zmiennej objaśniającej):
  - pracujący-kobieta-samochód (PKS),
  - pracujący-kobieta-bez samochodu (PKB),
  - pracujący-kobieta-miasto (PKC),
  - pracujący-kobieta-wieś (PKW),
  - pracujący-mężczyzna-samochód (PMS),
  - pracujący-mężczyzna-bez samochodu (PMB),
  - pracujący-mężczyzna-miasto (PMC),
  - pracujący-mężczyzna-wieś (PMW);
4. czwarty poziom szczegółowości (dla wszystkich rozważanych zmiennych objaśniających  $Z_{k,i}$ ):
  - pracujący-mężczyzna-samochód-miasto (PMSC).

Z uwagi na to, że powyższe grupy spośród wszystkich grup osób jednorodnych zachowań transportowych charakteryzowały się największą liczebnością, autorka w pracy skoncentrowała się na wyżej wymienionych grupach osób jednorodnych zachowań transportowych i wszystkich przyjętych parach motywacji podróży, chcąc przedstawić efekt wykonanej pracy oraz postacie matematycznych modeli. Dla pierwszego, drugiego oraz trzeciego poziomu szczegółowości przedstawiono modele dla jednej zmiennej objaśniającej, natomiast czwartego poziomu szczegółowości matematyczne modele zostaną przedstawione dla jednej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych (PMSC), ale dla wszystkich wytypowanych zmiennych objaśniających.

Przy założonych podziałach grup osób jednorodnych zachowań transportowych i przyjętych parach motywacji podróży, liczba matematycznych modeli wyniosła łącznie 805 dla jednej zmiennej objaśniającej, ale wszystkich poziomów szczegółowości. Z uwagi na dużą liczbę opracowanych matematycznych modeli, w niniejszej pracy przedstawiono kilkadziesiąt wybranych.

W dalszych rozdziałach starano się potwierdzić słuszność wstępnych wyników analiz regresji i korelacji, a więc konieczność bardzo szczegółowego podziału grup osób jednorodnych zachowań transportowych przy założonych parach motywacji.

## 7.2. MODELE DLA PIERWSZEGO POZIOMU SZCZEGÓŁOWOŚCI

Pierwsza faza budowy matematycznych modeli generowania ruchu drogowego przez grupy osób jednorodnych zachowań transportowych polegała na ich podziale dla grup ogólnych pracujący, uczeń, student itp. W niniejszym podrozdziale przedstawiono dla przykładu wyniki analiz regresji i korelacji dla jednej z najważniejszych i najliczniejszej spośród mieszkańców grupy jednorodnych zachowań transportowych jaką jest grupa pracujący (P).

Matematyczne modele wyznaczane były dla wszystkich grup z pierwszego poziomu szczegółowości i dla wszystkich wytypowanych zmiennych objaśniających, natomiast w pracy przedstawiono grupę pracujący dla zmiennej objaśniającej - odległość  $i$ -tego rejonu transportowego od rejonu centralnego ( $L_{C,i}$ ).

Poniżej przedstawiono postać funkcji matematycznej modelu opisującego liczbę wykonywanych podróży przez osobę z grupy jednorodnych zachowań transportowych pracujący dla analizowanych pary motywacji:

$$R_{i,P,m} = f(L_{C,i}) \text{ [podróży osoby/dobę]} \quad (7.2)$$

gdzie:

$R_{i,P,m}$  – liczba podróży w dobie przeciętnego dnia roboczego osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący (P) zamieszkujący w  $i$ -tym rejonie transportowy dla motywacji  $m$  [podróży osoby/dobę];

$L_{C,i}$  – odległość  $i$ -tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania) od rejonu centralnego [km].

W tabeli 7.2.1. zamieszczono postacie funkcji oraz wartości współczynników  $R$  i  $R^2$  wyznaczonych matematycznych modeli dla osoby z grupy pracujący dla wszystkich par motywacji rozważanych w niniejszej pracy. W tabeli przedstawiono matematyczne modele dla funkcji liniowej.

Tab. 7.2.1. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący (P) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący (P)	d-p	$R_{i,p,d-p} = -0,0007 * L_c + 0,7724$ (7.3)	0,2690	0,0724	47 766
	d-n	$R_{i,p,d-n} = 0,0002 * L_c + 0,0096$ (7.4)	0,3092	0,0956	
	d-i	$R_{i,p,d-i} = 0,0006 * L_c + 0,2308$ (7.5)	0,1527	0,0233	
	p-d	$R_{i,p,p-d} = -0,0004 * L_c + 0,6911$ (7.6)	0,1397	0,0195	
	n-d	$R_{i,p,n-d} = 0,0002 * L_c + 0,009$ (7.7)	0,2987	0,0892	
	i-d	$R_{i,p,i-d} = 0,0000007 * L_c + 0,3381$ (7.8)	0,0000	0,0000	
	nzd	$R_{i,p,nzd} = -0,0031 * L_c + 0,3869$ (7.9)	0,4346	0,1889	

Z analiz danych zamieszczonych w tabeli 7.2.1. wynika, że wszystkie wartości współczynników  $R$  i  $R^2$  charakteryzują się małą wartością. Procent wyjaśnienia wartości zmiennej objaśniającej nie przekracza 20 %. Dlatego kolejny etap analiz polegał na dalszym podziale grup osób jednorodnych zachowań transportowych, co przedstawiono w kolejnym podrozdziale.

### **7.3. MODELE DLA DRUGIEGO POZIOMU SZCZEGÓŁOWOŚCI**

Następna faza budowy matematycznych modeli polegała również na analizie regresji i korelacji dla kolejnego podziału grup osób jednorodnych zachowań transportowych, ale z uwzględnieniem: płci, środka transportowego do dyspozycji oraz rodzaju terenu zamieszkałego (tj. miasto lub wieś). Stąd w tym podrozdziale skupiono się na wybranych grupach osób jednorodnych zachowań transportowych tj.:

- pracujący-kobieta (PK),
- pracujący-mężczyzna (PM),
- pracujący-samochód (PS),
- pracujący-bez samochodu (PB),
- pracujący-miasto (PC),
- pracujący-wieś (PW),

ale konsekwentnie nawiązując do grupy z podrozdziału 7.2. i przedstawiono modele dla zmiennej objaśniającej – odległość  $i$ -tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania) od rejonu centralnego.

W tabelach od 7.3.1. do 7.3.6. zamieszczono postacie funkcji matematycznych modeli opisujących liczbę wykonywanych podróży przez osobę z grup osób jednorodnych zachowań transportowych, które zostały wskazane powyżej dla rozważanych par motywacji.

Tab. 7.3.1. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-kobieta (PK) dla zmiennej objaśniającej – odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-kobieta (PK)	d-p	$R_{i,PK,d-p} = -0,002 * L_c + 0,7569$ (7.10)	0,5826	0,3394	23 175
	d-n	$R_{i,PK,d-n} = 0,0003 * L_c + 0,0113$ (7.11)	0,2156	0,0465	
	d-i	$R_{i,PK,d-i} = 0,0011 * L_c + 0,26$ (7.12)	0,2461	0,0605	
	p-d	$R_{i,PK,p-d} = -0,0017 * L_c + 0,6541$ (7.13)	0,4073	0,1659	
	n-d	$R_{i,PK,n-d} = 0,0003 * L_c + 0,01$ (7.14)	0,2505	0,0627	
	i-d	$R_{i,PK,i-d} = 0,0003 * L_c + 0,3884$ (7.15)	0,0457	0,0021	
	nzd	$R_{i,PK,nzd} = -0,0026 * L_c + 0,4303$ (7.16)	0,3086	0,0952	

Tab. 7.3.2. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna (PM) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-mężczyzna (PM)	d-p	$R_{i,PM,d-p} = 0,0003 * L_C + 0,7981$ (7.17)	0,0846	0,0071	24 586
	d-n	$R_{i,PM,d-n} = 0,0002 * L_C + 0,0073$ (7.18)	0,3429	0,1176	
	d-i	$R_{i,PM,d-i} = 0,0002 * L_C + 0,2021$ (7.19)	0,061	0,0037	
	p-d	$R_{i,PM,p-d} = 0,0005 * L_C + 0,7295$ (7.20)	0,1604	0,0257	
	n-d	$R_{i,PM,n-d} = 0,0002 * L_C + 0,0073$ (7.21)	0,3198	0,1022	
	i-d	$R_{i,PM,i-d} = -0,0001 * L_C + 0,2765$ (7.22)	0,0255	0,0006	
	nzd	$R_{i,PM,nzd} = -0,0034 * L_C + 0,3425$ (7.23)	0,5236	0,2742	

Tab. 7.3.3. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-samochód (PS) dla zmiennej objaśniającej – odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-samochód (PS)	d-p	$R_{i,PS,d-p} = -0,0003 * L_c + 0,7826$ (7.24)	0,1222	0,0149	35 079
	d-n	$R_{i,PS,d-n} = 0,0002 * L_c + 0,0094$ (7.25)	0,3118	0,0972	
	d-i	$R_{i,PS,d-i} = 0,0002 * L_c + 0,2453$ (7.26)	0,0446	0,002	
	p-d	$R_{i,PS,p-d} = -0,0001 * L_c + 0,7045$ (7.27)	0,054	0,0029	
	n-d	$R_{i,PS,n-d} = 0,0002 * L_c + 0,0093$ (7.28)	0,2602	0,0677	
	i-d	$R_{i,PS,i-d} = -0,0006 * L_c + 0,3234$ (7.29)	0,0912	0,0083	
	nzd	$R_{i,PS,nzd} = -0,0029 * L_c + 0,3578$ (7.30)	0,3393	0,1151	

Tab. 7.3.4. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-bez samochodu (PB) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący- bez samochodu (PB)	d-p	$R_{i,PB,d-p} = -0,0024 * L_C + 0,8076$ (7.31)	0,3929	0,1544	7 302
	d-n	$R_{i,PB,d-n} = 0,0007 * L_C + 0,0067$ (7.32)	0,4964	0,2465	
	d-i	$R_{i,PB,d-i} = 0,0002 * L_C + 0,2453$ (7.33)	0,1277	0,0163	
	p-d	$R_{i,PB,p-d} = -0,0013 * L_C + 0,7291$ (7.34)	0,3007	0,0904	
	n-d	$R_{i,PB,n-d} = 0,0007 * L_C + 0,0043$ (7.35)	0,4796	0,2301	
	i-d	$R_{i,PB,i-d} = 0,0000003 * L_C + 0,2195$ (7.36)	0,0000	0,0000	
	nzd	$R_{i,PB,nzd} = -0,0034 * L_C + 0,2374$ (7.37)	0,6950	0,4830	



Tab. 7.3.5. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-miasto (PC) dla zmiennej objaśniającej – odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-miasto (PC)	d-p	$R_{i,PC,d-p} = -0,0024 * L_C + 0,7821$ (7.38)	0,4014	0,1611	38 732
	d-n	$R_{i,PC,d-n} = 0,0014 * L_C + 0,0071$ (7.39)	0,5410	0,2927	
	d-i	$R_{i,PC,d-i} = 0,0021 * L_C + 0,2144$ (7.40)	0,2110	0,0445	
	p-d	$R_{i,PC,p-d} = -0,0034 * L_C + 0,7263$ (7.41)	0,4658	0,2170	
	n-d	$R_{i,PC,n-d} = 0,0015 * L_C + 0,0074$ (7.42)	0,5372	0,2886	
	i-d	$R_{i,PC,i-d} = 0,0033 * L_C + 0,2932$ (7.43)	0,2490	0,0620	
	nzd	$R_{i,PC,nzd} = 0,0012 * L_C + 0,3366$ (7.44)	0,0840	0,0070	

Tab. 7.3.6. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracująco-wieś (PW) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący- wieś (PW)	d-p	$R_{i,PW,d-p} = 0,0005 * L_c + 0,7407$ (7.45)	0,0968	0,0094	9 034
	d-n	$R_{i,PW,d-n} = 0,0004 * L_c + 0,0074$ (7.46)	0,2812	0,0791	
	d-i	$R_{i,PW,d-i} = 0,0005 * L_c + 0,2582$ (7.47)	0,0994	0,0099	
	p-d	$R_{i,PW,p-d} = 0,003 * L_c + 0,5863$ (7.48)	0,5293	0,2802	
	n-d	$R_{i,PW,n-d} = 0,0005 * L_c + 0,0042$ (7.49)	0,3496	0,1222	
	i-d	$R_{i,PW,i-d} = -0,0039 * L_c + 0,4538$ (7.50)	0,4485	0,2011	
	nzd	$R_{i,PW,nzd} = -0,0065 * L_c + 0,4884$ (7.51)	0,6683	0,4467	

Wyniki analiz regresji i korelacji przedstawione w tabelach od 7.3.1. do 7.3.6. pozwalają stwierdzić, że wszystkie współczynniki  $R$  i  $R^2$  charakteryzują się małą wartością. Procent wyjaśnienia wartości zmiennej objaśnianej nie przekracza 50 %. Dlatego kolejny etap analiz polegał na jeszcze bardziej szczegółowym podziale grup osób jednorodnych zachowań transportowych, co przedstawiono w następnym rozdziale.

#### **7.4. MODELE DLA TRZECIEGO POZIOMU SZCZEGÓŁOWOŚCI**

Kolejny etap budowy matematycznych modeli polegał na analizie regresji i korelacji dla dalszego podziału grup osób jednorodnych zachowań transportowych z uwzględnieniem trzech kryteriów (wskazano na rysunku 5.1.3.). W tym podrozdziale skupiono się również na wybranych grupach osób jednorodnych zachowań transportowych tj.:

- pracujący-kobieta-samochód (PKS),
- pracujący kobieta-bez samochodu (PKB),
- pracujący-kobieta-miasto (PKC),
- pracujący-kobieta-wieś (PKW),
- pracujący-mężczyzna-samochód (PMS),
- pracujący-mężczyzna-bez samochodu (PMB),
- pracujący-mężczyzna-miasto (PMC),
- pracujący-mężczyzna-wieś (PMW),

nawiązując do grup osób jednorodnych zachowań transportowych przedstawionych w podrozdziałach 7.2. oraz 7.3. Matematyczne modele wybranych grup osób przedstawiono dla zmiennej objaśnianej odległość  $i$ -tego rejonu transportowego od rejonu centralnego.

W tabelach od 7.4.1. do 7.4.8. zamieszczono wyniki analiz regresji i korelacji opisujących liczbę wykonywanych podróży przez osobę z grup osób jednorodnych zachowań transportowych, które zostały wskazane powyżej dla przyjętych par motywacji.

Wartości te zostały przedstawione dla funkcji liniowej, która w większości przypadków tak samo jak to występowało w poprzednich poziomach szczególności najlepiej opisywała dane empiryczne.

Tab. 7.4.1. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-kobieta-samochód (PKS) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-kobieta-samochód (PKS)	d-p	$R_{i,PKS,d-p} = -0,0012 * L_C + 0,7707$ (7.52)	0,2938	0,0863	16 779
	d-n	$R_{i,PKS,d-n} = 0,0002 * L_C + 0,0106$ (7.53)	0,2392	0,0572	
	d-i	$R_{i,PKS,d-i} = 0,0009 * L_C + 0,267$ (7.54)	0,1271	0,0161	
	p-d	$R_{i,PKS,p-d} = -0,0009 * L_C + 0,6663$ (7.55)	0,2154	0,0464	
	n-d	$R_{i,PKS,n-d} = 0,0003 * L_C + 0,0093$ (7.56)	0,2653	0,0704	
	i-d	$R_{i,PKS,i-d} = -0,00003 * L_C + 0,379$ (7.57)	0,0000	0,0000	
	nzd	$R_{i,PKS,nzd} = -0,0023 * L_C + 0,3995$ (7.58)	0,2126	0,0452	

Tab. 7.4.2. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-kobieta-bez samochodu (PKB) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-kobieta-bez samochodu (PKB)	d-p	$R_{i,PBS,d-p} = -0,0023 * L_C + 0,8041$ (7.59)	0,2559	0,0655	3 881
	d-n	$R_{i,PBS,d-n} = 0,0004 * L_C + 0,01$ (7.60)	0,5135	0,2637	
	d-i	$R_{i,PBS,d-i} = 0,0009 * L_C + 0,1722$ (7.61)	0,1270	0,0161	
	p-d	$R_{i,PBS,p-d} = -0,0024 * L_C + 0,7179$ (7.62)	0,4280	0,1832	
	n-d	$R_{i,PBS,n-d} = 0,0005 * L_C + 0,008$ (7.63)	0,6241	0,3895	
	i-d	$R_{i,PBS,i-d} = -0,00003 * L_C + 0,2558$ (7.64)	0,0000	0,0000	
	nzd	$R_{i,PBS,d-p} = -0,0027 * L_C + 0,2503$ (7.65)	0,5164	0,2667	

Tab. 7.4.3. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-kobieta-miasto (PKC) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-kobieta-miasto (PKC)	d-p	$R_{i,PKC,d-p} = -0,0018 * L_C + 0,7516$ (7.66)	0,2544	0,0647	18 953
	d-n	$R_{i,PKC,d-n} = 0,0016 * L_C + 0,0084$ (7.67)	0,5301	0,281	
	d-i	$R_{i,PKC,d-i} = 0,0026 * L_C + 0,2447$ (7.68)	0,2391	0,0572	
	p-d	$R_{i,PKC,p-d} = 0,004 * L_C + 0,6911$ (7.69)	0,4540	0,2061	
	n-d	$R_{i,PKC,n-d} = 0,0018 * L_C + 0,0082$ (7.70)	0,5498	0,3023	
	i-d	$R_{i,PKC,i-d} = 0,0046 * L_C + 0,3323$ (7.71)	0,3125	0,0977	
	nzd	$R_{i,PKC,nzd} = 0,0037 * L_C + 0,3462$ (7.72)	0,2287	0,0523	

Tab. 7.4.4. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-kobieta-wieś (PKW) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-kobieta-wieś (PKW)	d-p	$R_{i,PKW,d-p} = -0,0004 * L_c + 0,679$ (7.73)	0,0599	0,0036	4 222
	d-n	$R_{i,PKW,d-n} = 0,0004 * L_c + 0,0175$ (7.74)	0,1455	0,0212	
	d-i	$R_{i,PKW,d-i} = 0,00003 * L_c + 0,2915$ (7.75)	0,0000	0,0000	
	p-d	$R_{i,PKW,p-d} = 0,0029 * L_c + 0,4842$ (7.76)	0,4167	0,1737	
	n-d	$R_{i,PKW,n-d} = 0,00008 * L_c + 0,0055$ (7.77)	0,2475	0,0613	
	i-d	$R_{i,PKW,i-d} = -0,0056 * L_c + 0,5755$ (7.78)	0,5378	0,2892	
	nzd	$R_{i,PKW,nzd} = -0,0083 * L_c + 0,6135$ (7.79)	0,6119	0,3744	

Tab. 7.4.5. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna-samochód (PKS) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-mężczyzna-samo-chód (PMS)	d-p	$R_{i,PMS,d-p} = 0,0004 * L_c + 0,7949$ (7.80)	0,1037	0,0108	18 297
	d-n	$R_{i,PMS,d-n} = 0,0004 * L_c + 0,0074$ (7.81)	0,4087	0,1671	
	d-i	$R_{i,PMS,d-i} = 0,0011 * L_c + 0,2238$ (7.82)	0,2928	0,0858	
	p-d	$R_{i,PMS,p-d} = 0,0004 * L_c + 0,7415$ (7.83)	0,1561	0,0244	
	n-d	$R_{i,PMS,n-d} = 0,0003 * L_c + 0,0081$ (7.84)	0,3831	0,1467	
	i-d	$R_{i,PMS,i-d} = -0,001 * L_c + 0,2704$ (7.85)	0,1972	0,0389	
	nzd	$R_{i,PMS,nzd} = -0,0033 * L_c + 0,318$ (7.86)	0,5012	0,2512	



Tab. 7.4.6. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna-bez samochodu (PMB) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-mężczyzna-bez samochodu (PMB)	d-p	$R_{i,PBS,d-p} = -0,0015 * L_c + 0,8033$ (7.87)	0,2039	0,0416	3 421
	d-n	$R_{i,PBS,d-n} = 0,0013 * L_c + 0,0074$ (7.88)	0,6731	0,4531	
	d-i	$R_{i,PBS,d-i} = 0,0017 * L_c + 0,1384$ (7.89)	0,2322	0,0539	
	p-d	$R_{i,PBS,p-d} = 0,0004 * L_c + 0,7496$ (7.90)	0,0656	0,0043	
	n-d	$R_{i,PBS,n-d} = 0,0013 * L_c + 0,0047$ (7.91)	0,6936	0,4811	
	i-d	$R_{i,PBS,i-d} = 0,0011 * L_c + 0,1741$ (7.92)	0,1632	0,0266	
	nzd	$R_{i,PBS,nzd} = -0,0024 * L_c + 0,2011$ (7.93)	0,4217	0,1778	

Tab. 7.4.7. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna-miasto (PMC) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-mężczyzna-miasto (PMC)	d-p	$R_{i,pw,d-p} = -0,0028 * L_c + 0,8091$ (7.94)	0,4787	0,2291	19 774
	d-n	$R_{i,pw,d-n} = 0,0019 * L_c + 0,0107$ (7.95)	0,6538	0,4274	
	d-i	$R_{i,pw,d-i} = 0,0016 * L_c + 0,1854$ (7.96)	0,1739	0,0302	
	p-d	$R_{i,pw,p-d} = -0,0028 * L_c + 0,7607$ (7.97)	0,4434	0,1966	
	n-d	$R_{i,pw,n-d} = 0,0018 * L_c + 0,0109$ (7.98)	0,6302	0,3972	
	i-d	$R_{i,pw,i-d} = 0,0023 * L_c + 0,2528$ (7.99)	0,1900	0,0361	
	nzd	$R_{i,pw,nzd} = -0,0009 * L_c + 0,3217$ (7.100)	0,0660	0,0044	

Tab. 7.4.8. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna-wieś (PMW) dla zmiennej objaśniającej odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Wielkość próby
Pracujący-mężczyzna-wieś (PMW)	d-p	$R_{i,PMW,d-p} = 0,001 * L_c + 0,801$ (7.101)	0,1531	0,0234	4 812
	d-n	$R_{i,PMW,d-n} = 0,0002 * L_c + 0,0092$ (7.102)	0,1660	0,0275	
	d-i	$R_{i,PMW,d-i} = -0,0008 * L_c + 0,2302$ (7.103)	0,1557	0,0243	
	p-d	$R_{i,PMW,p-d} = 0,0026 * L_c + 0,6863$ (7.104)	0,3594	0,1292	
	n-d	$R_{i,PMW,n-d} = 0,0002 * L_c + 0,0085$ (7.105)	0,1992	0,0397	
	i-d	$R_{i,PMW,i-d} = -0,0022 * L_c + 0,3417$ (7.106)	0,2985	0,0891	
	nzd	$R_{i,PMW,nzd} = -0,0044 * L_c + 0,3674$ (7.107)	0,4731	0,2238	

Analogicznie jak w poprzednich podrozdziałach po przeanalizowaniu poszczególnych funkcji dopasowania danych empirycznych do matematycznego modelu, zakładając jednocześnie wybór najprostszej postaci funkcji o relatywnie największej obliczono wartości współczynników korelacji  $R$  i determinacji  $R^2$ . Wartości współczynnika  $R^2$  wyznaczonych modeli trzeciego poziomu szczegółowości nie przekraczały 0,5 dla przyjętych par motywacji. Nieotrzymanie zadowalających wyników analiz skutkowało utworzeniem kolejnego podziału i utworzenia nowych grup osób jednorodnych zachowań transportowych bardziej szczegółowych, co przedstawiono w kolejnym podrozdziale.

## **7.5. MODELE DLA CZWARTEGO POZIOMU SZCZEGÓŁOWOŚCI**

### **7.5.1. MODELE GENEROWANIA RUCHU DROGOWEGO W ZALEŻNOŚCI OD ODLEGŁOŚCI I-TEGO REJONU TRANSPORTOWEGO OD REJONU CENTRALNEGO**

Na podstawie przyjętych założeń w rozdziale 5 poniżej przedstawiono matematyczne modele, wybranej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych, tj. pracujący-mężczyzna-samochód-miasto (PMSC), które określają liczbę generowanych podróży z podziałem na analizowane pary motywacji. Dla czwartego poziomu szczegółowości dla grupy pracujący wyznaczono 8 grup osób jednorodnych zachowań transportowych (rys. 5.1.2). Natomiast z uwagi na objętość pracy jaka występowałaby przy przedstawianiu wszystkich matematycznych modeli skupiono się na jednej wskazanej powyżej.

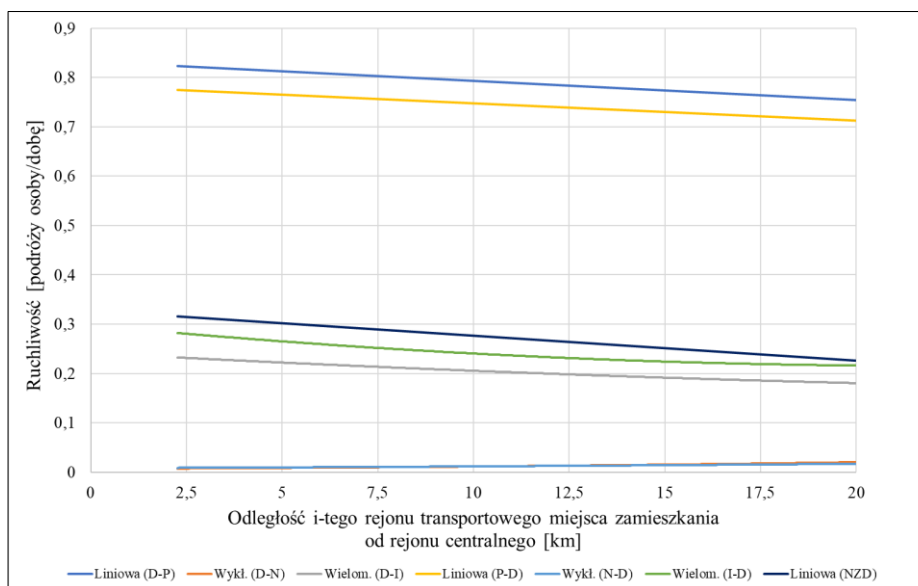
W tabelach 7.5.1 przedstawiono wyniki analiz regresji i korelacji dla czwartego poziomu szczegółowości (jak na rysunku 5.1.2) dla wyżej wymienionej osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych oraz rozważanych par motywacji.

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji R	Współczynnik determinacji R <sup>2</sup>	Odchylenie standardowe składnika resztowego Se	Wielkość próby
Pracujący-mężczyzna-samochód-miasto (PMSC)	d-p	$R_{i,PMSC,d-p} = -0,0039 * L_c + 0,8318$ (7.108)	0,9303	0,8654	0,056	15 142
	d-n	$R_{i,PMSC,d-n} = 0,0064 * e^{0,0573L_c}$ (7.109)	0,7847	0,6158	0,042	
	d-i	$R_{i,PMSC,d-i} = 0,000006 * L_c^2 - 0,0042 * L_c + 0,2415$ (7.110)	0,6391	0,4085	0,038	
	p-d	$R_{i,PMSC,p-d} = -0,0035 * L_c + 0,783$ (7.111)	0,8431	0,7109	0,056	
	n-d	$R_{i,PMSC,n-d} = 0,0079 * e^{0,0379L_c}$ (7.112)	0,782	0,6116	0,012	
	i-d	$R_{i,PMSC,i-d} = 0,0002 * L_c^2 - 0,0074 * L_c + 0,2981$ (7.113)	0,4057	0,1646	0,057	
	nzd	$R_{i,PMSC,nzd} = -0,005 * L_c + 0,3267$ (7.114)	0,849	0,7208	0,081	

Tab. 7.5.1. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna-samochód-miasto (PMSC) dla zmiennej objaśniającej – odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu central-

Dla większości matematycznych modeli uzyskano duże wartości współczynników determinacji  $R^2$  powyżej 0,60. Wyjątek stanowią modele opisujące liczbę podróży w parze motywacji dom-inne oraz inne-dom, dla którego  $R^2$  wynosi poniżej 0,50.

Na rys. 7.5.1 przedstawiono wykresy funkcji ruchliwości dla rozważanej osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych dla wszystkich analizowanych par motywacji dla zmiennej objaśniającej odległość  $i$ -tego rejonu transportowego od rejonu centralnego.



Rysunek 7.5.1. – Wykres funkcji ruchliwości osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna-samochód-miasto  $R_{i,PMSC,m}$  dla analizowanych par motywacji i rozważanej zmiennej objaśniającej – odległość  $i$ -tego rejonu transportowego od rejonu centralnego  $L_{C,i}$

Na podstawie uzyskanych wyników analiz można stwierdzić, że liczba wykonywanych podróży dla najistotniejszych par motywacji (dla rozważanej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych) czyli dom-praca oraz praca-dom zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości od rejonu centralnego.

Należy zauważyć, że przyjęte modele są ważne dla każdego rejonu transportowego z wyjątkiem rejonu centralnego, który najczęściej jest rynkiem miasta.

### 7.5.2. MODELE GENEROWANIA RUCHU DROGOWEGO W ZALEŻNOŚCI OD WSKAŹNIKA GĘSTOŚCI ZALUDNIENIA I-TEGO REJONU TRANSPORTOWEGO

Na podstawie założeń przyjętych w rozdziale 5 poniżej przedstawiono matematyczne modele, wybranej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych, tj. pracujący-mężczyzna-samochód-miasto (PMSC), które określają liczbę wykonywanych podróży dla przyjętych pary motywacji i analizowanej zmiennej objaśniającej  $Z_{2i}$ .

Ogólna postać modelu dla zmiennej objaśniającej: wskaźnik gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania) przedstawia się następująco:

$$R_{i,PMSC,m} = f(W_{NP,i}), [\text{podróży osoby/dobę}] \quad (7.115)$$

gdzie:

$R_{i,PMSC,m}$  – liczba podróży w dobie przeciętnego dnia roboczego osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych : pracujący-mężczyzna-samochód-miasto zamieszkujący w i-tym rejonie transportowy dla motywacji  $m$  [podróży osoby/dobę];

$F(W_{NP,i})$  – funkcja opisująca liczbę wykonanych podróży dla określonej zmiennej: wskaźnika gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego [osoby/km<sup>2</sup>].

W tabeli 7.5.2 przedstawiono wyniki analiz regresji i korelacji dla czwartego stopnia szczegółowości dla wyżej wymienionej osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych dla analizowanych par motywacji i zmiennej objaśniającej  $Z_{2i}$ .

Natomiast na rys. 7.5.2. przedstawiono wykresy funkcji ruchliwości opisywanej osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych dla przyjętych par motywacji przy zmiennej objaśniającej – wskaźnik gęstości zaludnienia rejonu transportowego miejsca zamieszkania.

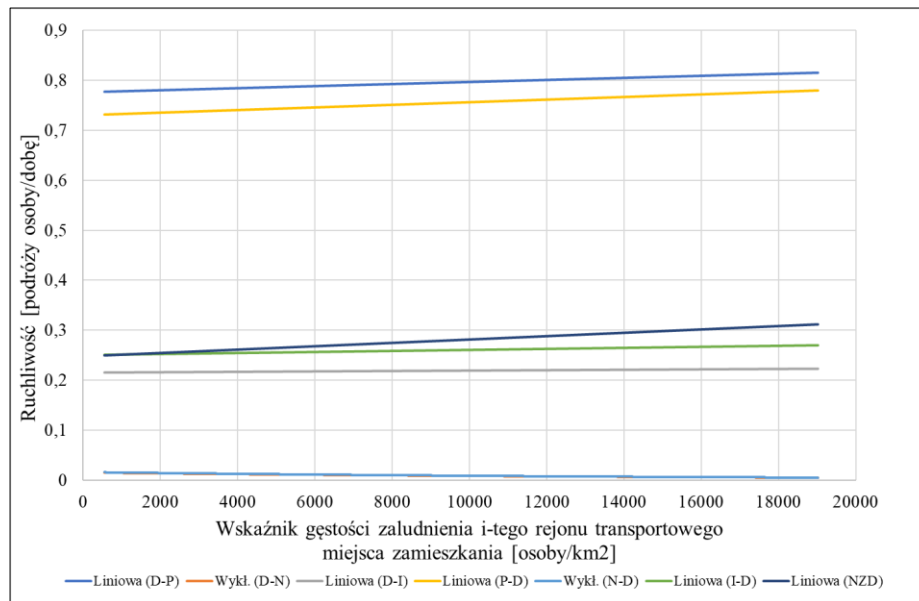
Dla większości matematycznych modeli uzyskano duże wartości współczynników determinacji  $R^2$  powyżej 0,55. W tym przypadku dla trzech par motywacji współczynnik  $R^2$  jest mały i stanowi poniżej 0,35 (są to motywacje dom-inne, inne-dom i niezwiązane z domem).

Na podstawie uzyskanych wyników analiz można stwierdzić, że liczba generowanych podróży dla najistotniejszych motywacji wybranej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych czyli dom-praca oraz praca-dom rośnie wraz ze wzrostem zaludnienia w i-tym rejonie transportowym.

Tab. 7.5.2. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna-samochód-miasto (PMSC) dla zmiennej objaśniającej - wskaźnik gęstości zaludnienia i-tego rejonu transporto-

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji R	Współczynnik determinacji R <sup>2</sup>	Odchylenie standardowe składnika resztowego Se	Wielkość próby
Pracujący-mężczyzna-samochód-miasto (PMSC)	d-p	$R_{i,PMSC,d-p} = 0,000002 * W_{NP} + 0,7754$ (7.116)	0,8630	0,7447	0,0130	15 219
	d-n	$R_{i,PMSC,d-n} = 0,0151 * e^{-0,000006W_{NP}}$ (7.117)	0,7537	0,5681	0,0050	
	d-i	$R_{i,PMSC,d-i} = 0,0000004 * W_{NP} + 0,2144$ (7.118)	0,1288	0,0166	0,0180	
	p-d	$R_{i,PMSC,p-d} = 0,000003 * W_{NP} + 0,7304$ (7.119)	0,8028	0,6445	0,0180	
	n-d	$R_{i,PMSC,n-d} = 0,0016 * e^{-0,000006W_{NP}}$ (7.120)	0,7719	0,5959	0,0050	
	i-d	$R_{i,PMSC,i-d} = 0,000001 * W_{NP} + 0,2504$ (7.121)	0,2216	0,0491	0,0210	
	nzd	$R_{i,PMSC,nzd} = 0,000003 * W_{NP} + 0,248$ (7.122)	0,5908	0,349	0,0320	





Rysunek 7.5.2. Wykres funkcji ruchliwości osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna-samochód-miasto  $R_{i,PMSC,m}$  dla analizowanych par motywacji i rozważanej zmiennej objaśniającej – wskaźnik gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania)  $W_{NP,i}$

### 7.5.3. MODELE GENEROWANIA RUCHU DROGOWEGO W ZALEŻNOŚCI OD WSKAŹNIKA OBSŁUGI TRANSPORTEM ZBIOROWYM I-TEGO REJONU TRANSPORTOWEGO

Tak jak w poprzednich dwóch podrozdziałach przedstawiono matematyczne modele, wybranej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych dla czwartego poziomu szczegółowości, tj. pracujący-mężczyzna-samochód-miasto (PMSC) z podziałem na przyjęte pary motywacji.

Ogólna postać matematycznych modeli dla zmiennej objaśniającej: wskaźnika obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tym rejonu transportowego (miejsca zamieszkania) przedstawia się następująco:

$$R_{i,PMSC,m} = f(W_{T,i}), \text{ [podróży osoby/dobę]} \quad (7.123)$$

gdzie:

$R_{i,PMSC,m}$  – liczba podróży w dobie przeciętnego dnia roboczego osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna-samochód-miasto zamieszkujący w i-tym rejonie transportowy dla motywacji m [podróży osoby/dobę];

$F(W_{T,i})$  – funkcja opisująca liczbę wykonanych podróży dla określonej zmiennej: wskaźnika obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego miejsca zamieszkania [poj. km\*liczba przystanków w rejonie transportowym].

Poniżej w tabeli 7.5.3. przedstawiono wyniki analiz regresji i korelacji dla czwartego stopnia szczegółowości dla wyżej wymienionych osób z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych dla przyjętych par motywacji podróży i rozważanej zmiennej objaśniającej.

Dla większości modeli matematycznych uzyskano duże wartości współczynników determinacji  $R^2$  powyżej 0,55. Wyjątek stanowią modele opisujące liczbę podróży w motywacji niezwiązanej z domem, dla którego  $R^2$  jest niezadowalający (0,1).

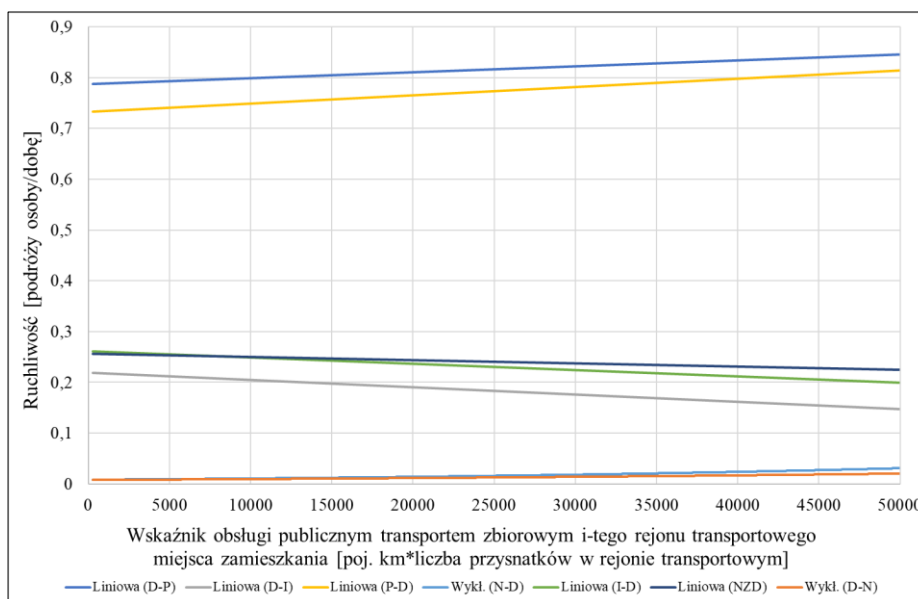
Na rys. 7.5.3. zobrazowano wykresy funkcji ruchliwości osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych dla wszystkich par motywacji przy zmiennej objaśniającej - wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego miejsca zamieszkania.

Na podstawie uzyskanych wyników analiz można stwierdzić, że liczba wykonywanych podróży przez omawianą osobę z grupy jednorodnych zachowań transportowych dla najistotniejszych motywacji (tj. dom-praca, praca-dom) wzrasta wraz ze wzrostem atrakcyjności transportowej, natomiast maleje dla par motywacji dom-inne oraz inne-dom.

Należy zauważyć, że przyjęte modele są ważne dla rejonu transportowego, w którym występuje co najmniej jeden przystanek publicznego transportu zbiorowego.

Tab. 7.5.3. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna-samochód-miasto (PMSC) dla zmiennej objaśniającej: wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym i- tego rejonu transportowego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Odchylenie standardowe składnika resztkowego $Se$	Wielkość próby
Pracujący-mężczyzna-samo-chód-miasto (PMSC)	d-p	$R_{i,PMSC,d-p} = 0,000001 * W_T + 0,7878$ (7.124)	0,7837	0,6142	0,021	15258
	d-n	$R_{i,PMSC,d-n} = 0,0000004 * W_T + 0,0084$ (7.125)	0,7663	0,5872	0,004	
	d-i	$R_{i,PMSC,d-i} = -0,000001 * W_T + 0,2188$ (7.126)	0,7932	0,6292	0,028	
	p-d	$R_{i,PMSC,p-d} = 0,000002 * W_T + 0,7323$ (7.127)	0,7848	0,6159	0,03	
	n-d	$R_{i,PMSC,d-n} = 0,0078 * e^{-0,000002W_T}$ (7.128)	0,7763	0,6027	0,008	
	i-d	$R_{i,PMSC,i-d} = -0,000001 * W_T + 0,2617$ (7.129)	0,7615	0,5799	0,024	
	nzd	$R_{i,PMSC,nzd} = -0,000007 * W_T + 0,2566$ (7.130)	0,1860	0,0346	0,048	



Rysunek 7.5.3. – Wykres funkcji ruchliwości osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-mężczyzna-samochód-miasto  $R_{i,PMSC,m}$  dla analizowanych par motywacji i rozważanej zmiennej objaśniającej - wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego  $W_{T,i}$

## 7.6. PRZYKŁADY WYZNACZONYCH MODELI DLA POZIOMU CZWARTEGO WYBRANYCH GRUP OSÓB JEDNORODNYCH ZACHOWAŃ TRANSPORTOWYCH

Matematyczne modele, które zostały przedstawione w podrozdziałach 7.5.1. – 7.5.3. dotyczyły jednej, wybranej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych, tj. pracujący-mężczyzna-samochód-miasto. W niniejszym podrozdziale przedstawiono dla przykładu matematyczne modele generowania ruchu drogowego dla innych wybranych grup osób jednorodnych zachowań transportowych dla wszystkich analizowanych zmiennych objaśniających.

Ogólne postaci matematycznych modeli przyjmują formułę analogicznie jak w poprzednich podrozdziałach. Przedstawiono po dwa przykłady grupy osób jednorodnych zachowań transportowych dla każdej ze zmiennych objaśniających. Wybrano następujące grupy osób jednorodnych zachowań transportowych dla rozważanych zmiennych objaśniających:

- odległość i-tego rejonu transportowego miejsca zamieszkania od rejonu centralnego ( $Z1_i$ ) dla grup:
  - pracujący-kobieta-samochód-wieś (tab. 7.6.1 i rys. 7.6.1),

- 
- uczeń-kobieta-bez samochodu-miasto (tab. 7.6.2 i rys. 7.6.2);
  - wskaźnik gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego miejsca zamieszkania ( $Z_2$ ) dla grup:
    - emeryt-kobieta-bez samochodu-miasto (tab. 7.6.3 i rys. 7.6.3),
    - pozostali-mężczyzna-bez samochodu-miasto (tab. 7.6.4 i rys. 7.6.4);
  - wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego miejsca zamieszkania ( $Z_3$ ) dla grup:
    - student-kobieta-bez samochodu-miasto (tab. 7.6.5 i rys. 7.6.5),
    - pozostali-mężczyzna-bez samochodu-miasto (tab. 7.6.6 i rys. 7.6.6).

W tabelach od 7.6.1. do 7.6.6. przedstawiono wyniki analiz regresji i korelacji dla czwartego stopnia szczegółowości dla wyżej wymienionych grup osób jednorodnych zachowań transportowych dla wszystkich analizowanych par motywacji i rozważanych zmiennych objaśniających.

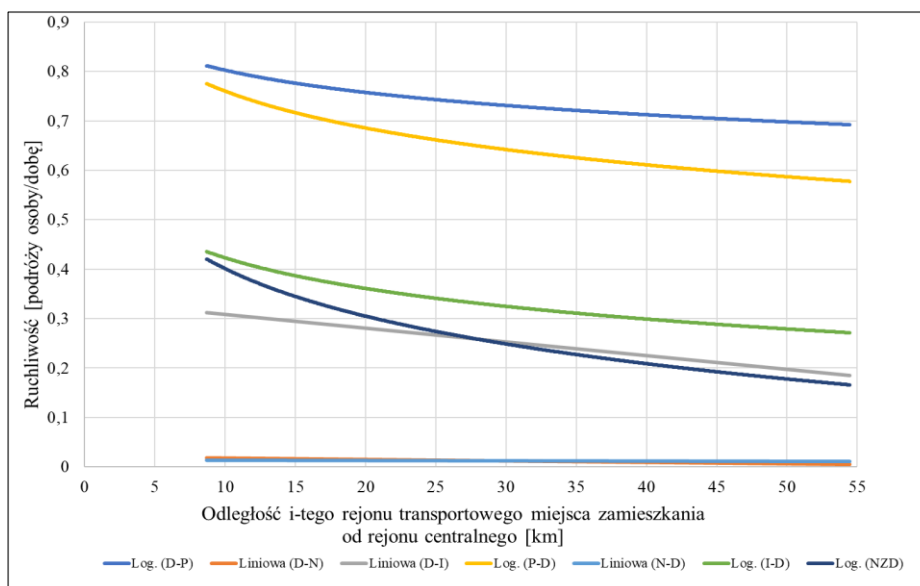
Natomiast na rysunkach od 7.6.1. do 7.6.6. przedstawiono graficznie wykresy funkcji ruchliwości opisywanych grupy osób jednorodnych zachowań transportowych dla wszystkich analizowanych par motywacji przy wybranej zmiennej objaśniającej.

Tab. 7.6.1. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-kobieta-samochód-wieś (PKSW) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

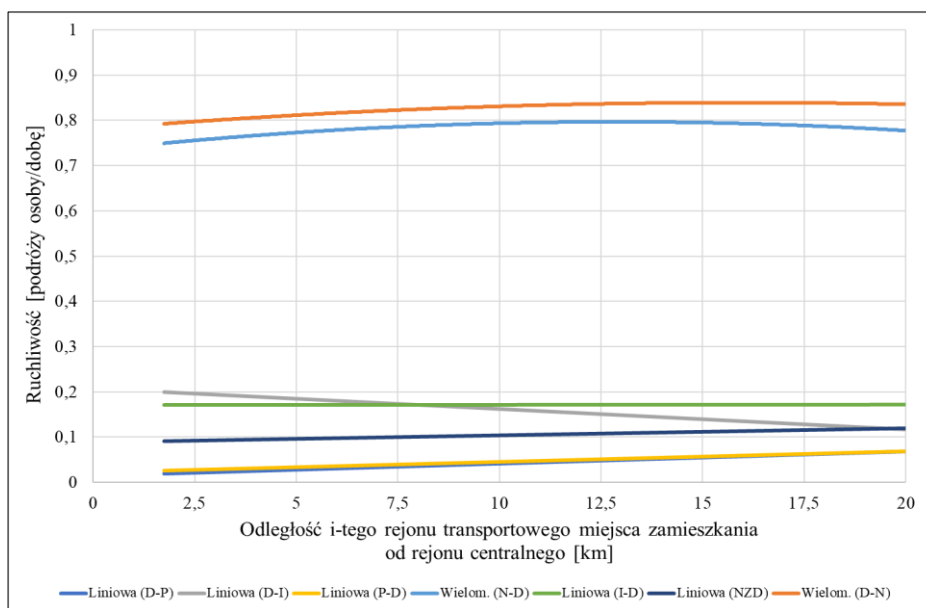
Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Odchylenie standardowe składnika resztowego $Se$	Wielkość próby
Pracujący-kobieta-samochód-wieś (PKSW)	d-p	$R_{i,PKSW,d-p} = -0,065 * \ln(L_c) + 0,9525$ (7.131)	0,7787	0,6064	0,0455	2 786
	d-n	$R_{i,PKSW,d-n} = -0,00007 * L_c + 0,0145$ (7.132)	0,1543	0,0238	0,0074	
	d-i	$R_{i,PKSW,d-i} = -0,0028 * L_c + 0,3366$ (7.133)	0,8076	0,6522	0,0482	
	p-d	$R_{i,PKSW,p-d} = -0,108 * \ln(L_c) + 1,0082$ (7.134)	0,8747	0,7651	0,0702	
	n-d	$R_{i,PKSW,n-d} = -0,0003 * L_c + 0,0204$ (7.135)	0,5409	0,2926	0,0065	
	i-d	$R_{i,PKSW,i-d} = -0,089 * \ln(L_c) + 0,6289$ (7.136)	0,8179	0,6689	0,0545	
	nzd	$R_{i,PKSW,nzd} = -0,139 * \ln(L_c) + 0,7205$ (7.137)	0,8096	0,6554	0,0977	

Tab. 7.6.2. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: uczeń-kobieta-bez samochodu-miasto (UKBC) dla zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Odchylenie standardowe składnika resztowego $Se$	Wielkość próby
Uczeń-kobieta-bez samochodu-miasto (UKBC)	d-p	$R_{i,UKBC,d-p} = 0,0027 * L_c + 0,0138$ (7.138)	0,9453	0,8935	0,0402	618
	d-n	$R_{i,UKBC,d-n} = -0,0002 * L_c^2 + 0,0074 * L_c + 0,7802$ (7.139)	0,8592	0,7383	0,039	
	d-i	$R_{i,UKBC,d-i} = -0,0046 * L_c + 0,208$ (7.140)	0,9134	0,8343	0,0585	
	p-d	$R_{i,UKBC,p-d} = 0,0023 * L_c + 0,0225$ (7.141)	0,9453	0,8935	0,0356	
	n-d	$R_{i,UKBC,n-d} = -0,0004 * L_c^2 + 0,0098 * L_c + 0,7334$ (7.142)	0,9560	0,9139	0,0747	
	i-d	$R_{i,UKBC,i-d} = 0,00003 * L_c + 0,1721$ (7.143)	0,0200	0,0004	0,0499	
	nzd	$R_{i,UKBC,nzd} = 0,0016 * L_c + 0,0882$ (7.144)	0,4091	0,1674	0,0438	



Rysunek 7.6.1. – Wykres funkcji ruchliwości osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pracujący-kobieta-samochód-wieś  $R_{i,PKSW,m}$  dla analizowanych par motywacji i rozważanej zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania) od rejonu centralnego  $L_{C,i}$



Rysunek 7.6.2. – Wykres funkcji ruchliwości osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: uczeń-kobieta-bez samochodu-miasto  $R_{i,UKBC,m}$  dla analizowanych par motywacji i rozważanej zmiennej objaśniającej - odległość i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania) od rejonu centralnego  $L_{C,i}$

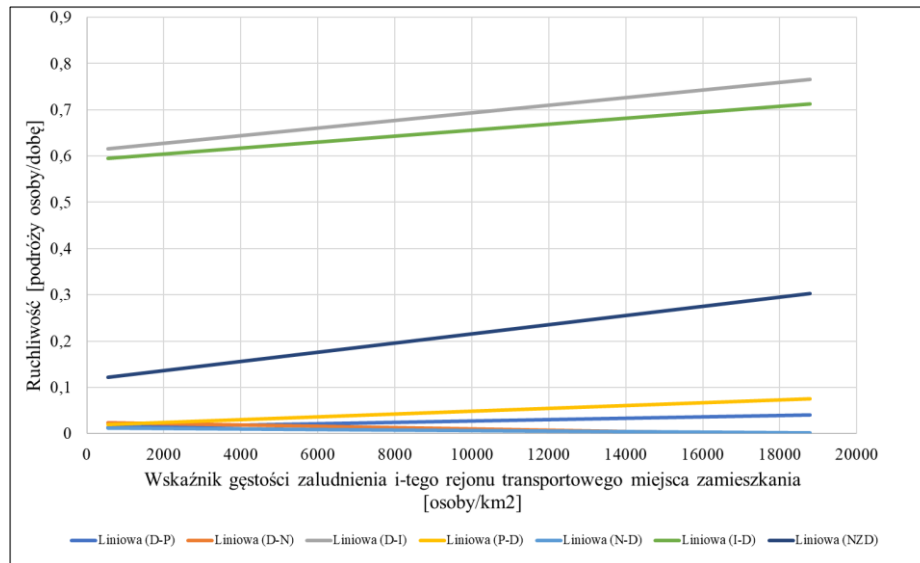


Tab. 7.6.3. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: emeryt-kobieta-bez samochodu-miasto (EKBC) dla zmiennej objaśniającej - wskaźnik gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego

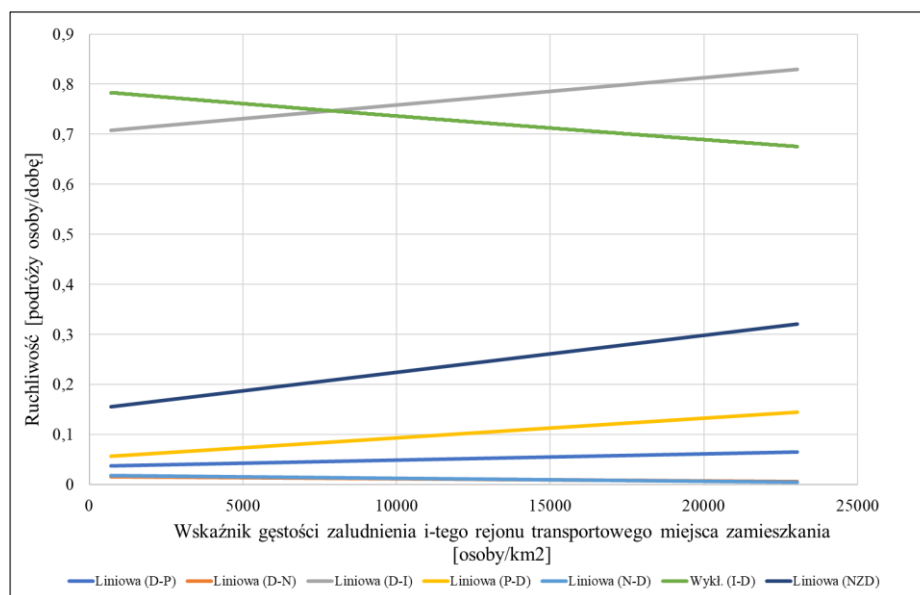
Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Odchylenie standardowe składnika resztowego $Se$	Wielkość próby
Emeryt-kobieta-bez samochodu-miasto (EKBC)	d-p	$R_{i,EKBC,d-p} = 0,000001 * W_{NP} + 0,0123$ (7.145)	0,7632	0,5824	0,0106	5279
	d-n	$R_{i,EKBC,d-n} = -0,000001 * W_{NP} + 0,0246$ (7.146)	0,7519	0,5654	0,0141	
	d-i	$R_{i,EKBC,d-i} = 0,000008 * W_{NP} + 0,6114$ (7.147)	0,7828	0,6127	0,0581	
	p-d	$R_{i,EKBC,p-d} = 0,000003 * W_{NP} + 0,018$ (7.148)	0,8779	0,7708	0,0178	
	n-d	$R_{i,EKBC,n-d} = -0,0000005 * W_{NP} +$ $+0,0119$ (7.149)	0,7772	0,604	0,0047	
	i-d	$R_{i,EKBC,i-d} = 0,000006 * W_{NP} +$ $+0,5919$ (7.150)	0,7923	0,6278	0,0448	
	nzd	$R_{i,EKBC,nzd} = 0,00001 * W_{NP} + +0,1167$ (7.151)	0,8486	0,7201	0,0648	

Tab. 7.6.4. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pozostali-mężczyzna-bez samochodu-miasto (IMBC) dla zmiennej objaśniającej i wskaźnik gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego

Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Odchylenie standardowe składnika resztowego $Se$	Wielkość próby
Pozostali-mężczyzna-bez samochodu-miasto (IMBC)	d-p	$R_{i,IMBC,d-p} = 0,000001 * W_{NP} + 0,0365$ (7.152)	0,8089	0,6544	0,0109	5 816
	d-n	$R_{i,IMBC,d-n} = -0,0000004 * W_{NP} + 0,0166$ (7.153)	0,3209	0,103	0,0091	
	d-i	$R_{i,IMBC,d-i} = 0,000005 * W_{NP} + 0,7038$ (7.154)	0,8024	0,6439	0,0413	
	p-d	$R_{i,IMBC,p-d} = 0,000004 * W_{NP} + 0,1512$ (7.155)	0,8626	0,744	0,0319	
	n-d	$R_{i,IMBC,n-d} = -0,0000006 * W_{NP} + 0,0187$ (7.156)	0,3735	0,1395	0,0114	
	i-d	$R_{i,IMBC,i-d} = 0,7867^{-0,00000007W_{NP}}$ (7.157)	0,7993	0,6389	0,0379	
	nzd	$R_{i,IMBC,nzd} = 0,000007 * W_{NP} + 0,1512$ (7.158)	0,7891	0,6227	0,0654	



Rysunek 7.6.3. – Wykres funkcji ruchliwości osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: emeryt-kobieta-bez samochodu-miasto  $R_{i,EKBC,m}$  dla analizowanych par motywacji i rozważanej zmiennej objaśniającej - wskaźnik gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania)  $W_{NP,i}$



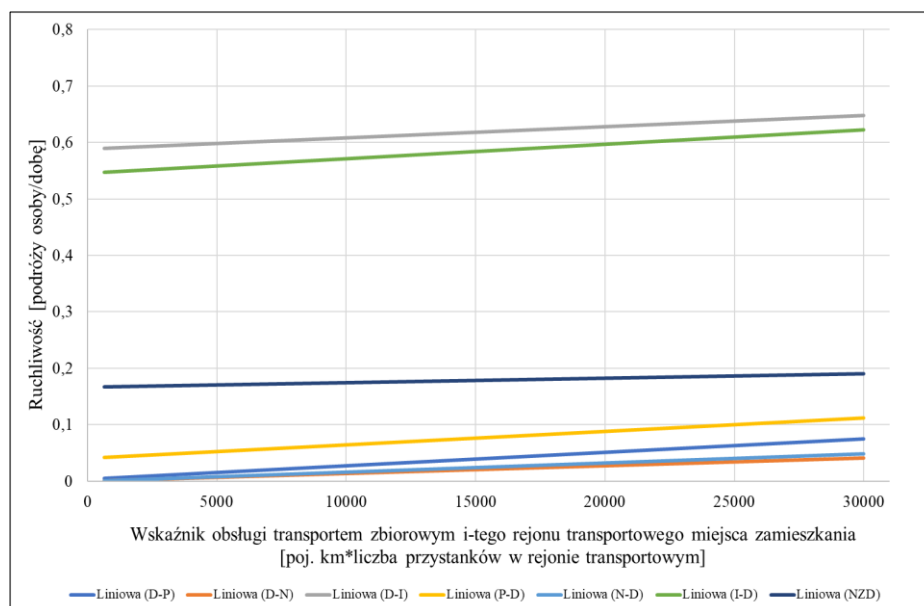
Rysunek 7.6.4. – Wykres funkcji ruchliwości osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pozostali-mężczyzna-bez samochodu-miasto  $R_{i,IMBC,m}$  dla wszystkich par motywacji i rozważanej zmiennej objaśniającej - wskaźnik gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania)  $W_{NP,i}$

Tab. 7.6.5. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pozostali-mężczyzna-samochód-miasto (IMSC) dla zmiennej objaśniającej - wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego

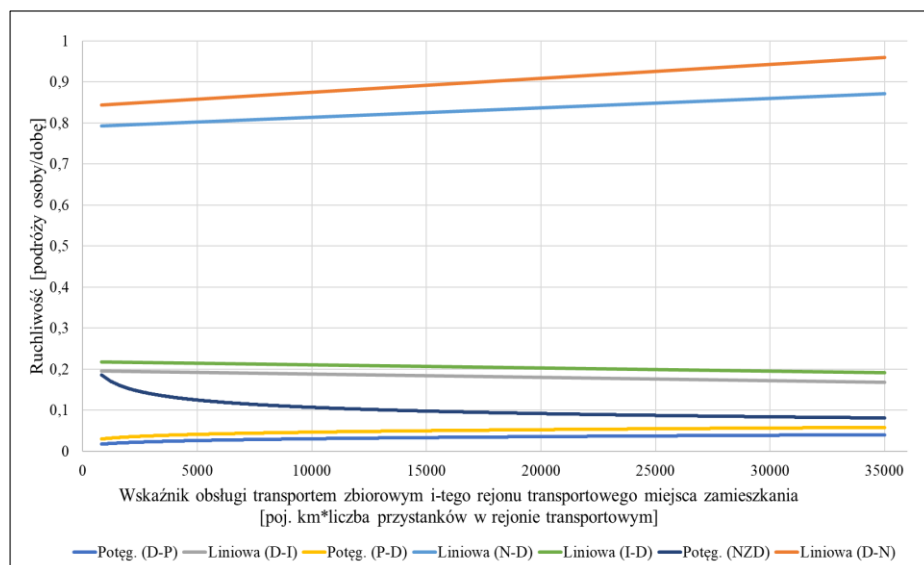
Grupa jednorodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Odczylenie standardowe składnika resztowego $Se$	Wielkość próby
Pozostali-mężczyzna-samo-chód-miasto (IMSC)	d-p	$R_{i,IMSC,d-p} = 0,000002 * W_T + 0,0032$ (7.159)	0,8194	0,6714	0,0259	618
	d-n	$R_{i,IMSC,d-n} = 0,000001 * W_T + 0,0007$ (7.160)	0,9707	0,9423	0,0139	
	d-i	$R_{i,IMSC,d-i} = 0,000002 * W_T + 0,5878$ (7.161)	0,8055	0,6488	0,0152	
	p-d	$R_{i,IMSC,p-d} = 0,000002 * W_T + 0,04$ (7.162)	0,7781	0,6054	0,0259	
	n-d	$R_{i,IMSC,n-d} = 0,000002 * W_T + 0,0007$ (7.163)	0,9460	0,8949	0,0168	
	i-d	$R_{i,IMSC,i-d} = 0,000003 * W_T + 0,545$ (7.164)	0,4531	0,2053	0,0479	
	nzd	$R_{i,IMSC,nzd} = 0,0000008 * W_T + 0,166$ (7.165)	0,0539	0,0029	0,0936	

Tab. 7.6.6. Wyniki analiz regresji i korelacji opracowanych modeli dla osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: uczeń-mężczyzna-bez samocho-du-miasto (UMBC) dla zmiennej objaśniającej - wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego

Grupa jedno-rodnych zachowań transportowych	Motywacja	Postać funkcji	Współczynnik korelacji $R$	Współczynnik determinacji $R^2$	Odczylenie standardowe składnika resztowego $Se$	Wielkość próby
Uczeń-mężczyzna-samocho-d-miasto (UMBC)	d-p	$R_{i,UMBC,d-p} = 0,0037 * W_T^{0,2285}$ (7.166)	0,6299	0,3968	0,0111	3 506
	d-n	$R_{i,UMBC,d-n} = 0,000003 * W_T + 0,8402$ (7.167)	0,8507	0,7237	0,0422	
	d-i	$R_{i,UMBC,d-i} = -0,0000008 * W_T +$ $+0,1964$ (7.168)	0,1900	0,0361	0,0387	
	p-d	$R_{i,UMBC,p-d} = 0,0089 * W_T^{0,1792}$ (7.169)	0,3959	0,1567	0,0198	
	n-d	$R_{i,UMBC,n-d} = 0,000002 * W_T + 0,7913$ (7.170)	0,7871	0,6196	0,0305	
	i-d	$R_{i,UMBC,i-d} = -0,0000008 * W_T +$ $+0,2179$ (7.171)	0,1536	0,0236	0,0443	
	nzd	$R_{i,UMBC,nzd} = 0,8294 * W_T^{-0,223}$ (7.172)	0,8083	0,6534	0,0372	



Rysunek 7.6.5. – Wykres funkcji ruchliwości osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: pozostali-mężczyzna-samochód-miasto  $R_{i,IMSC,m}$  dla analizowanych par motywacji i rozważanej zmiennej objaśniającej - wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania)  $W_{T,i}$



Rysunek 7.6.6. – Wykres funkcji ruchliwości osoby z grupy osób jednorodnych zachowań transportowych: uczeń-mężczyzna-bez samochodu-miasto  $R_{i,UMBC,m}$  dla wszystkich par motywacji i rozważanej zmiennej objaśniającej - wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego (miejsca zamieszkania)  $W_{T,i}$

---

Po opracowaniu wszystkich matematycznych modeli wykonano ich weryfikację dla kilku losowo wybranych rejonów transportowych z analizowanymi zmiennymi objaśniającymi tj. odległości i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego, wskaźnika gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego, wskaźnika obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego. Sprawdzenie to wykazało, że ruchliwość obliczona na podstawie opracowanych modeli różniła się między sobą średnio od 3 do 5 %, chociaż występowały nieliczne przypadki, w których sięgała ona do 10%.

## 8. PODSUMOWANIE I KIERUNKI DALSZYCH PRAC BADAWCZYCH

### Podsumowanie

Model transportowy jest jednym z kluczowych narzędzi wspomagających nowoczesne zarządzanie rozwojem analizowanego obszaru, w tym prowadzenia prac analitycznych w zakresie ekonomicznym, środowiskowym, społecznym, podejmowaniem strategicznych i operacyjnych decyzji dotyczących rozwoju systemów transportowych i ich infrastruktury. Uzyskane wyniki z tych modeli służą m.in. do potwierdzenia lub zaprzeczenia zasadności realizacji planowanych inwestycji czy ich przebudowy.

Możliwe jest prowadzenie coraz to dokładniejszych analiz, chociażby z uwagi na dostęp do komputerów o dużej mocy obliczeniowej. Umożliwia to badanie zjawisk zachodzących w środowisku w dużo szybszym tempie niż przeprowadzenie eksperymentów w realnym świecie. Wyniki takich badań można wykorzystywać m.in. w analizach przemieszczania się mieszkańców.

Z przeglądu literatury tematu wynika, że najczęściej stosowanym modelem transportowym, ze względu na swoją stosunkowo prostą budowę, jest wariant czterostopniowy. Idea prowadzenia analiz symulacyjnych za pomocą tego modelu, obejmuje cztery główne etapy obliczeniowe:

1. generowanie podróży,
1. wybór celu podróży,
2. wybór środka transportowego,
3. rozkład ruchu na sieci transportowe.

Podstawowym elementem pierwszego etapu jest wyznaczenie liczby generowanych podróży przez grupy osób jednorodnych zachowań transportowych. Zagadnienia z tym związane stanowią często duże wyzwanie dla autorów modeli. Kluczową kwestią jest bowiem konieczność pozyskania informacji o wykonywanych podróżach mieszkańców analizowanego obszaru. Zgromadzenie danych o podróżach mieszkańców za pomocą tradycyjnych metod (wywiadów ankietowych) jest czasochłonne i kosztowne. Dodatkowo przy budowie modelu transportowego konieczne jest też wykorzystanie specjalistycznego i bardzo kosztownego oprogramowania.

Z powyższych względów celem pracy było zbudowanie matematycznych modeli generowania podróży, które uwzględniają określone cechy użytkowników dróg i wybrane dodatkowe czynniki związane z zagospodarowaniem terenu.

Do opracowania matematycznych modeli niezbędne było zbudowanie bazy danych o mieszkańcach. Do osiągnięcia tego celu wykorzystano wyniki badań ankietowych zachowań transportowych mieszkańców przeprowadzonych w województwie kujawsko pomorskim, Warszawie i Krakowie oraz ich gminach ościennych, konurbacji górnośląskiej oraz w na terenie Gdańska. Dane te zawierały informacje o użytkownikach dróg i wykonanych przez



nich podróży. Autorka pracy pozyskała łącznie 100 134 ankiet transportowych, które były wykonane w 49 220 gospodarstwach domowych, co przekładało się na 221 813 zrealizowanych podróży. Skonstruowana tak baza danych stała się podstawą prowadzonych analiz i rozważań przedstawionych w niniejszej pracy.

W rozprawie wyznaczono matematyczne modele generowania podróży osób z poszczególnych grup osób jednorodnych zachowań transportowych przy założonych parach motywacji podróży. Dokonano podziału powyższych grup osób na cztery poziomy szczegółowości w zależności od liczby przyjętych kryteriów (przedstawiono je w rozdziale 5). Osiągnięcie celu wymagało bardzo szczegółowego podziału grup osób jednorodnych zachowań transportowych, ponieważ zadowalające wyniki uzyskano dla najbardziej szczegółowych podziałów grup osób, co zaprezentowano w rozdziale 7.

Dla poszczególnych grup osób jednorodnych zachowań transportowych, na podstawie przeglądu literatury i własnych doświadczeń, autorka zaproponowała zastosowanie w modelach następujących zmiennych objaśniających:

- odległość  $i$ -tego rejonu transportowego od rejonu centralnego ( $Z1_i$ ),
- wskaźnik gęstości zaludnienia  $i$ -tego rejonu transportowego ( $Z2_i$ ),
- wskaźnik obsługi publicznym transportem zbiorowym  $i$ -tego rejonu transportowego ( $Z3_i$ ).

Przedstawione zmienne specjalnie dobrano w taki sposób, aby można było w szybki i łatwy sposób je pozyskać i na ich podstawie obliczyć ruchliwość osoby z danej grupy.

Dla wszystkich wyznaczonych grup osób i przyjętej pary motywacji podróży oraz dla każdej ze zmiennych objaśniających analizowano sześć postaci funkcji matematycznych tj.:

- liniowa,
- logarytmiczna,
- potęgowa,
- wykładnicza,
- wielomianowa 2-go stopnia,
- wielomianowa 3-go stopnia.

Miarą jakości wyznaczonych matematycznych modeli za pomocą metody analizy korelacji i regresji były wartości współczynników korelacji ( $R$ ) i determinacji ( $R^2$ ). Dla poziomu pierwszego podziału grup osób jednorodnych zachowań transportowych (rozdział 5) uzyskano wartości współczynników  $R^2$  nie większe niż 0,2, natomiast dla poziomu drugiego i trzeciego wartość współczynnika  $R^2$  nie przekraczała 0,5. Zadowalające wyniki uzyskano dla osoby z grup osób jednorodnych zachowań transportowych dla czwartego poziomu szczegółowości, gdzie dla większości zbudowanych modeli wartość współczynnika  $R^2$  wynosiła powyżej 0,6. Wyniki analiz potwierdziły wstępne założenia autorki, że uzyskanie zadowalających wyników wymagało dość szczegółowego podziału grup osób. Warunkiem powodzenia tego działania

jest jednak konieczność posiadania wystarczającej próby badawczej, niezbędnej do budowy matematycznego modelu dla każdej grupy osób oraz par motywacji podróży.

Wykonano weryfikację dla kilku losowo wybranych rejonów transportowych, dla których pozyskano dane związane z analizowanymi zmiennymi objaśniającymi tj. odległości i-tego rejonu transportowego od rejonu centralnego, wskaźnika gęstości zaludnienia i-tego rejonu transportowego i wskaźnika obsługi publicznym transportem zbiorowym i-tego rejonu transportowego. Wykazała ona, że ruchliwości obliczone na podstawie opracowanych modeli różniły się między sobą średnio od 3 do 5 %, chociaż występowały nieliczne przypadki, w których sięgała ona do 10%. Stąd można stwierdzić, że dokładność wyznaczonych matematycznych modeli odwzorowujących liczbę wykonywanych podróży pozwala na ich praktyczne wykorzystanie przy budowie modeli transportowych.

Tym samym cel pracy przedstawiony w rozdziale 2 został osiągnięty, a zawarta tam teza badawcza udowodniona.

Wyniki pracy wykazały, że temat poruszony w rozprawie okazał się istotny z punktu widzenia naukowego, jak i praktycznego. Opracowane matematyczne modele umożliwiają w szybki i łatwy sposób określenie liczby generowanych podróży przez osobę z grup osób jednorodnych zachowań transportowych przy określonych parach motywacji oraz przyjętych zmiennych objaśniających.

### **Kierunki dalszych prac badawczych**

Przedstawione w pracy badania i ich analizy nie wyczerpują zagadnienia szacowania liczby podróży wykonywanych przez poszczególne grupy osób jednorodnych zachowań transportowych. Jako kontynuację prowadzonych prac badawczych autorka zamierza:

- w pierwszej kolejności opracować program komputerowy, który usprawni implementację wyznaczonej, na tym etapie pracy, dużej liczby matematycznych modeli podczas budowy pierwszego stopnia czterostopniowego modelu transportowego,
- regularne poszerzanie bazy danych o cechach użytkowników dróg i wykonywanych przez nich podróży, w celu oceny i weryfikacji postępujących trendów w zakresie zachowań transportowych mieszkańców danego regionu,
- opracować matematyczne modele bardziej złożonych, ale syntetycznie ujmujące zmienne objaśniające przyjęte w niniejszej pracy, z wykorzystaniem analizy regresji wielorakiej czy innych metod matematycznych, do wyznaczania liczby wykonywanych podróży przez określone grupy osób jednorodnych zachowań transportowych przy danych parach motywacji podróży,

- 
- opracować analogiczne modele generowania podróży dla kolejnych zmiennych objaśniających, które wpływają na wielkość generowanego ruchu drogowego przez grupy osób jednorodnych zachowań transportowych,
  - podjąć prace nad utworzeniem matematycznych modeli wykorzystywanych przy realizacji drugiego oraz trzeciego etapu czterostopniowych modeli transportowych, z podziałem na grupy osób jednorodnych zachowań transportowych z uwzględnieniem par motywacji podróży i zmiennych objaśniających,
  - opracować uproszczoną, szacunkową metodę wyznaczenia matematycznych modeli dla pierwszego, drugiego i trzeciego etapu czterostopniowego modelu transportowego do celów planistycznych, przede wszystkim dla podmiotów niedysponujących specjalistycznym oprogramowaniem komputerowym oraz funduszami na bardzo czaso- i kosztochłonne badania ankietowe zachowań transportowych mieszkańców.

---

**BIBLIOGRAFIA**

Aguilera, A., Wenglenski, S., Proulhac, L.: Employment suburbanisation, reverse commuting and travel behaviour by residents of the central city in the Paris metropolitan area, *Transportation Research Part A* Vol. 43, Elsevier, 2009.

Arian A., Pan M., Chiu Y., Personas: A Market Segmentation Approach for Transportation Behavior Change, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2675(11), DOI: 10.1177/03611981211028623, 2021

Badoe D.A., Chen CH.: "Unit of analysis in conventional trip generation modelling: an investigation", *Can. J. Civ. Eng.* 31, 2004.

Bauer M.: Dyskusja o zasadności prowadzenia kompleksowych badań ruchu w ramach narodowego spisu powszechnego, *Transport miejski i regionalny* 5/2015, 2015.

Bebyn G., Chmielewski J., Kempa J.: Wykorzystanie symulacyjnego modelu ruchu do analiz ruchowych związanych z budową lub przebudową obiektów inżynierskich. University Press University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz (rozdział monografii). Międzynarodowa Konferencja "Bridges - Tradition and Future", 2013/14.

Beim M., Gadziński J.: Preferencje transportowe mieszkańców województwa kujawsko-pomorskiego, *Technika Transportu Szybowego*, 4/2010.

Bell M.: "The estimation of junction turning volumes from traffic counts: The role of prior information", *Traffic Engineering Control*, 25(5), 1984.

Bi Lu-Zheng, Liu Yi-Li: Modeling driver car-following based on the queuing network cognitive architecture. In *Machine Learning and Cybernetics, 2009 International Conference on*, volume 2, July 2009.

Bifulco, G., N., Carteni A., Papola A.: An activity-based approach for complex travel behaviour modelling, *European Transport Research Review*, December, Volume 2, Issue 4, Springer International Publishing, 2010.

Birr K.: Modelowanie podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych, Politechnika Gdańska, 2018.

Bomba, G., Kwiecień K.: Wybór środka transportu w zależności od czasu etapów podróży, *Logistyka*, 3/2012, 2012.

Borowska-Stefańska M., Wiśniewski S.: Mobilność codzienna osób starszych w Łodzi, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 2019.

Bovy P.H.L, Jansen G.R.M.: Network Aggregation Effects upon Equilibrium Assignment Outcomes: An Empirical Investigation. *Transportation Science*, Vol. 17, No. 3, 1983.

---

Bunge M.: A general black box theory. *Philosophy of Science*, 1963.

Burghout W., Koutsopoulos H.N., Andreasson I.: A discrete-event mesoscopic traffic simulation model for hybrid traffic simulation. In *Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC '06. IEEE, 2006.*

Buslenko N.P., Kałasznikow W.W., Kowalenko I.N.: *Teoria systemów złożonych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1979.

Carp F.M.: Significance of mobility for the well-being of the elderly, *Transportation in an aging society: Improving mobility and safety of older persons*, vol. 2, National Academy Press, Washington, DC, 1988.

Cascetta E. Inaudi D., Marquis G.: Dynamic estimation of origin-destination matrices using traffic counts, *Transportation Science* 27, 1993.

Cascetta E.: *Transportation Systems Analysis. Models and Applications*, 2nd Edition. Springer Optimization and Its Application, Vol.29, New York, 2009.

Cascetta E.: Traffic assignment: O-D estimation from traffic counts, *Handouts of Course on Advanced Modeling and Simulation of Transportation Networks*, Sorrento, 2010.

Castiglione J., Bradley M., Gliebe J.: *Activity-Based Travel Demand Models: A Primer*. Transportation Research Board Washington. doi: 10.17226/22357, 2015.

Chamier-Gliszczyński N.: *Modeling system mobility in urban areas*, Carpathian Logistics Congress CLC, Czech Republik, Jeseník, 2012.

Chamier-Gliszczyński N.: *Modelowanie mobilności w aspekcie planowania transportu miejskiego*, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej. Koszalin, 2017.

Chmielewski J., Szczuraszek T.: *Wybrane problemy modelowania podróży w sieciach transportowych*, Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy, Bydgoszcz, 2019.

Chmielewski J., Olenkowicz-Trempała P.: "Analysis of Selected Types of Transport Behaviour of Urban and Rural Population in the Light of Surveys", *Recent Advances in Traffic Engineering for Transport Networks and Systems: 14th Scientific and Technical Conference "Transport Systems. Theory & Practice 2017" Selected Papers*, Springer International Publishing, 2018.

Chmielewski J., Olenkowicz-Trempała P.: *Porównanie wybranych charakterystyk zachowań transportowych mieszkańców zmotoryzowanych i niezmotoryzowanych*, Poznań : Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej. Oddział w Poznaniu, 2017.

Choocharukul, K., Van, H. T., Fujii, S.: Psychological effects of travel behavior on preference of residential location choice, *Transportation Research Part A* Vol. 42, Elsevier, 2008.

Chodur J.: Funkcjonowanie skrzyżowań w warunkach zmienności ruchu, *Monografia*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2007.

Coulter R., Ham M.V., Findlay A.M.: Re-thinking residential mobility: Linking lives through time and space, *Progress in Human Geography*, 40 (3), 2016.

Ciestoń-Ciulkin A., Puławska, S.: Badania zachowań transportowych w miastach z wykorzystaniem Internetu, *Logistyka* 6/2014, 2014.

Crevo C.C.: "Impacts of Zonal Reconfigurations on Travel Demand Forecasts. In *Transportation Research Record*": Journal of the Transportation Research Board, No. 1305, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 1991.

Daly A.J.: Improved methods for trip generation, presented to PTRC European Transport Forum, 1997.

Daly A.J., Miller S.: Advances in Modelling Traffic Generation, *Proceedings of the European Transport Conference*, Strasbourg, 2006.

Drew D., *Traffic flow theory and control*, Mc Graw –Hill Book Company, New York, 1968.

Dybicz T.: Modelowanie ruchu generowanego przez centra handlowo - usługowe, *Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB*, Krynica, 2001.

Dybicz T.: Wytyczne budowy Krajowego Modelu Ruchu i wykonywania prognoz ruchu. *Seminarium: Analiza i modelowanie ruchu na sieci drogowej*. Politechnika Warszawska, 2010.

Dziedzic T., Szarata A.: Wybrane wyniki kompleksowych badań ruchu w województwie małopolskim, *IX Poznańska Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna z cyklu Problemy Komunikacyjne Miast w Warunkach Zatlóczenia Motoryzacyjnego*, Poznań – Rosnówko, 2013.

Eidehall A., Petersson L.: Statistical threat assessment for general road scenes using monte carlo sampling. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 9(1), March 2008.

Encyklopedia PWN.

Florian M., Nguyen S.: A combined trip distribution, modal split and trip assignment model, *Transportation Research*, Vol. 12, 1978, pp. 241-246. Fox J., Dunkerley F., Patrani B., Daly A., *Time period choice modelling – review of practice*. RAND Corporation Santa Monica, 2015.

- Friedberg J.: Modele generacji rozkładu przestrzennego ruchu w warunkach małych i średnich miast polskich, IKŚ, Kraków, 1979
- Frasquet M., Gil I., Molla A.: Shopping-centre selection modelling: a segmentation approach. *International Review Retail, Distribution and Consumer Research* 11:1 January 2001.
- Friedrich M., Immisch K., Jehlicka P., Otterstatter T., Schlaich J.: “Generating OD matrices from Mobile Phone Trajectories”, *Transportation Research Board Annual Meeting 2010*, Washington DC, 2010.
- Gaber N.: “Traffic and Highway Engineering”, Third Edition, University of Virginia, Thomson Learning, Pacific Groove, 2002.
- Gaca S., Sucharzewski W., Tracz M.: *Inżynieria ruchu drogowego*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2008.
- Gadziński J.: Wykorzystanie telefonów komórkowych w badaniach zachowań transportowych ludności, *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*, DOI 10.4467/2543859XPKG.17.019.8025, 2017.
- Gadziński J., Goras E.: Jak zmieniała się codzienna ruchliwość mieszkańców polskich miast? 50 lat badań zachowań transportowych ludności w Polsce, *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG* 22(4), 2019.
- Gaiimo G., Anderson R., Wargelin L., Stopher P.: “Will it work? Pilot Results from the First Large Scale GPS based Household Survey in the US”, *Transportation Research Board Annual Meeting 2010*, Washington DC, 2010.
- Glanville R.: Putting the black box in place: Its status. *Cybernetics and Human Knowing*, 16 (1-2), 2009.
- Głogowski C., Zipser T.: Formy i charakterystyki parametrów splotowego modelu pośrednich możliwości dla ruchu do pracy w dużych aglomeracjach, *Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie* nr 1(97)/2012, 2012.
- Gong Qiuming, Li Yaoyu, Zhong-Ren Peng: Trip based optimal power management of plug-in hybrid electric vehicles using gas-kinetic traffic flow model. In *American Control Conference*, June 2008.
- Górka A.: Charakterystyka wybranych programów do mikrosymulacji ruchu drogowego, *Transport miejski i regionalny* 8/2016, 2016.
- GUS, Sytuacja demograficzna osób starszych i konsekwencje starzenia się ludności Polski w świetle prognozy na lata 2014–2050 (dostęp 29.10.2022).
- Haight F.: *Mathematical theories of traffic flow*. Academic Press, New York, 1963.

- Handy, S., Cao, X., Mokhtarian, P.: Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California, *Transportation Research Part D Vol. 10*, Elsevier, 2005.
- Hebel K.: Zachowania transportowe mieszkańców w kształtowaniu transportu miejskiego, Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 2013.
- Henderson J.M., Quandt R.E.: *Microeconomic Theory: a Mathematical Approach*, McGraw-Hill, New York, 1958.
- Hensher D.A., Button K., J. (red.): *Handbook of Transport Modelling*. Elsevier, Oxford, 2000.
- Hoehener D., Green P.A., Del Vecchio D.: Stochastic hybrid models for predicting the behavior of drivers facing the yellow-light-dilemma. In *American Control Conference (ACC)*, July 2015.
- Jacyna, M.: *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2009.
- Jacyna M., Kłodawski M., Wasiak M., Żak J.: *Planning the development of sustainable transport system with simulation tools*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2019.
- Jamroz K. z zespołem: *Transportowy model symulacyjny Miasta Gdańska, etap I*. Biuro Rozwoju Gdańska, Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej, materiały niepublikowane, Gdańsk, 2010.
- Janecki R.: Nowa kultura mobilności jako kierunek rozwoju transportu miejskiego i regionalnego w województwie śląskim, *Studia Ekonomiczne*, 143, 2013.
- Jaspers: *Niebieska Księga*, Warszawa, grudzień 2008.
- Jaspers: *Niebieska Księga*, Warszawa, sierpień 2015.
- Kamola M.: Wesołowski J., *Techniki analizy i modelowanie więzby ruchu miejskiego*, *Transport miejski i regionalny* 02/2019, 2019.
- Karoń G.: *Kształtowanie ruchu w miejskich sieciach transportowych w wykorzystaniem inżynierii systemów*, Gliwice: Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2019.
- Karoń G.: *Modelowanie popytu oparte na podróżach pojedynczych*, *Logistyka* 2012 nr 4, (dodatek elektroniczny „Logistyka-nauka”), 2012.
- Karwasz M.: *Model generowania ruchu drogowego przez wielkopowierzchniowe obiekty handlowo-usługowe w obszarze miasta*, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz, 2017.
- Khatib Z., Chang Y., Ou Y.: “Impacts of Analysis Zone Structures on Modeled Statewide Traffic”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 127, No. 1, 2001.



---

Khattak, A. J., Rodriguez, D.: Travel behavior in neo-traditional neighborhood developments: A case study in USA, *Transportation Research Part A Vol. 39*, Elsevier 2005.

Kleijnen J.: Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research*, 82(1), 1995.

Kobe B., Lauwerers D.: Shopping Centre Siting and Modal Choice in Belgium: A Destination – Based Analysis. *European Planning Studies*, 2014.

Kodeks Stanów Zjednoczonych, U.S.C. (ang. United States Code).

Kompleksowe Badania Ruchu – Poznań 2000. Diagnoza i wnioski. Miasto i Powiat Poznań, Poznań, 2000.

Kompleksowe badania ruchu na terenie miasta Gdańska 2009, Sopot-Warszawa, 2009

Kos B., Dydkowski G.: Modelowanie ruchu jako narzędzie zarządzania ruchem w transporcie miejskim, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego* 2014, nr 809, 2014.

Kostyniuk L.P., Trombley D.A., Shope J.T: The Process of Reduction and Cessation of Driving Among Older Drivers: A Review of the Literature, UMTRI, Ann Arbor, MI. 1998.

Kotarbiński T.: Elementy teorii poznania, logiki formalnej i metodologii nauk, Warszawa, 1995.

Kruszyna M.: Wyzwania dla Polityk Mobilności, czyli dokumentów rozwijających dotychczasowe Polityki Transportowe, *Transport Miejski i Regionalny*, 8/2014, 2014.

Krych A.: Modularne komponenty systemowe dla potrzeb analiz transportowych – zarys projektu, *Modelling 2012, Materiały III Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu”*, Politechnika Krakowska, Kraków, 2012.

Kuehne R.: Practical traffic control based on continuum modeling. In *Proceedings of the Third International Congress on Industrial and Applied Mathematics-ICIAM*, volume 95, 1995.

Krych A., Kaczkowski M., *Słownictwo kompleksowych badań i modelowania potoków ruchu*, Poznań, 2010.

Krych A., Rychlewski J. (red.): Wydajność systemów transportowych, *Materiały konferencyjne IX Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”*, Poznań–Rosnowko 19-21 czerwca 2013, SITKRP, oddział w Poznaniu, 2013.

Leszczyński J.: *Modelowanie systemów i procesów transportowych*, Warszawa, 1990.

---

Paulina Olenkowicz-Trempała | Wpływ wybranych czynników na wielkość generowanego ruchu drogowego

- Letkiewicz A.: Gospodarowanie w transporcie samochodowym, Wybrane zagadnienia, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 2006.
- Lieberman E.: Integrating gis, simulation and animation. In Simulation Conference, 1991. Proceedings., Winter, IEEE, 1991.
- Jamroz K., Birr K., Kustra W.: Strzebrakowska B.; Strategia transportu i mobilności obszaru metropolitalnego Gdańsk-Gdynia-Sopot do roku 2030, 2015.
- Jingyu Li J., and QiqLi Q.: Modeling of urban traffic system based on dynamic stochastic fluid petri net. In Power Electronics and Intelligent Transportation System, 2008. PEITS '08. Workshop on, Aug 2008.
- Macioszek E., Żochowska R., Karoń G.: Problemy gromadzenia danych dla potrzeb modelowania podróży i prognozowania ruchu, Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu”, Kraków 18-19 listopada 2010. Zeszyty naukowo-techniczne SITK RP o/Kraków. Seria: Materiały Konferencyjne nr 94, z. 153, Kraków, 2010.
- Madeyski M.: Ruchliwość komunikacyjna ludności, SGPiS, Warszawa 1974.
- Martinez L.M., Viegas J., Silva E.: Zoning Decisions in Transport Planning and Their Impact on the Precision of Results. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1994.
- Mazurkiewicz L.: Teoretyczne podstawy modeli przestrzennego oddziaływania, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Wrocław, 1986.
- Mądziel M.: Potrzeby transportowe w odniesieniu do systemów Komunikacji miejskiej, Logistyka 12/2016, 2016.
- Metropolitan Travel Forecasting: Current Practice and Future Direction -- Special Report 288. Washington, DC: The National Academies Press., National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2007.
- Meyer, M.D.: Demand management as an element of transportation policy: using carrots and sticks to influence travel behavior, Transportation Research Part A 33/1999, 1999.
- Mitchell R.B., Rapkin C., Urban Traffic: A Function of Land Use. Columbia University Press, New York, 1954.
- Mucha J., Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż. Skrypt, Katedra Geologii Kopalnianej. AGH Kraków, 1994.
- Nagel K., Wagner P., Woesler R., Still flowing: old and new approaches for traffic flow modeling. Operations Research, 51(5), 2003.
- National Guidelines for Transport System Management, 2016. Travel Demand Modelling. T1. Transport and Infrastructure Council Canberra, 2016.

Necoara I., De Schutter B., Hellendoorn H.: On structural properties of helbing's gas-kinetic traffic flow model. In American Control Conference, 2004. Proceedings of the 2004, vol.6, June 2004.

Nosal K.: Działania edukacyjne i promocyjne w zakresie zarządzania mobilnością, *Transport Miejski i Regionalny*, 1, 2011.

Nosal K.: Mobility management concept and examples of its usage in Polish conditions, *Transport Problems*, 6 (4), 2011.

Nosal K.: Przykłady planów mobilności i ocena ich skuteczności, *Transport Miejski i Regionalny*, 1/2011, 2011.

Nosal, K.: Ocena możliwości zmiany zachowań komunikacyjnych mieszkańców w aspekcie badań skuteczności instrumentów zarządzania mobilnością, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport*, z. 97, 2013.

Nosal, K., Starowicz, W.: Wybrane zagadnienia zarządzania mobilnością, *Transport miejski i regionalny*, 3/2010, 2010.

Olenkowicz-Trempała P., Chmielewski J.: *Mobility in Transportation Surveys*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021.

Ortuzar J., Willumsen L.G.: *Modelling transport*, 3rd Edition. Wiley, New York 2009.

Osyra M.: Zarządzanie mobilnością miejską-instrumenty i podstawowe etapy wdrażania zrównoważonych planów zarządzania (SUMP), *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie*, 22, 2016.

Pracownia Badań Społecznych w Sopocie na zlecenie UM Kraków: KBR 2003, Tom I i II, *Kompleksowe Badania Ruchu dla Miasta Krakowa oraz Moduł: Modelowanie ruchu - Przetwarzanie wyników badań, oraz baza danych*, Sopot, 2004.

Ratajczak W., *Modelowanie sieci transportowych*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, 1999.

Rosik P., Komornicki T., Goliszek S., Śleszyński P., Szarata A., Szejgiec-Kolenda B., Pomianowski W., Kowalczyk K.: *Kompleksowe modelowanie osobowego ruchu drogowego w Polsce. Uwarunkowania na poziomie gminnym*, Warszawa, 2018.

Rozszerzenie i aktualizacja do postaci multimodalnej modelu ruchu dla miasta Opola, Katowice, 2016.

Rudnicki A.: *Jakość komunikacji miejskiej*. Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Kraków, 1999.

Rudnicki A.: Dylematy metodyczne kompleksowych badań ruchu, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji, Oddział w Krakowie, Seria: Materiały Konferencyjne, nr 93, z. 152, 2010.

Rudnicki A.: Porównanie modeli podróży dla wybranych dużych polskich miast, Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu, Wydawnictwo PiT, Kraków, 2014.

Rune A., Holst H.: Macro-, Meso-and Micro simulation-A comparison of three DTA softwares. PhD thesis, Technical University of Denmark, DTU, DK-2800 Kgs. Lyngby, Denmark, 2007.

Sanchez-Rico M.T., Garcia-Rodenas R., Espinosa-Aranda J.L.: A monte carlo approach to simulate the stochastic demand in a continuous dynamic traffic network loading problem. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 15(3) June 2014.

Shahnum S.: Transport is not Gender-neutral, CAB 2021, Sasi Creative School of Architecture, Coimbatore – March 25th and 26th, 2021.

Schneider M., Gravity models and trip distribution theory, Papers and Proceedings of the Regional Science Association V, 1959.

Schriber T.J., Brunner D.T.: Inside discrete-event simulation software: How it works and why it matters. In Proceedings of the 30th conference on Winter simulation, IEEE Computer Society Press, 1998.

Sierpiński G.: Sposoby przemieszczania na wybranym obszarze miejskim – potrzeby i możliwości, Prace naukowe Politechniki Śląskiej, Transport, z. 74, 2012.

Sierpiński G.: Zachowania komunikacyjne osób podróżujących a wybór środka transportu w mieście, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej 2012, z. 84, 2012.

Sierpiński, G.: Zachowania komunikacyjne osób podróżujących a wybór środka transportu w mieście, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, z. 84, 2012.

Sivakumar A.: Modelling transport: A Synthesis of Transport Modelling Methodologies, Imperial College London: London, UK, 2007.

Smith M.E., "Design of small-sample home-interview travel surveys", Transportation Research Record Issue Number: 701, Publisher: Transportation Research Board.

Sobota A.: Wspomaganie decyzji w procesie doboru typu skrzyżowania drogowego w miastach, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2019.

Sobota A.: Płynność ruchu w świetle badań naukowych, Systemy transportowe. Teoria i praktyka, VI Konferencja naukowo-techniczna, Katowice, 22 września

---

Paulina Olenkowicz-Trempała - Wpływ wybranych czynników na wielkość generowanego ruchu drogowego

---

2009. Materiały konferencyjne, Katedra Inżynierii Ruchu, Wydział Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice, 2009.

Sobota A., Karoń G.: Próba zdefiniowania pojazdu zakłóconego na wybranych odcinkach dróg wielopasowych w aspekcie płynności ruchu, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, Nr kol. 1825, seria Transport z. 66, str. 97-106. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2010.

Sobota A., Janecki R., Karoń G., Żochowska R. i in.: Zintegrowany System Zarządzania Transportem na obszarze miasta Bielska-Białej, etap I - wykonanie Modelu Ruchu, Praca NB 148/RT-5/13/14. Politechnika Śląska, Katowice - Bielsko-Biała, 2015.

Sobota A., Żochowska R., Karoń G., Soczówka P.: Badania preferencji komunikacyjnych w obszarach zurbanizowanych w kontekście mobilności. Planowanie ruchu a wyzwania globalne, SIiTK RP. Oddział w Poznaniu. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, 2019.

Soh A.C, Marhaban M.H., Khalid M., Yusof R.: A discrete-event traffic simulation model for multilane-multiple intersection. In Control Conference (ASCC), 2013 9th Asian, June 2013.

Spółka Ernest&Young oraz Politechnika Krakowska: Zbiorcze studium wykonalności dla projektu pt: Zintegrowany System Transportu Szynowego Aglomeracji i we Wrocławiu –etap I oraz materiały niepublikowane, Wrocław, 2008.

Starowicz, W.: Zarządzanie mobilnością wyzwaniem polskich miast, *Transport Miejski i Regionalny*, nr 1/2011, 2011.

Steenbrink P.: Optymalizacja sieci transportowych, WKiŁ, Warszawa 1978.

Stopher P., Kockelman K., Greaves S., Clifford E.: Reducing Burden and Sample Size in Multi-day Household travel survey, Transportation Research Board Annual Meeting 2008, Washington DC, 2008.

Stouffer S.A.: Intervening Opportunities: A Theory Relating Mobility and Distance. *American Sociological Review* 5(6), doi: 10.2307/2084520, 2006.

Studium transportowe subregionu centralnego województwa śląskiego, Warszawa, 2018.

Sucharzewski W., Brzeziński A., Waltz A.: Modelowanie i prognozowanie ruchu – od liczydła do Big Data. *Transport Miejski i Regionalny*, ISSN 1732-5153, 2020.

Supernak J., Modele powstawania miejskiego ruchu osobowego, WKiŁ, Warszawa, 1980.

Swamm N., Stopher P.: Evaluation of a GPS Survey by Means of Focus Groups”, Transportation Research Board Annual Meeting 2008, Washington DC, 2008.

Szarata A.: Analizy symulacyjne zmian w funkcjonowaniu systemu transportu w miastach, *Transport Miejski i Regionalny* 2012, nr 11, 2012.

Szarata A.: Badanie potencjałów ruchotwórczych wybranych obiektów handlowych w Warszawie – raport. Pracownia Planowania Układów Komunikacyjnych System, Kraków, 2012.

Szarata A. z zespołem: Badania zachowań komunikacyjnych mieszkańców Krakowskiego Obszaru Metropolitarnego; Kraków, 2014.

Szarata A.: Kompleksowe badania ruchu w Krakowie w 2013 r. – wybrane wyniki, *Logistyka* 6/2014, 2014.

Szarata A.: Modelowanie podróży wzbudzonych oraz tłumionych zmianą stanu infrastruktury transportowej, Kraków, 2013.

Szarata A., Wpływ zmian w strukturze przestrzennej na parametry 4-stadiowego modelu transportowego miasta, *Czasopismo Techniczne*, z. 3, r. 107, 2010.

Szarata, A., Żygłowicz, J.: Dynamiczne modele podróży, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego, Poznań – Rosnówko 15-17 czerwca 2011, SITKRP, oddział w Poznaniu, s.42-51.

Szarata A. z zespołem: Strategia rozwoju Rzeszowa na lat 2015-2020, Uwarunkowania i kierunki związane z systemem transportowym, Warszawa, 2015.

Szarata A. z zespołem: Budowa modelu symulacyjnego województwa małopolskiego, materiały niepublikowane, Politechnika Krakowska, Kraków, 2013.

Szczuraszek T.: Prędkość pojazdów w warunkach drogowego ruchu swobodnego. Komitet Inżynierii Lądowej i wodnej Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, 2008.

Szczuraszek T.: Prognozowane liczby podróży absorbowanych przez miasto, *Drogi i Mosty*, 1/2009, 2009.

Szczuraszek T., Bebyn G., Chmielewski J., Kempa J.: Kompleksowe badania i analizy niezbędne do wyznaczenia kierunków rozwoju sieci drogowej miasta, *Transport Miejski i Regionalny*, 10/2007, 2007.

Szczuraszek T., Bebyn G., Chmielewski J., Kempa J.: Zachowania komunikacyjne osób w obszarze miasta, *Drogi i Mosty*, 1/2005, 2005

Szczuraszek T., Bebyn G., Chmielewski J., Kempa J.: Transport behaviours of inhabitants in big and medium cities of Poland, International conference: Modeling and management in Transportation Kraków-Poznań, 1999.

Szczuraszek T., Chmielewski J.: Opis sieci transportowej na potrzeby budowy symulacyjnych modeli transportowych, *Autobusy* 2017, nr 12, 2017.

Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: Sieciowa prognoza ruchu dla miasta Legnicy w ramach programu budowy zintegrowanego systemu zarządzania ruchem z ustanowieniem priorytetu dla komunikacji publicznej. Raport z badań. UTP Bydgoszcz. 2009.

Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G., Iwanowicz D., Mikulska A.: Model Transportowy Bydgosko-Toruńskiego Obszaru Partnerstwa. Raport z badań. UTP Bydgoszcz. 2016.

Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G., Iwanowicz D., Olenkiewicz P., Karwasz M., Klusek R.: Opracowanie modeli transportowych m. Torunia dla stanu istniejącego i prognozy na rok 2025. Raport z badań. UTP Bydgoszcz. 2014.

Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G., Olenkiewicz P., Iwanowicz D., Karwasz M., Klusek R., Wiśniewski D.: Studium Transportowego Województwa Kujawsko-Pomorskiego. Raport z badań. UTP Bydgoszcz. 2013.

Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G., Olenkiewicz P., Iwanowicz D., Karwasz M., Klusek R., Wiśniewski D.: Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla województwa kujawsko –pomorskiego. Raport z badań. UTP Bydgoszcz. 2014.

Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G., Olenkiewicz P., Iwanowicz D., Karwasz M., Klusek R., Wiśniewski D.: Symulacyjny Model Transportowy Nakła Nad Notecią. Raport z badań. UTP Bydgoszcz. 2016.

Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G., Sawoszczuk A., Karwasz M., Klusek R., Wiśniewski D.: Koncepcja drogi łączącej drogę wojewódzką 216 z drogą powiatową G1509 wraz ze zintegrowanym węzłem przesiadkowym we Władysławowie. Raport z badań. UTP Bydgoszcz. 2015.

Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G., Wosik R., Karwasz M.: Plan rozwoju sieci drogowej z uwzględnieniem transportu zbiorowego dla gminy miasta Elbląg na lata 2009 - 2035. Raport z badań. UTP Bydgoszcz. 2009.

Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G., Wosik R., Karwasz M.: Studium transportowe miasta Bydgoszczy wraz z oceną stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Raport z badań. UTP Bydgoszcz. 2012.

Środowiskowe Badania Społeczne w Stanach Zjednoczonych (American Community Survey Questions and Answers), U. S. Department of Commerce Economic and Statistics Administration U.S. CENSUS BUREAU, 2010.

Tracz M. z zespołem: Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie, 2004.

Turek D. z zespołem: Opracowano w ramach pracy badawczej pt. Ankietowe badanie mobilności transportowej ludności na poziomie lokalnym, zrealizowanej przez Centrum Badań i Edukacji Statystycznej GUS. 2015.

Turek D. z zespołem: Badanie pilotażowe zachowań komunikacyjnych ludności w Polsce, zrealizowanej przez Centrum Badań i Edukacji Statystycznej GUS. 2015.

Wang Mingtao, Bi Luzheng, Lu Yun. Queuing: network modeling of brain-controlled vehicles. In Information and Automation, 2015 IEEE International Conference on, Aug 2015.

Wasiak M., Jacyna M., Lewczuk M. [i in.]: The method for evaluation of efficiency of the concept of centrally managed distribution in cities, w: Transport, vol. 32, nr 4, 2017.

VIA Visutla.: Gdańskie badania ruchu 2016 wraz z opracowaniem transportowego modelu symulacyjnego Gdańska. Gdańsk 2016.

Wolański M., Czerliński M.: Zarządzanie mobilnością a zarządzanie transportem – czyli jak aktywnie kształtować zachowania transportowe?; Horyzont 2050 – lepszy transport & lepsze miasto, Annały inżynierii ruchu i badań transportowych, 2021, t.4 (XIII); 2021.

Wu Changxu, Liu Yili.: Queuing network modeling of driver workload and performance. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 8(3), Sept 2007.

Zachowania transportowe mieszkańców dużych miast, Główne wyniki badań wzorów zachowań transportowych mieszkańców dużych polskich miast zrealizowanych w I kwartale 2021 r., Polski Alarm Smogowy, marzec 2021.

Zintegrowany system zarządzania transportem na obszarze miasta Bielska-Białej, Bielsko-Biała, 2015.

Zipser T., Sławski J.: Modele procesów urbanizacji. Teoria i jej wykorzystanie w praktyce projektowania, Tom 1 z 2, studia KPZK PAN, t. XCVIII, Polska Akademia Nauk, Warszawa 1988.

Żochowska R.: Dynamic Approach to the Origin-Destination Matrix Estimation in Dense Street Networks, The Archives of Transport, Vol.24/2012, Issue 3. 2012

Żochowska R.: Modelowanie wyboru drogi w transporcie indywidualnym – wybrane aspekty, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport z.86, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.

Żochowska R.: Modelowanie zachowań podróży w warunkach zamknięć ulic w gęstych sieciach miejskich, VI konferencja Systemy Logistyczne – teoria i praktyka w Korytnicy, 11-14 września 2012, Logistyka 4/2012 (dodatek elektroniczny Logistyka-nauka), 2012.

---

Paulina Olenkowicz-Trempała - Wpływ wybranych czynników na wielkość generowanego ruchu drogowego



Żochowska R.: Modelowanie potoków ruchu w sieci miejskiej dla potrzeb analizy zakłóceń, *Logistyka* 4/2014, 2014.

Żochowska R.: Wielokryterialne wspomaganie podejmowania decyzji w zastosowaniu do planowania tymczasowej organizacji ruchu w sieci miejskiej, Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2015.

Żochowska R., Karoń G.: Model kształtowania mobilności miejskiej w ujęciu systemowo-funkcjonalnym, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport. z. 120*, 2018.

Żochowska R., Karoń G.: Przegląd literatury na temat zjawiska kongestii i zakłóceń ruchu w systemie transportowym miasta w aspekcie modelowania podróży, III Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna nt. Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu, Kraków 15-16 listopada 2012, *Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP o/Kraków, Nr 98, Kraków. 2012.*

Żochowska R., Karoń G., Macioszek E.: Wyznaczenie macierzy podróży w sieciach miejskich – klasyfikacja i przegląd metod, Konferencja Naukowo-Techniczna, Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu, *Zeszyty Naukowo Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie, seria: Materiały konferencyjne, nr 94 (z. 153), Kraków 2010.*

Żochowska R., Sobota A., Karoń G.: Modele generowania podróży w obszarze miejskim na przykładzie Bielska-Białej, *Transport miejski i regionalny*, 2016.

### Strony internetowe

[https://archiwumbip.um.bydgoszcz.pl/binary/3\\_tcm30-133293.pdf](https://archiwumbip.um.bydgoszcz.pl/binary/3_tcm30-133293.pdf) (dostęp 21.11.2022)

<https://bip.um.wroc.pl/artukul/565/37499/kompleksowe-badania-ruchu-we-wroclawiu-i-otoczeniu-kbr-2018> (dostęp 21.11.2022)

<https://doi.org/10.17226/11981> (dostęp 21.11.2022)

<https://encyklopedia.pwn.pl/szukaj/ruchliwo%C5%9B%C4%87%20spo%C5%82eczna.html> (dostęp 21.11.2022)

<https://myshowelove.files.wordpress.com/2016/06/konturowa-mapa-polski-z-miastami.jpg> (dostęp 21.11.2022)

<https://transport.um.warszawa.pl/-/wbr-2015> (dostęp 21.11.2022)

[www.bip.krakow.pl/?sub\\_dok\\_id=96964](http://www.bip.krakow.pl/?sub_dok_id=96964) (dostęp 21.11.2022)

[www.brg.gda.pl/planowanie-przestrzenne/inne-opracowania-urbani-styczne/65-mobilnosc/282-gdanskie-badania-ruchu-2016](http://www.brg.gda.pl/planowanie-przestrzenne/inne-opracowania-urbani-styczne/65-mobilnosc/282-gdanskie-badania-ruchu-2016) (dostęp 21.11.2022)

[www.census.gov/programs-surveys/acs](http://www.census.gov/programs-surveys/acs) (dostęp 21.11.2022)

[www.cpk.pl](http://www.cpk.pl) (dostęp 21.11.2022)

[www.elsevier.com/locate/tr](http://www.elsevier.com/locate/tr) (dostęp 21.11.2022)

[www.gov.pl/web/gddkia-bydgoszcz](http://www.gov.pl/web/gddkia-bydgoszcz) (dostęp 21.11.2022)

[www.scsa.ac.in/conference](http://www.scsa.ac.in/conference) (dostęp 21.11.2022)

[www.subregioncentralny.pl](http://www.subregioncentralny.pl) (dostęp 21.11.2022)

[www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl) [www.zdit.uml.lodz.pl](http://www.zdit.uml.lodz.pl) (dostęp 21.11.2022)

---

## STRESZCZENIE

### WPŁYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA WIELKOŚĆ GENEROWANEGO RUCHU DROGOWEGO

Rozprawa doktorska dotyczy problematyki wyznaczania matematycznych modeli ruchliwości przez mieszkańców grup osób jednorodnych zachowań transportowych z uwzględnieniem par motywacji podróży w zależności od różnych elementów (cech użytkowników dróg oraz czynników zagospodarowania przestrzennego).

W pracy przedstawiono istotę modelowania w analizach i prognozach ruchu wykonywanych na potrzeby różnych opracowań m.in. dokumentów planistycznych, studiów wykonalności, oddziaływania ruchu drogowego na środowisko i innych opracowań, które są wykonywane dla zadań związanych z planowaniem przestrzennym czy zarządzaniem transportem. Wykonano również studia literaturowe rozważanej problematyki wskazując rolę generowania ruchu w czterostopniowym modelu ruchu.

Jednym z głównych elementów pracy było zbudowanie bazy danych mieszkańców oraz wskazanie czynników, które w łatwy i szybki można pozyskać do wyznaczeniu ruchliwości osoby danej grupy osób jednorodnych zachowań transportowych dla przyjętych par motywacji. Końcowym efektem pracy było wyznaczenie modeli generowania ruchu drogowego. Podstawą do ich wyznaczenia były wyniki badań ankietowych zachowań transportowych mieszkańców z kilku obszarów Polski tj. województwa kujawsko-pomorskiego, Warszawy i gmin ościennych, Krakowa i gmin ościennych, terenów konurbacji górnośląskiej oraz Gdańska.

Dokonano wyboru zmiennych objaśniających oraz opracowano metodykę wyznaczania matematycznych modeli generowania ruchu drogowego. Na podstawie analiz przyjęto poziomy szczegółowości podziału grup osób jednorodnych zachowań transportowych i par motywacji, a następnie przedstawiono wyniki przeprowadzonych analiz.

Na podstawie przeprowadzonych analiz dotyczących opracowania matematycznych modeli wyznaczających wielkość ruchliwości danych grup osób jednorodnych zachowań transportowych przy założonych parach motywacji podróży w zależności różnych czynników, sformułowano wnioski i wskazano kierunki dalszych prac badawczych.

**ABSTRACT****EFFECT OF SELECTED FACTORS  
ON THE GENERATED ROAD TRAFFIC SCALE**

The doctoral dissertation concerns the problem of determining mathematical mobility models by residents of people groups with homogeneous transport behaviors, considering travel motivations pairs depending on various elements (road user characteristics and spatial development factors).

The paper presents the essence of modeling in analyses and traffic forecasts performed for the needs of various studies, e.g., planning documents, feasibility studies, the impact of road traffic on the environment, and other studies carried out for tasks related to spatial planning or transport management. In addition, literature studies of the considered issues were also carried out, indicating the role of traffic generation in the four-stage traffic model.

One of the main elements of the work was to build a database of residents and to indicate factors that can be easily and quickly obtained to determine the mobility of a given group of people with homogeneous transport behaviors for the adopted pairs of motivation. The final result of the work was the determination of traffic generation models. The basis for their determination was the results of surveys of transport behavior of residents from several areas of Poland, i.e., the Kuyavian-Pomeranian county, Warsaw and neighboring municipalities, Kraków and neighboring cities, the regions of the Upper Silesian conurbation and Gdańsk.

Explanatory variables were selected, and a methodology for determining mathematical models of road traffic generation was developed. Based on the analysis, the division detail levels of homogeneous transport behaviors group and motivations pairs were adopted. Then the results of the analyzes were presented.

Based on the analysis of the mathematical model development determining the mobility of given people groups with homogeneous transport behaviors at the assumed travel motivations pairs depending on various factors, conclusions were formulated, and directions for further research were indicated.