

**Politechnika Krakowska**  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej

**Praca doktorska**

**Modelowanie potencjałów ruchotwórczych  
w drogowych przewozach ładunków  
w skali regionu**

**mgr inż. Tomasz Kulpa**

**Promotor: Prof. dr hab. inż. Andrzej Rudnicki**

Kraków | marzec 2013



*Wszystko powinno być tak proste, jak to tylko możliwe, ale nie prostsze.*

Albert Einstein



**SPIS TREŚCI**

1.	Wprowadzenie.....	7
1.1.	Geneza podjęcia tematu.....	7
1.2.	Potrzeba tworzenia regionalnych modeli podróży .....	9
1.3.	Cel i zakres pracy .....	9
1.4.	Tezy pracy .....	12
1.5.	Obiekt badań – definicje i klasyfikacje .....	12
1.5.1.	Definicja samochodu ciężarowego i pozostałe definicje .....	12
1.5.2.	Klasyfikacje samochodów ciężarowych .....	13
1.5.3.	Klasyfikacje dotyczące podziału jednostek terytorialnych i działalności gospodarczej.....	17
2.	Charakterystyka transportu ładunków.....	19
2.1.	Środowiska transportu ładunków .....	19
2.2.	Podział drogowych przewozów ładunków z uwagi na ich zasięg.....	20
2.3.	Czynniki mogące wywierać wpływ na drogowy transport ładunków.....	21
2.3.1.	Produkt krajowy brutto.....	22
2.3.2.	Regulacje prawne .....	23
2.3.3.	Opłaty za korzystanie z infrastruktury .....	23
2.3.4.	Warunki atmosferyczne.....	24
2.3.5.	Kursy walut .....	24
2.3.6.	Ceny paliw.....	25
2.4.	Wnioski z rozdziału 2 .....	26
3.	Modele transportu ładunków.....	27
3.1.	Klasyfikacje modeli drogowego transportu ładunków .....	27
3.2.	Przegląd modeli transportu ładunków ze szczególnym uwzględnieniem etapu modelowania potencjałów ruchotwórczych .....	29
3.2.1.	Wprowadzenie.....	29
3.2.2.	Modele o zasięgu międzynarodowym.....	30
3.2.3.	Modele o zasięgu krajowym .....	30
3.2.4.	Modele o zasięgu regionalnym .....	32
3.2.5.	Modele o zasięgu metropolitalnym (aglomeracyjnym) i miejskim .....	37
3.2.6.	Modele obiektowe .....	43
3.2.7.	Wnioski z podrozdziału 3.2.....	47
3.3.	Pomiary i badania ruchu dla potrzeb budowy modeli transportu ładunków .....	48
3.3.1.	Ocena stosowanych metod .....	50
3.3.2.	Wnioski z podrozdziału 3.3.....	52
3.4.	Przeznaczenie modeli transportu ładunków .....	52

4.	Analiza dostępnych baz danych i metody uzupełniania danych .....	54
4.1.	Dostępne bazy danych .....	54
4.1.1.	Kompleksowe badania ruchu (KBR) w strefie podmiejskiej Krakowa .....	54
4.1.2.	Kompleksowe badania ruchu w dużych miastach w Polsce .....	56
4.1.3.	Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego dla miasta Katowice .....	56
4.1.4.	Studium układu dróg szybkiego ruchu w Polsce oraz analizy studialne dla autostrad .....	56
4.1.5.	Generalny pomiar ruchu .....	57
4.1.6.	Stacje ciągłego pomiaru ruchu .....	57
4.1.7.	Bazy danych GUS .....	57
4.1.8.	Badania własne .....	58
4.1.9.	Wnioski z podrozdziału 4.1 .....	58
4.2.	Uzupełnianie brakujących danych .....	58
4.2.1.	Wprowadzenie .....	58
4.2.2.	Charakterystyka metod uzupełniania danych .....	59
4.2.3.	Uzupełnianie danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych ...	62
4.2.4.	Wnioski z podrozdziału 4.2 .....	65
5.	Modelowanie potencjałów ruchotwórczych .....	66
5.1.	Wprowadzenie .....	66
5.2.	Obliczenie empirycznych wartości potencjałów ruchotwórczych .....	67
5.2.1.	Wyznaczenie potencjałów ruchotwórczych metodą bezpośrednią dla gmin strefy podmiejskiej Krakowa .....	67
5.2.2.	Wyznaczenie potencjałów ruchotwórczych metodą pośrednią dla gmin powiatu poznańskiego .....	72
5.3.	Założenia do tworzenia modeli potencjałów ruchotwórczych .....	73
5.3.1.	Zbiór danych dla zmiennej objaśnianej .....	73
5.3.2.	Wybór zmiennych objaśniających .....	75
5.3.3.	Przyjęte metody obliczeniowe .....	79
5.4.	Budowa obszarowego modelu potencjałów ruchotwórczych dla gminy .....	81
5.4.1.	Wskaźniki generacji ruchu .....	81
5.4.2.	Regresja wieloraka .....	83
5.4.3.	Regresja nieliniowa .....	89
5.4.4.	Próba zastosowania sztucznych sieci neuronowych w estymowaniu potencjałów ruchotwórczych .....	94
5.4.5.	Uwzględnienie podziału ciężkich samochodów ciężarowych .....	96
5.5.	Weryfikacja obszarowego modelu potencjałów ruchotwórczych dla gminy .....	97
5.5.1.	Wprowadzenie .....	97

5.5.2.	Opis wykonanych pomiarów .....	97
5.5.3.	Wyniki weryfikacji.....	99
5.6.	Budowa obiektowego modelu potencjałów ruchotwórczych .....	104
5.6.1.	Wprowadzenie.....	104
5.6.2.	Opis wykonanych pomiarów .....	104
5.6.3.	Analiza wyników.....	106
5.6.4.	Obiektowy model potencjałów ruchotwórczych.....	113
5.6.5.	Wynikowe wskaźniki generacji ruchu dla obiektów.....	115
5.7.	Wnioski z rozdziału 5 .....	115
6.	Zastosowanie formuł przepływów międzygminnych do tworzenia modelu dla województwa dolnośląskiego.....	118
6.1.	Wyznaczenie więzby ruchu wewnętrznego metodą bezpośrednią dla województwa dolnośląskiego .....	118
6.1.1.	Wprowadzenie.....	118
6.1.2.	Opis oryginalnej metody Vomberga .....	120
6.1.3.	Adaptacja metody Vomberga.....	121
6.1.4.	Estymacja modelem grawitacyjnym .....	122
6.1.5.	Kalibracja modelu dla województwa dolnośląskiego .....	123
6.2.	Zastosowanie 4-stadiowego modelu dla obszaru subregionu.....	124
6.2.1.	Model sieci .....	124
6.2.2.	Obliczenie potencjałów ruchotwórczych i więzby ruchu.....	126
6.2.3.	Proces kalibracji .....	128
6.3.	Wnioski z rozdziału 6 .....	129
7.	Podsumowanie .....	130
7.1.	Spełnienie założonych celów.....	130
7.2.	Weryfikacja postawionych tez.....	131
7.3.	Wnioski generalne .....	132
7.4.	Kierunki dalszych badań .....	134
8.	Bibliografia.....	135

## **ZAŁĄCZNIKI**

Załącznik 1 – Klasyfikacja pojazdów według FHWA

Załącznik 2 – Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych

Załącznik 3 – Wyniki weryfikacji modeli potencjałów ruchotwórczych

Załącznik 4 – Lokalizacja obiektów na terenie Krakowa objętych pomiarami ruchu wjazdowego i wyjazdowego

## SKRÓTY

**BDL** – Bank Danych Lokalnych

**CEPIK** – Centralna Ewidencja Pojazdów i Kierowców

**CFS** – Commodity Flow Survey

**DMC** – dopuszczalna masa całkowita

**FHWA** – Federal Highway Administration

**GDDKiA** – Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad

**GIS** – Geographic Information System

**GPR** – Generalny Pomiar Ruchu

**GUS** – Główny Urząd Statystyczny

**ITD** – Inspekcja Transportu Drogowego

**KBR** – Kompleksowe Badania Ruchu

**NAICS** – North American Industry Classification System

**NBP** – Narodowy Bank Polski

**PKB** – Produkt Krajowy Brutto

**PKD** – Polska Klasyfikacja Działalności

**QRFM** – Quick Response Freight Manual

**SC** – samochód ciężarowy bez przyczepy o DMC powyżej 3,5 t

**SCP** – samochód ciężarowy z przyczepą lub ciągnik siodłowy z naczepą

**SD** – samochód ciężarowy o DMC poniżej 3,5 t (tzw. dostawczy)

**SIC** – Standard Industrial Classification

**STCC** – Standard Transportation Commodity Codes

**STGC** – Standard Classification of Transported Goods

**TIUS** – Truck Inventory and Use Survey

## 1. Wprowadzenie

Transport ładunków jest bardzo istotnym elementem gospodarki. Jak bardzo istotnym pokazuje przykład podany w [81], że po jednym dniu niefunkcjonowania drogowego transportu ładunków w USA pojawiłyby się braki żywności w sklepach oraz paliw na stacjach benzynowych, natomiast linie produkcyjne w wielu zakładach zatrzymałyby się z powodu braku materiałów do produkcji.

O roli drogowego transportu ładunków świadczą też konkretne liczby. W USA w 2002 roku transportem drogowym przewieziono 17,5 miliarda ton ładunków, a przewiduje się, że w 2035 roku będzie to 33,7 miliarda ton. [81]. Równie „optymistyczne” prognozy pojawiają się w opracowaniach dla Polski ([14], [19], [39], [46], [110]) oraz Unii Europejskiej [111]. W prognozie zapotrzebowania na usługi transportowe w Polsce do roku 2020 [19] przewiduje się wzrost wewnątrz krajowego transportu ładunków w tempie od 0,91 % (wariant minimum) do 1,85 % (wariant maksimum) rocznie. Dla pracy przewozowej roczna dynamika wzrostu wynosi odpowiednio do wariantu 1,85 % i 2,96 %. W przypadku przewozów międzynarodowych roczna dynamika wzrostu, w zależności od wariantu (minimum lub maksimum), zawierać się będzie w przedziale od ok. 5 % do ok. 8 %. Nieco inne prognozy przedstawione są w [114], gdzie pokazano, że w Japonii do roku 2030 ruch ciężarowy praktycznie nie będzie wzrastać.

W [79] transport zaliczony został do grupy egzogenicznych czynników lokalizacji działalności zarówno sektorów przemysłu jak i wysokiej technologii. Zauważono też, że np. budowa autostrady powoduje rozwój powiatów przez które przebiega, a w konsekwencji zapotrzebowanie na usługi transportowe.

Powyższe przykłady potwierdzają, że drogowy transport ładunków powinien być przedmiotem zainteresowania i bynajmniej nie jest problemem marginalnym.

### 1.1. Geneza podjęcia tematu

Stwierdzenie, że modelowanie transportu ładunków jest gorzej rozwinięte niż modelowanie podróży osób jest truizmem i może być znalezione praktycznie w każdej publikacji dotyczącej transportu ładunków. Cytując za [56] „*podczas gdy modelowanie podróży osób osiągnęło pewien poziom dojrzałości, modelowanie transportu ładunków jest nadal na początkowym etapie rozwoju*”<sup>1</sup>. Jednocześnie transport ładunków stanowi ważny element gospodarki [113], stąd jego dokładne rozpoznanie jest bardzo istotne.

Pomimo wielu badań i opracowań nadal modele transportu ładunków pozostawiają wiele do życzenia. Zdaniem autorów [180] wynika to między innymi z niedostatecznych baz danych oraz mniejszego doświadczenia metodycznego w stosunku do modelowania podróży osób. Ponadto autorzy stwierdzają fakt, że pomimo stosowania zaawansowanych metod matematycznych i bardzo sformalizowanego opisu procesów transportowych modele nadal są ograniczone z uwagi na dostępność i jakość danych wejściowych (por. [57]). Pojawia się też kwestia [167] czy stworzony model jest wiarygodny?

W [180] autorzy dokonują przeglądu modeli transportu ładunków. Ponadto przeprowadzają dyskusję nad przyszłymi trendami w modelowaniu transportu ładunków. Ich zdaniem uwaga powinna być skupiona nad modelami hybrydowymi, które uwzględniają łańcuchy dostaw, miejską logistykę towarów oraz przepływy ekonomiczne ładunków. Również w [179] autorzy podkreślają, że piętą achillesową modeli transportu ładunków jest słaba dostępność i jakość danych. Z drugiej strony rosnące znaczenie transportu ładunków

---

<sup>1</sup> tłumaczenie własne

stawia kolejne wyzwania w dziedzinie modelowania, a to nie idzie w parze z rozwojem technik modelowania transportu ładunków. W [42] autorzy podnoszą problem braku danych lub wykorzystywania relatywnie starych danych np. z badań ankietowych w celu estymacji więzby ruchu. Wskutek tego wiele modeli budowanych jest na danych o wątpliwej wiarygodności a w prognozowaniu wykorzystuje się bardzo proste metody wskaźnikowe. W [134] rozważano wpływ ograniczonej bazy danych oraz wyników pomiarów ruchu na budowę modeli transportu ładunków.

W odniesieniu do zbierania danych szeroki przegląd zawiera [56]. Poruszane są również kwestie budowania baz danych. W podsumowaniu [56] stwierdzono, że powoli zachodzi zmiana ze stanu braku danych do ich dostępności i zarządzania, oczywiście z uwzględnieniem różnych stopni dostępności w zależności od użytkownika. Autor stwierdza, że codziennie na całym Świecie zbierane są ogromne ilości danych i wyzwaniem staje się zarządzanie nimi, również z prawnego punktu widzenia. W [67] pojawia się również stwierdzenie, że systemy GPS i ITS, będące dobrymi źródłami danych, mogą spowodować tsunami danych bądź tak zwany problem „big data”. Autor stwierdza jednocześnie, że prawdziwym wyzwaniem jest matematyczne odwzorowanie systemów transportu ładunków.

Podobną tendencję można zaobserwować w Polsce. Główny nurt stanowią badania podróży osób, a transport ładunków jest uwzględniany niejako przy okazji. Sporadycznie zdarzają się badania tylko transportu ładunków. Skutkiem tego jest skąpa baza danych, która ogranicza możliwości modelowania. Ogromny zbiór danych stanowią wyniki Generalnego Pomiaru Ruchu (GPR), jednak nie dają one informacji o źródłach i celach podróży (co jest kluczową informacją dla modelowania podróży) a jedynie o natężeniu ruchu. Są przydatną bazą do weryfikacji modelu, jednak mało użyteczną przy jego tworzeniu.

Podstawę powinny stanowić badania ankietowe typu źródło-cel (wymagane de facto również przy opracowywaniu prognoz dla GDDKiA). Największe tego typu badania w ostatnim dziesięcioleciu prowadzone były w latach 2006 – 2007 dla potrzeb budowy krajowego modelu ruchu oraz studiów korytarzowych autostrad A1 i A2. Natomiast ostatnie duże badania ankietowe typu źródło-cel były wykonywane na drodze krajowej nr 92 między Słupcą a Koninem w roku 2011. Wykonywane one były przez prywatną firmę na zlecenie GDDKiA, a wyniki badań mogły pomóc chociażby w racjonalnym planowaniu rozwoju sieci drogowej. Pomimo to sprawę nagłośnił jeden z posłów na Sejm RP, również przepytany przez ankietę skąd i dokąd jedzie, stwierdzając, że „budzi poważne wątpliwości fakt, że policja zmusza kierowców do udziału w badaniach dla prywatnej firmy”<sup>2</sup>. Po tej „aferze” właściwie żaden komendant Policji nie wyda zgody na przeprowadzenie badań ankietowych z zatrzymywaniem pojazdów, co praktycznie zamyka drogę do pozyskania tym sposobem informacji o więzbie ruchu.

Dużą bazę danych posiada Główny Urząd Statystyczny. GUS zbiera między innymi dane z firm o produkcji oraz o przejazdach samochodów ciężarowych (por. p. 5). Niestety duża część tych danych jest niedostępna publicznie lub zagregowana (np. do obszaru województw).

Reasumując można stwierdzić, że obecnie problemem nie są narzędzia obliczeniowe ani metody matematyczne. Poważnym brakiem w modelach transportu ładunków są dane, które często bywają niedostępne, a w przypadku dostępności ich jakość nie jest zadowalająca a wiarygodność wątpliwa. Nadziej pozostają dane z systemów lokalizacji pojazdów oraz z systemów ITS.

Pojawia się konieczność tworzenia modeli używając dostępnych cząstkowych danych oraz niestandardowych metod łączących różne podejścia ([21], [29]). Takie wyzwanie zostało podjęte przez autora niniejszej dysertacji. Jednocześnie pojawia się pytanie czy możliwe jest

<sup>2</sup> [http://www.gazetaprawna.pl/wiadomosci/artykuly/506084,policjanci\\_zatrzymywali\\_kierowcow\\_i\\_kazali\\_im\\_wypelniac\\_ankiety\\_firmy\\_transportowej.html](http://www.gazetaprawna.pl/wiadomosci/artykuly/506084,policjanci_zatrzymywali_kierowcow_i_kazali_im_wypelniac_ankiety_firmy_transportowej.html) (odczyt z dn. 28 listopada 2012 r.)



w takim wypadku stworzenie modelu ogólnego, który będzie słuszny dla różnych obszarów. Jest to główna teza, której słuszność autor będzie starał się udowodnić.

## 1.2. Potrzeba tworzenia regionalnych modeli podróży

W wielu krajach tworzy się modele podróży w podziale na trzy poziomy zasięgu przestrzennego: model krajowy, model regionalny i modele miejskie. Podobne podejście stosuje się w Polsce. Istniejący model krajowy niezbędny jest do planowania strategicznych inwestycji takich jak autostrady i drogi ekspresowe. Podział modelu krajowego na rejony komunikacyjne odpowiadające powiatom jest zbyt ogólny, aby mógł on być zastosowany bezpośrednio na poziomie regionalnym. Na drugim końcu skali znajdują się modele miejskie, bardzo szczegółowe, w których obszar analizy może być podzielony nawet na kilkaset rejonów komunikacyjnych odpowiadających jego częściom, jednorodnym pod względem zagospodarowania. To podejście jest zbyt dokładne aby mogło być zastosowane na poziomie regionalnym. Stąd pojawia się potrzeba budowy regionalnych modeli podróży, które będąc elementem stycznym do modeli miejskich i modelu krajowego wypełnią lukę pomiędzy nimi.

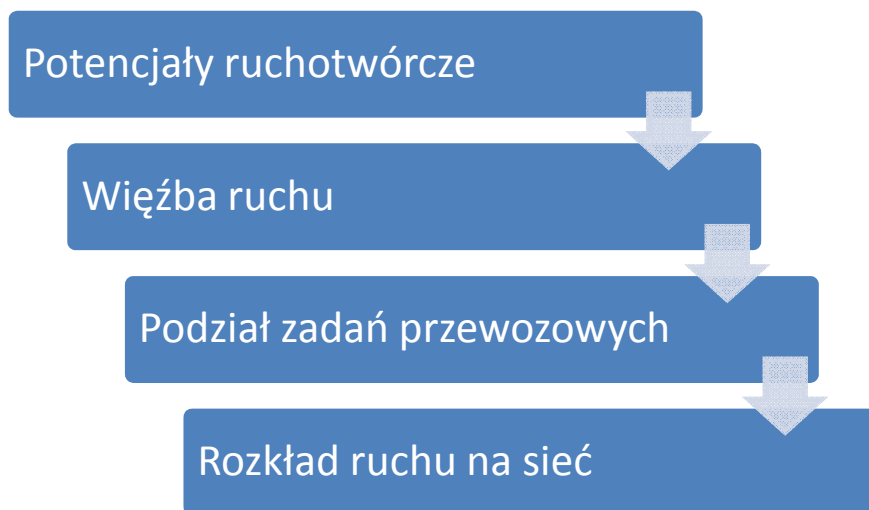
Regionalny model podróży obejmuje zarówno przemieszczenia osób jak i ładunków. Konieczność tworzenia regionalnych modeli podróży wynika z jednej strony z zapisów ustawy o publicznym transporcie zbiorowym [173], z drugiej oceny efektywności ekonomicznej inwestycji o charakterze regionalnym. W szczególności regionalny model podróży może być wykorzystany do:

- oceny celowości budowy dróg regionalnych,
- uzasadnienia budowy przepraw mostowych w miejscach przepraw promowych,
- źródło danych wejściowych do analiz środowiskowych,
- tworzenie planów transportu zbiorowego na poziomie województwa [173],
- wskazanie tras przejazdu dla samochodów przewożących ładunki niebezpieczne.

Istotnym elementem modelu podróży w skali regionu są drogowe przewozy ładunków. Podczas gdy w modelu krajowym identyfikowane są przewozy międzypowiatowe, a w modelach miejskich wewnątrzmijskie, w modelu regionalnym niezbędna jest identyfikacja międzygminnych przemieszczeń ładunków, co wynika z podziału na rejony komunikacyjne odpowiadające obszarom gmin. W warunkach polskich najczęściej stosowany jest model czterostadiowy (por. p. 1.3), którego pierwszym stadium jest wyznaczenie potencjałów ruchotwórczych. Stąd głównym nurtem w niniejszej dysertacji będzie modelowanie potencjałów ruchotwórczych gmin w drogowym transporcie ładunków dla potrzeb tworzenia regionalnego modelu podróży.

## 1.3. Cel i zakres pracy

Całościowe rozwiązanie problemu budowy regionalnego modelu drogowych przewozów ładunków w ramach jednej dysertacji jest zagadnieniem zbyt szerokim, stąd główny nacisk położony zostanie na modelowanie potencjałów ruchotwórczych, których określenie stanowi pierwszy etap w czterostadiowym modelu transportu ładunków ([53], [61], [124]). Pozostałe etapy będą rozważane w zakresie wynikającym ze sprzężeń zwrotnych z potencjałami ruchotwórczymi [23].



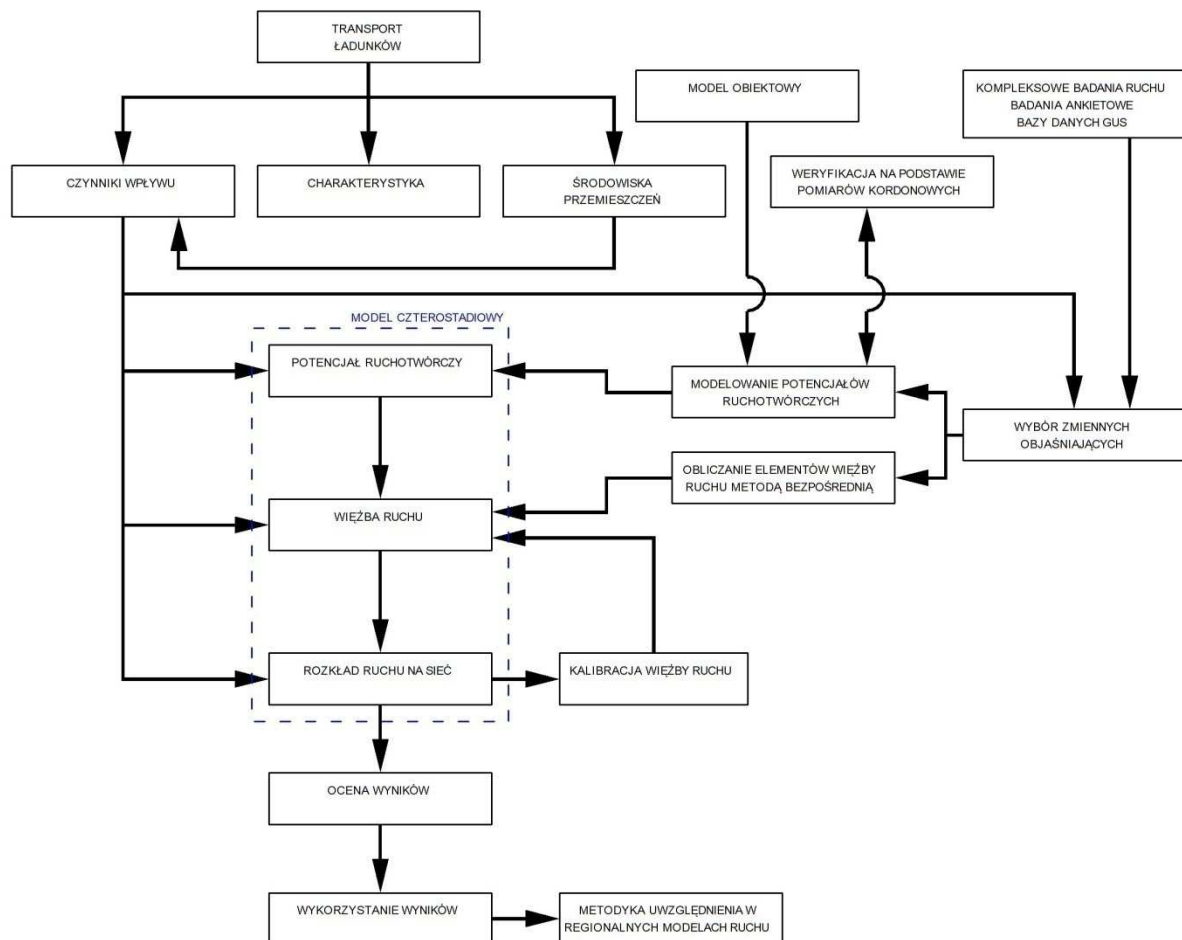
Rys. 1.1. Schemat czterostadiowego modelu transportu ładunków

Głównym celem pracy jest stworzenie modelu potencjałów ruchotwórczych, wyrażonego liczbąjazd samochodów ciężarowych, rozpoczynanych lub kończonych w danym rejonie komunikacyjnym, w regionalnych przewozach ładunków. Przyjęto, że w modelu o takiej skali rejon komunikacyjny odpowiadać będzie swoim zasięgiem przestrzennym obszarowi gminy. W niniejszej dysertacji region rozumiany jest jako obszar odpowiadający zasięgiem przestrzennym województwa. W szczególności region może obejmować część województwa (kilka lub kilkanaście powiatów) lub obszar wyznaczony przez uwarunkowania historyczne o wielkości zbliżonej do województwa. Przyjęcie jako rejonu komunikacyjnego gminy podyktowane jest pożądaną użytecznością modelu. Podział bardziej zagregowany (np. na powiaty) powoduje zaburzenie wyników rozkładu ruchu poprzez zaniżone natężenia ruchu na drogach powiatowych, co zostało pokazane w [183]. Stąd w modelach regionalnych podział na rejonypowinien odpowiadać co najmniej podziałowi na gminy. Odrębną kwestią jest uwzględnienie dużych miast, zwłaszcza miast na prawach powiatu, w modelach o zasięgu regionalnych. Miasta te często obejmują obszar odpowiadający kilku gminom. Stąd częstą praktyką jest podział dużych miast na kilka rejonów komunikacyjnych odpowiadających głównym dzielnicom tego miasta.

Pobocznymi celami dysertacji są:

- wkład w rozwój metodyki tworzenia regionalnych modeli transportu ładunków,
- określenie czynników wpływu na potencjały ruchotwórcze w drogowym transporcie ładunków,
- opracowanie formuł regresyjnych oraz wskaźników generacji ruchu dla obszarów odpowiadających gminie i pojedynczym generatorów ruchu.

Strukturę niniejszej pracy przedstawiono na rys. 1.2.



Rys. 1.2. Struktura pracy (opracowanie własne)

Na rys. 1.2 niewidoczny jest etap podziału zadań przewozowych (por. rys. 1.1). Wynika to z faktu, że w niniejszej dysertacji ma on charakter pierwotny. Ponadto, z uwagi na analizowanie tylko transportu drogowego, obejmuje on podział na typy samochodów ciężarowych. Pierwotny podział zadań przewozowych jest wykonywany łącznie z potencjałami ruchotwórczych lub z wyznaczeniem elementów wieźby ruchu. Oznacza to, że dla każdego typu samochodu ciężarowego opracowane są inne formuły regresyjne do wyznaczenia potencjału ruchotwórczego lub elementów wieźby ruchu.

## 1.4. Tezy pracy

### *Teza ogólna*

Istnieje możliwość stworzenia modelu ogólnego potencjałów ruchotwórczych gmin dla potrzeb regionalnego modelu podróży o zasięgu województwa lub subregionu.

### *Teza naukowa*

Potencjał ruchotwórczy gminy, w drogowym transporcie ładunków, wyrażony liczbą rozpoczętych i skończonych jazd samochodów ciężarowych, zależy od typu gminy, czynników demograficznych, zatrudnienia oraz liczby przedsiębiorstw i wpływ ten jest kwantyfikowalny.

### *Teza metodyczna*

W tworzeniu modeli potencjałów ruchotwórczych użyteczne jest stosowanie regresji pojedynczej i wieloczynnikowej, sztucznych sieci neuronowych oraz metod symulacyjnych. Niekompletne bazy danych mogą być skutecznie uzupełnione poprzez metody uzupełniania danych.

## 1.5. Obiekt badań – definicje i klasyfikacje

### 1.5.1. Definicja samochodu ciężarowego i pozostałe definicje

Z uwagi na rozbieżności w nazewnictwie samochodu ciężarowego, zarówno w profesjonalnych opracowaniach jak i w języku potocznym, konieczne jest wyjaśnienie terminu „samochód ciężarowy” oraz określeń pokrewnych. Do klasyfikacji samochodów ciężarowych nawiązuje publikacja [177] opisująca stan i perspektywy taboru ciężarowego w Polsce.

W potocznym słownictwie a także w nomenklaturze drogowej używa się wielu określeń pojazdów wykorzystywanych do przewozu ładunków: samochody ciężarowe, samochody ciężarowe bez przyczep lub z przyczepami oraz ciągniki siodłowe z naczepami. Pojawia się również pojęcie samochodu dostawczego, które utożsamiane jest z lekkim samochodem ciężarowym. Bardzo często w mediach oraz w niektórych opracowaniach [181] pojawia się skrót TIR, który potocznie jest często wykorzystywany do określenia ciągnika siodłowego z naczepą. Skrót TIR nie jest nazwą pojazdu, a jedynie skrótem oznaczającym konwencję (umowę) międzynarodową dotyczącą przewozu ładunków [90]. Z prawnego punktu widzenia pojazd posiadający karnet TIR (z fr. Transports Internationaux Routiers) upoważniony jest do przejazdu z wyjściowego do docelowego urzędu celnego, przez terytoria państw tranzytowych, które przyjęły Konwencję TIR z formalnościami ograniczonymi do niezbędnego minimum.

Ścisłą definicję samochodu ciężarowego podaje ustawa prawo o ruchu drogowym [171]. Zgodnie z tą definicją samochód ciężarowy to „pojazd samochodowy przeznaczony konstrukcyjnie do przewozu ładunków; określenie to obejmuje również samochód ciężarowo-osobowy przeznaczony konstrukcyjnie do przewozu ładunków i osób w liczbie od 4 do 9 łącznie z kierowcą”. Dalej [171] podaje również dalsze definicje, których przytoczenie jest tutaj niezbędne. Ciągnik samochodowy jest to „pojazd samochodowy przeznaczony konstrukcyjnie wyłącznie do ciągnięcia przyczepy; określenie to obejmuje ciągnik siodłowy i ciągnik balastowy”. Pojazd członowy jest to „zespół pojazdów składający się z pojazdu silnikowego złączonego z naczepą”. Zespół pojazdów to „pojazdy złączone ze sobą w celu poruszania się po drodze jako całość; nie dotyczy to pojazdów złączonych w celu holowania”.

Natomiast jako naczepę określa się „przyczepę, której część spoczywa na pojeździe silnikowym i obciąża ten pojazd”, a przyczepa to „pojazd bez silnika, przystosowany do łączenia go z innym pojazdem”.

Uwzględniając powyższe definicje samochodem ciężarowym można nazwać każdy samochód, konstrukcyjnie przystosowany do przewozu ładunków, również tzw. samochód dostawczy (zwany czasem lekkim samochodem ciężarowym) lub samochód osobowy z przestrzenią ładunkową. Nie ma tu znaczenia dopuszczalna masa całkowita (DMC). Samochód ciężarowy z przyczepą to zespół pojazdów, w którym jeden z nich jest samochodem ciężarowym a drugi przyczepą. Samochód ciężarowy z naczepą to de facto pojazd członowy, w którym pojazd silnikowy jest ciągnikiem siodłowym.

W niniejszej dysertacji pojęcie samochodu ciężarowego będzie używane w stosunku do samochodów ciężarowych (w rozumieniu prawa ruchu drogowego) oraz zespołów pojazdów i pojazdów członowych przeznaczonych konstrukcyjnie do przewozu ładunków o dowolnej dopuszczalnej masie całkowitej (DMC). Zgodne z [171] dopuszczalna masa całkowita (DMC) to największa określona właściwymi warunkami technicznymi masa pojazdu obciążonego osobami i ładunkiem, dopuszczonego do poruszania się po drodze.

Pozostaje jeszcze do wyjaśnienia pojęcie towaru i ładunku. Towar jest to produkt pracy ludzkiej przeznaczony do sprzedaży natomiast ładunek stanowi określoną ilość materiału (towaru) podlegającą procesom transportowo-magazynowym. Pojęcie ładunku jest szersze niż towaru stąd będzie wykorzystywane w niniejszej dysertacji.

### 1.5.2. Klasyfikacje samochodów ciężarowych

W ustawach, rozporządzeniach i opracowaniach branżowych stosuje się różne klasyfikacje samochodów ciężarowych. W niniejszym punkcie przedstawione zostaną wybrane klasyfikacje oraz zostanie zaproponowana klasyfikacja wykorzystana w dysertacji.

Ustawa o drogach publicznych [169] wprowadza 3 kategorie pojazdów w celu określenia stawki opłaty za przejazd po drogach publicznych, zwanej opłatą elektroniczną:

- kategoria 1 – pojazdy samochodowe o DMC 3,5 – 12 ton,
- kategoria 2 – pojazdy samochodowe o DMC powyżej 12 ton,
- kategoria 3 – autobusy.

Ustawa o autostradach płatnych [170] w Art. 37a ust. 6 ustala następujące kategorie pojazdów w celu określenia stawek opłat za przejazd autostradą:

- kategoria 1 – motocykle,
- kategoria 2 – pojazdy samochodowe o dopuszczalnej masie całkowitej nieprzekraczającej 3,5 tony,
- kategoria 3 – pojazdy samochodowe o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3,5 tony i poniżej 12 ton,
- kategoria 4 – pojazdy samochodowe o dopuszczalnej masie całkowitej co najmniej 12 ton
- kategoria 5 – autobusy.

Rozporządzenie [128] przewiduje okresowe ograniczenia i zakazy ruchu dla pojazdów i zespołów pojazdów o dopuszczalnej masie całkowitej przekraczającej 12 ton, z wyłączeniem autobusów.

Co 5 lat organizowany jest w Polsce Generalny Pomiar Ruchu (GPR) obejmujący sieć dróg krajowych i wojewódzkich. W ramach pomiarów rozróżnia się 8 typów pojazdów, z których istotne, z punktu widzenia niniejszej dysertacji, są lekkie samochody ciężarowe (samochody dostawcze), samochody ciężarowe bez przyczep i samochody ciężarowe z przyczepami oraz ciągniki siodłowe z naczepami.

Przepisów ustawy o transporcie drogowym [172] nie stosuje się do przewozu drogowego wykonywanego pojazdami samochodowymi lub zespołami pojazdów o dopuszczalnej masie całkowitej nieprzekraczającej 3,5 tony w transporcie drogowym rzeczy oraz niezarobkowym przewozie drogowym rzeczy.

W analizach dotyczących hałasu drogowego używany jest podział na pojazdy lekkie i ciężkie. W grupie pojazdów lekkich znajdują się lekkie samochody ciężarowe (dostawcze), natomiast grupa pojazdów ciężkich uwzględnia również motocykle. W przypadku prognozowania emisji zanieczyszczeń powietrza od pojazdów wyróżnia się między innymi lekkie samochody ciężarowe (dostawcze, o  $DMC \leq 3,5$  t) oraz samochody ciężarowe (o  $DMC > 3,5$  t) [112].

Przy projektowaniu nawierzchni drogi uwzględnia się natężenie ruchu trzech typów pojazdów:

- samochody ciężarowe bez przyczep,
- samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami,
- autobusy.

W Kompleksowych badaniach ruchu (KBR) oraz innych studiach komunikacyjnych przeprowadzonych w ostatnich kilkunastu latach w polskich miastach wykorzystywano różne, często niespójne ze sobą klasyfikacje pojazdów. W przeprowadzonych w 2000 roku we Wrocławiu badaniach ruchu ciężarowego [181] użyto podziału na samochody: dostawcze (samochody ciężarowe o  $DMC$  poniżej 3,5 t), samochody ciężarowe (bez przyczep) i samochody ciężarowe z przyczepami oraz ciągniki siodłowe z naczepami. Przyjęty w badaniach wrocławskich podział jest tożsamy z zastosowanym w amerykańskiej instrukcji Quick Response Freight Manual (QRFM) [128], która jest formą wytycznych modelowania drogowego transportu ładunków. W kompleksowych badaniach ruchu przeprowadzonych w 2003 roku w Krakowie [88] oraz w 2005 roku w Warszawie [176] wprowadzono podział na samochody dostawcze (lekkie samochody ciężarowe o  $DMC$  poniżej 3,5 t) i ciężarowe (wszystkie pojazdy ciężarowe o  $DMC$  powyżej 3,5 t). W badaniach przeprowadzonych w 2002 roku w Łodzi [152], wprowadzono podział na pojazdy lekkie (samochody osobowe i dostawcze) oraz ciężkie.

W kompleksowych badaniach ruchu w 2007 roku w strefie podmiejskiej Krakowa [89] wprowadzono podział samochodów ciężarowych pod względem  $DMC$ : poniżej 3,5 t, pomiędzy 3,5 a 12 t, pomiędzy 12 a 30 t, powyżej 30 t. Podobny podział został zastosowany w badaniach ruchu dla miasta Phoenix (USA) [141].

Wśród opracowań zagranicznych można wymienić instrukcję QRFM [128], w której samochody ciężarowe podzielono na:

- samochody ciężarowe o  $DMC$  poniżej 3,5 t (four-tire commercial vehicles),
- samochody ciężarowe bez przyczep (single unit trucks),
- samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami (combination trucks).

W ramach projektu COST 323, podejmującego problematykę ważenia pojazdów w ruchu (tzw. systemy WIM, Weigh-In-Motion) [33], zaproponowano klasyfikacje pojazdów, która jest sugerowana do wykorzystania w przypadku ważenia pojazdów. Zawiera ona sześć typów samochodów ciężarowych, zróżnicowanych pod względem liczby osi.

Najbardziej złożona klasyfikacja samochodów ciężarowych została zaproponowana przez Federal Highway Administration (FHWA). Zawiera ona 9 typów pojazdów zróżnicowanych pod względem liczby osi i przyczep.











Tab. 1.1. Zestawienie klasyfikacji samochodów ciężarowych (opracowanie własne)

Źródło lub zastosowanie klasyfikacji	Typy pojazdów			
	DMC $\leq$ 12 t		DMC $>$ 12 t	
Okresowe ograniczenia w ruchu [138]	DMC $\leq$ 12 t		DMC $>$ 12 t	
Ustawa o autostradach płatnych [170]	DMC $\leq$ 3,5 t	DMC = 3,5 ÷ 12 t	DMC $>$ 12 t	
Generalny Pomiar Ruchu (GPR)	lekkie samochody ciężarowe (dostawcze) o DMC $\leq$ 3,5 t	samochody ciężarowe bez przyczep		samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami
Instrukcja wykonywania analiz środowiskowych [112]	samochody ciężarowe o DMC $\leq$ 3,5 t	samochody ciężarowe bez przyczep		samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami
Projektowanie konstrukcji nawierzchni	samochody ciężarowe o DMC $\leq$ 3,5	samochody ciężarowe bez przyczep		samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami
Ustawa o drogach publicznych [169]	DMC $\leq$ 3,5 t	DMC = 3,5 ÷ 12 t	DMC $>$ 12 t	
Projekt COST 323 [33]	Kategoria 1: samochody ciężarowe o DMC $\leq$ 3,5	Kategorie 2 i 3: samochody ciężarowe bez przyczep o różnej liczbie osi		Kategorie 4, 5 i 6: samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami o różnej liczbie osi
Instrukcja QRFM [128]	samochody ciężarowe o DMC $\leq$ 3,5	samochody ciężarowe bez przyczep		samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami
FHWA <sup>3</sup>	Klasa 5: samochody ciężarowe o DMC $\leq$ 3,5	Klasy 6 i 7: samochody ciężarowe bez przyczep o różnej liczbie osi		Klasy 8 – 13: samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami (klasy 11 – 13 obejmują pojazdy z więcej niż 1 przyczepą)
Badania ruchu ciężarowego w Phoenix (1992) [141]	DMC $\leq$ 3,6 t	DMC = 3,6 ÷ 12,7 t	DMC = 12,7 ÷ 29,0 t	DMC $>$ 29 t
KBR w strefie podmiejskiej Krakowa (2007) [89]	DMC $\leq$ 3,5 t	DMC 3,5 ÷ 12,0 t	DMC 12 ÷ 30 t	DMC $>$ 30 t
KBR w Krakowie (2003) [88]	DMC $\leq$ 3,5 t	DMC $>$ 3,5 t		

<sup>3</sup> [http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/tda/fhwa\\_vehicle\\_classification\\_figures.htm](http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/tda/fhwa_vehicle_classification_figures.htm) (odczyt z dn. 27 listopada 2012 r.) oraz Załącznik 1

Opisane klasyfikacje pojazdów zostały zestawione w tab. 1.1. Analizując je można zauważyć, że często podziały pod względem dopuszczalnej masy całkowitej oraz typu pojazdu nie są spójne. Wynika to poniekąd z określonych przepisami [137] warunków technicznych dla pojazdów. Jedyną wyraźną granicą jest DMC równa 3,5 t, która dzieli pojazdy ciężarowe na lekkie samochody ciężarowe (tzw. dostawcze) i pozostałe. Wynika to głównie z ustawy prawo o ruchu drogowym, która zezwala na prowadzenie pojazdów o DMC do 3,5 t na podstawie prawa jazdy kategorii B. Klaruje się również podział na samochody ciężarowe bez przyczep oraz samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami.

Na rys. 1.3. przedstawiono interpretację zapisów Rozporządzenia [137] pod kątem dopuszczalnej masy całkowitej. Dopuszczalna ładowność to „największa masa ładunku i osób, jaką może przewozić pojazd, która stanowi różnicę dopuszczalnej masy całkowitej (DMC) i masy własnej pojazdu” [171].

SYLWETKA POJAZDU	DMC ŁADOWNOŚĆ	SYLWETKA POJAZDU	DMC ŁADOWNOŚĆ
	3,5 t 1,5 t		40 t 24 t
	18 t 13 t		40 t 24 t
	26 t 19 t		40 t 24 t
	32 t 22 t		40 t 24 t
	36 t 24 t		40 t 24 t

Rys. 1.3. Dopuszczalne masy całkowite (DMC) oraz orientacyjne dopuszczalne ładowności poszczególnych typów pojazdów (opracowanie własne na podstawie [137])

Na podstawie tab. 1.1 oraz rys. 1.3 zaproponowano następującą klasyfikację samochodów ciężarowych, która będzie wykorzystana w niniejszej dysertacji:

- samochody dostawcze (skrót SD) – samochody ciężarowe w rozumieniu [171], o DMC poniżej 3,5 t i dopuszczalnej ładowności poniżej 1,5 t.
- samochody ciężarowe bez przyczep (skrót SC) – samochody ciężarowe w rozumieniu [171], o DMC większej niż 3,5 t i nie większej niż 35 t.
- samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami (skrót SCP) – odpowiednio zespoły pojazdów i pojazdy członowe w rozumieniu [171], o DMC zespołu pojazdów lub pojazdu członowego powyżej 35 t, przystosowane konstrukcyjnie do przewozu ładunków.

Przyjęta klasyfikacja pozwala uwzględnić wszystkie samochody ciężarowe. Dodatkowo ograniczenie do trzech typów umożliwia chociażby porównanie wyników rozkładów ruchu w modelu z pomiarami, w których zwykle taka klasyfikacja jest używana.

W niektórych przypadkach trudne jest rozróżnienie dwóch najcięższych grup pojazdów, stąd w dysertacji będą używane określenia: samochody ciężarowe lekkie (o DMC poniżej 3,5 t) czyli samochody dostawcze (SD) i samochody ciężarowe ciężkie (o DMC powyżej 3,5 t) czyli samochody ciężarowe bez przyczep (SC) i samochody ciężarowe z przyczepami (SCP).



### 1.5.3. Klasyfikacje dotyczące podziału jednostek terytorialnych i działalności gospodarczej

Poza klasyfikacją samochodów ciężarowych istotnymi z punktu widzenia modelowania są klasyfikacje jednostek terytorialnych oraz działalności gospodarczych. Klasyfikacja działalności gospodarczych pozwala usystematyzować podział na sektory gospodarki: rolniczy, przemysłowy i usługowy. Podział ten wykorzystywany jest w dalszej części dysertacji. Klasyfikacja jednostek terytorialnych przedstawia wielkość obszaru, który poddawany jest analizie oraz wyjaśnia interpretację używanych w tekście skrótów, np. NUTS3, który oznacza województwo.

#### *Klasyfikacja NUTS [139]*

*Klasyfikacja Jednostek Terytorialnych do Celów Statystycznych – Nomenclature of Teritorial Units for Statistics (NUTS) obowiązuje w krajach Unii Europejskiej, zgodnie z Rozporządzeniem (WE) nr 1059/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 maja 2003 r. (Dz. Urz. UE L 154 z 21. 06. 2003 r., z późn. zm.).<sup>4</sup>*

W ramach klasyfikacji NUTS wprowadzono podział na kilka poziomów obszarów pod względem liczby ludności (tab. 1.2).

Tab. 1.2. Podział obszarów wg klasyfikacji NUTS (opracowanie własne)

Lp.	Poziom	Dolna granica liczby mieszkańców obszaru	Górna granica liczby mieszkańców obszaru	Nazwa
1	NUTS1	3 000 000	7 000 000	region (2÷4 województw)
2	NUTS2	800 000	3 000 000	województwo
3	NUTS3	150 000	800 000	podregion (kilka powiatów)
4	NUTS4			powiat
5	NUTS5			gmina

#### *Klasyfikacje według działalności gospodarczej*

Klasyfikacje działalności gospodarczej można podzielić na:

1. Poziom krajowy: Polska Klasyfikacja Działalności (PKD) 2004 i 2007 (obowiązująca).<sup>5</sup>
2. Poziom europejski: Statystyczna Klasyfikacja Działalności Gospodarczej we Wspólnocie Europejskiej (Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne, NACE) Rev. 1.1 i Rev. 2 (obowiązująca).<sup>6</sup>
3. Poziom międzynarodowy: International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC) Rev. 4.<sup>7</sup>

Z uwagi na liczne cytowania z literatury amerykańskiej należy wspomnieć również o klasyfikacjach: Standard Industrial Classification (SIC) i North American Industry Classification System (NAICS). Ta druga (NAICS) jest spójna z klasyfikacją międzynarodową ISIC Rev. 4 i klasyfikacją europejską NACE Rev. 2.

Opis poszczególnych sekcji klasyfikacji PKD oraz schemat przejścia pomiędzy klasyfikacjami PKD 2004 i PKD 2007 przedstawiono w tab. 1.3.

<sup>4</sup> [http://www.stat.gov.pl/gus/5840\\_7551\\_PLK\\_HTML.htm](http://www.stat.gov.pl/gus/5840_7551_PLK_HTML.htm) (odczyt z dn. 27 listopada 2012 r.)

<sup>5</sup> <http://www.stat.gov.pl/Klasyfikacje/> (odczyt z dn. 12 lutego 2013 r.)

<sup>6</sup> [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nace\\_rev2/introduction](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nace_rev2/introduction) (odczyt z dn. 12 lutego 2013 r.)

<sup>7</sup> <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regct.asp> (odczyt z dn. 12 lutego 2013 r.)

Tab. 1.3. Opis sekcji PKD oraz schemat przejścia z klasyfikacji PKD 2004 do klasyfikacji PKD 2007 (opracowanie własne)

Sekcja PKD 2004	Sekcja PKD 2007	Opis sekcji PKD
A B	A	Rolnictwo, leśnictwo, łowiectwo i rybactwo
C	B	Górnictwo i wydobywanie
D	C	Przetwórstwo przemysłowe
E	D	Wytwarzanie i zaopatrywanie w energię elektryczną, gaz, parę wodną, gorącą wodę i powietrze do układów klimatyzacyjnych
	E	Dostawa wody; gospodarowanie ściekami i odpadami oraz działalność związana z rekultywacją
F	F	Budownictwo
G	G	Handel hurtowy i detaliczny; naprawa pojazdów samochodowych, włączając motocykle
I	H	Transport i gospodarka magazynowa
H	I	Działalność związana z zakwaterowaniem i usługami gastronomicznymi
I	J	Informacja i komunikacja
J	K	Działalność finansowa i ubezpieczeniowa
K	L	Działalność związana z obsługą rynku nieruchomości
	M	Działalność profesjonalna, naukowa i techniczna
	N	Działalność w zakresie usług administrowania i działalność wspierająca
L	O	Administracja publiczna i obrona narodowa; obowiązkowe zabezpieczenia społeczne
M	P	Edukacja
N	Q	Opieka zdrowotna i pomoc społeczna
O	R	Działalność związana z kulturą, rozrywką i rekreacją
	S	Pozostała działalność usługowa
P	T	Gospodarstwa domowe zatrudniające pracowników; gospodarstwa domowe produkujące wyroby i świadczące usługi na własne potrzeby
Q	U	Organizacje i zespoły eksterytorialne

W niniejszej dysertacji na podstawie klasyfikacji PKD 2004 i PKD 2007 przyjęto podział na sektory gospodarki według tab. 1.4.

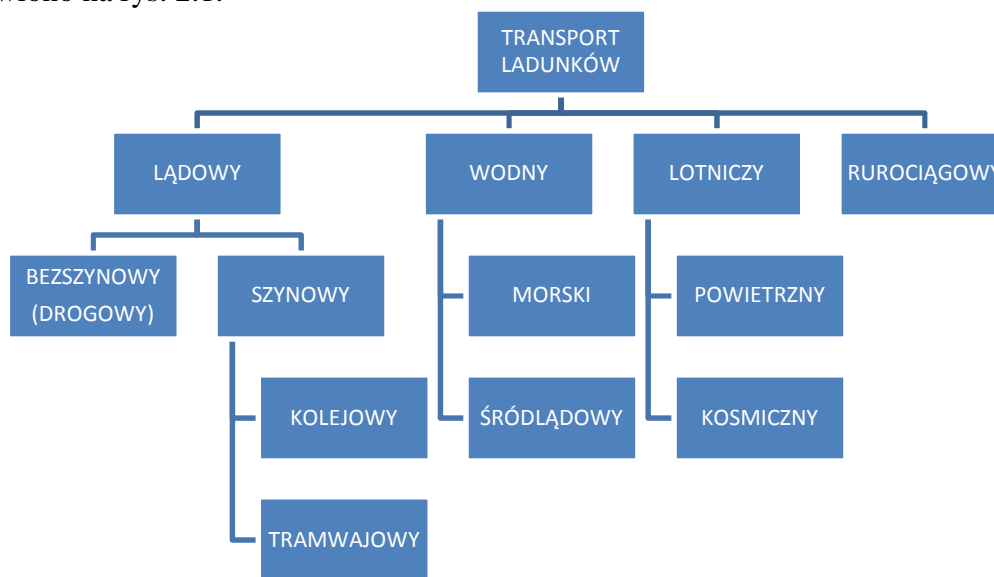
Tab. 1.4. Podział na sektory gospodarki (opracowanie własne)

Sektor.	Sekcje PKD 2004	Sekcje PKD 2007
Rolnictwo	A, B	B
Przemysł	C, D, E, F	B, C, D, E, F
Usługi	niekomercyjne	L, M, N
	komercyjne	O, P, Q
	G, H, I, J, K, O, P, Q	G, H, I, J, K, L, M, N, R, S, T, U

## 2. Charakterystyka transportu ładunków

### 2.1. Środowiska transportu ładunków

Rozważając transport ładunków należy rozpocząć od gałęziowego podziału ze względu na środowisko przemieszczeń. W transporcie ładunków możemy wyróżnić transport: lądowy (szynowy, bezszynowy), wodny (morski, śródlądowy), lotniczy (powietrzny, kosmiczny) oraz przesyłowy (rurociągowy, przenośnikowy, przewodowy). Podany powyżej podział przedstawiono na rys. 2.1.

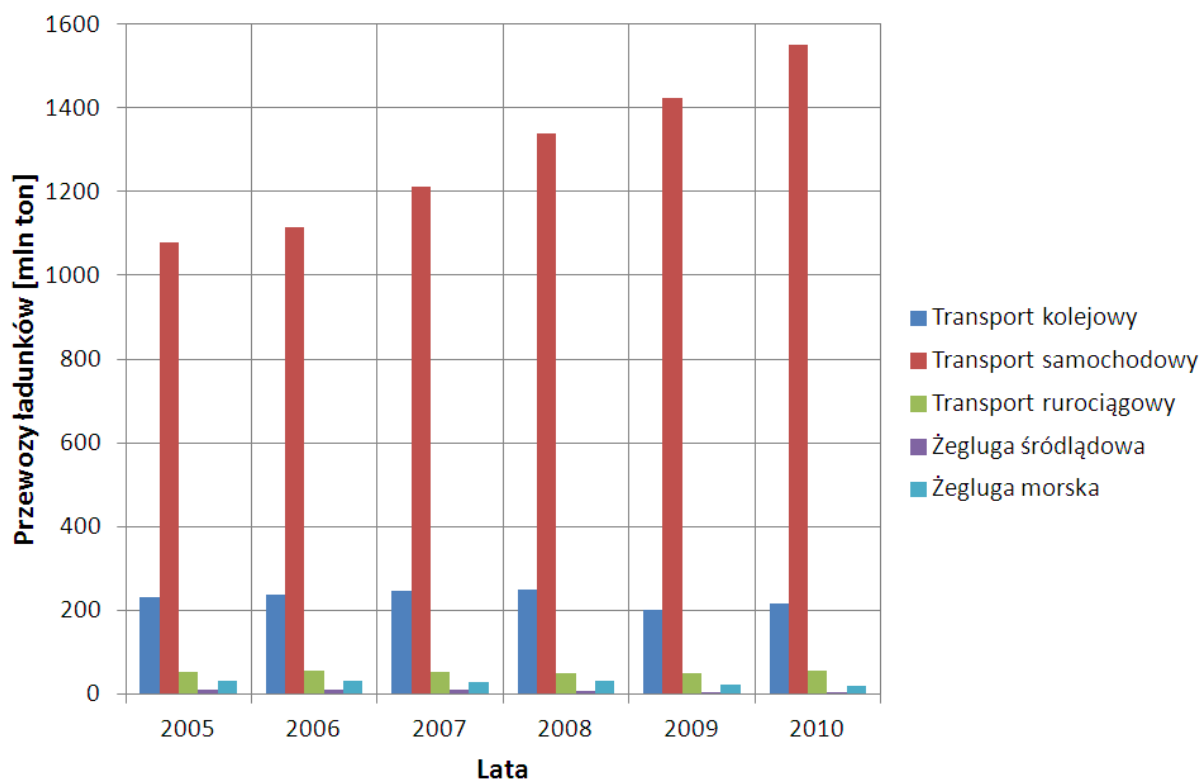


Rys. 2.1. Gałęziowy podział środowisk przemieszczeń ładunków (opracowanie własne)

Po uproszeniu do podziału na transport: drogowy, kolejowy, lotniczy, śródlądowy i morski jest on najczęściej wykorzystywany w modelach transportu ładunków na etapie podziału zadań przewozowych. W większości opracowań pomija się w podziale zadań przewozowych transport rurociągowy z uwagi na wąską i łatwą do wyodrębnienia grupę towarów transportowanych w ten sposób.

W uzupełnieniu do schematu przedstawionego na rys. 2.1 należy dodać transport multimodalny (kombinowany). Taka forma łączy w sobie transport ładunków co najmniej dwoma różnymi środkami transportu. Najczęściej spotykane jest połączenie transportu drogowego z kolejowym. Połączenie to realizowane jest przez dowóz i odbiór ładunków (często w kontenerach) przez samochody ciężarowe z bocznic kolejowych lub dojazd samochodu ciężarowego do bocznic i dalszą jazdę na platformie kolejowej bądź pozostawienie samej naczepy do dalszej jazdy. W niniejszej dysertacji transport multimodalny pomimo, że nie jest ujawniony, jest częściowo uwzględniony. Przykładowo przejazd samochodu ciężarowego z ładunkiem z bocznic kolejowej do centrum logistycznego będzie uwzględniony w prezentowanych w dalszej części pracy modelach.

Poszczególne środki transportu (środowiska przemieszczeń) ładunków mogą mieć różny udział w podziale zadań przewozowych. Wielkości ładunków przewożonych poszczególnymi środkami transportu w Polsce w latach 2005 – 2010 przedstawiono na rys. 2.2.



Rys. 2.2. Przewozy ładunków w Polsce (opracowanie własne na podstawie [133])

W latach 2005 – 2010 zauważalny jest wyraźny wzrost masy ładunków przewożonych transportem samochodowym. Wielkość ładunków przewożonych pozostałymi środkami transportu utrzymuje się na stałym poziomie. Udział transportu samochodowego w przewozach ładunków w Polsce wzrósł od 76,6 % w roku 2005 do 83,9 % w roku 2010. W USA zanotowano wzrost z 67,6 % w roku 2007 do 68,2 % w roku 2010<sup>8</sup>. W 27 krajach Unii Europejskiej udział drogowego transportu ładunków wynosił 76,3 % w roku 2007 i 76,5 % w roku 2010<sup>9</sup>. O ile w Polsce zauważalny jest wzrost udziału transportu drogowego w ogóle przewozów, o tyle w Unii Europejskiej i USA utrzymuje się on na stałym poziomie.

Dominująca rola transportu drogowego w przewozie ładunków uzasadnia zajęcie się w niniejszej dysertacji tą gałęzią transportu.

## 2.2. Podział drogowych przewozów ładunków z uwagi na ich zasięg

W ustawie o transporcie drogowym [172] wyróżnia się transport:

- krajowy,
- międzynarodowy.

Zgodnie ze wspomnianą ustawą krajowy transport drogowy to „*podejmowanie i wykonywanie działalności gospodarczej w zakresie przewozu osób lub rzeczy pojazdami samochodowymi zarejestrowanymi w kraju, za które uważa się również zespoły pojazdów składające się z pojazdu samochodowego i przyczepy lub naczepy, na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, przy czym jazda pojazdu, miejsce rozpoczęcia lub zakończenia podróży i przejazdu oraz droga znajdują się na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej*” [172]. Międzynarodowy transport drogowy to „*podejmowanie i wykonywanie działalności*

<sup>8</sup> [http://www.ops.fhwa.dot.gov/freight/freight\\_analysis/nat\\_freight\\_stats/docs/11factsfigures/table2\\_1.htm](http://www.ops.fhwa.dot.gov/freight/freight_analysis/nat_freight_stats/docs/11factsfigures/table2_1.htm) (odczyt z dn. 30 października 2012 r.)

<sup>9</sup> <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsien080&plugin=1> (odczyt z dn. 30 października 2012 r.)

gospodarczej w zakresie przewozu osób lub rzeczy pojazdami samochodowymi, za które uważa się również zespoły pojazdów składające się z pojazdu samochodowego i przyczepy lub naczepy, przy czym jazda pojazdu między miejscem początkowym i docelowym odbywa się z przekroczeniem granicy Rzeczypospolitej Polskiej” [172].

W niektórych opracowaniach można spotkać podział transportu z uwagi na zasięg przestrzenny. W [47] wprowadzono podział na transport:

- daleki – transport międzyregionalny i międzynarodowy, w którym uwzględniane są wszystkie środowiska przemieszczeń oraz podział zadań przewozowych,
- bliski – transport regionalny realizowany głównie przez samochody ciężarowe.

Powyższe pojęcia (transport bliski, transport daleki) są bardzo nieprecyzyjne. W ramach niniejszej rozprawy wprowadzono następującą klasyfikację:

- transport w ramach jednej gminy,
- transport w obrębie powiatu,
- transport w obrębie województwa,
- transport pomiędzy województwami,
- transport poza granice kraju.

### 2.3. Czynniki mogące wywierać wpływ na drogowy transport ładunków

Trudno nie zgodzić się ze stwierdzeniem, że stan gospodarki wywiera istotny wpływ na transport ładunków [14]. W ogólności, cytując za [9] można stwierdzić, że „na koniunkturę w sektorze ciężarowego transportu samochodowego wywierają wpływ: sytuacja gospodarcza w kraju i na świecie oraz różnorodne czynniki determinujące kondycję finansową firm transportowych, jak m.in. popyt i podaż usług transportowych, koszty prowadzenia działalności gospodarczej, w tym ceny paliw, sytuacja na rynku pracy, konkurencja wśród przewoźników, system prawny i podatkowy.” Uszczegółowiając można scharakteryzować wiele czynników, które mają mniej lub bardziej istotny wpływ na sam fakt podjęcia przewozu jak również wielkość przewożonych ładunków. Przykładowo instrukcja QRFM [128] wymienia 21 czynników, które mogą mieć wpływ na wielkość transportu ładunków lub fakt podjęcia takiego transportu w ogóle. Są nimi:

- gospodarka (np. PKB),
- lokalizacja zakładów produkcyjnych,
- globalizacja gospodarki,
- międzynarodowe porozumienia handlowe i transportowe,
- dostawy Just-In-Time,
- umowy pomiędzy przewoźnikami i spedytorami,
- zcentralizowane magazynowanie,
- wykorzystanie lżejszych opakowań,
- recycling,
- regulacja i deregulacja transportu,
- umowy dotyczące transportu multimodalnego,
- ceny paliw,
- dostępność i rozwój infrastruktury,
- opłaty i podatki,
- dopłaty dla przewoźników,
- polityka i restrykcje środowiskowe,
- regulacje dotyczące bezpieczeństwa ruchu i przewozu materiałów niebezpiecznych,
- zmiany wielkości samochodów ciężarowych i dopuszczalnych mas,
- zatłoczenie,
- wprowadzanie systemów ITS.

W drugiej edycji instrukcji QRFM [129] scharakteryzowano 5 grup czynników, które powinny być brane pod uwagę przy modelowanie przewozów towarów:

- czynniki gospodarcze,
  - rodzaj działalności gospodarczej,
  - konsumpcja towarów przez mieszkańców,
  - handel na poziomie międzynarodowym, krajowym i lokalnym,
- czynniki związane z łańcuchem dostaw i logistyką,
  - sieć centrów dystrybucyjnych,
  - współzależności między podmiotami logistycznymi,
  - łańcuchy dostaw,
- dostępność i lokalizacja elementów infrastruktury transportowej,
- potoki (elementy więźby ruchu) i natężenia ruchu ciężarowego,
- regulacje prawne.

W każdej z grup znajduje się kilka czynników, co nadal daje łącznie blisko dwadzieścia mających bardziej lub mniej istotny wpływ. Uwzględnienie wszystkich w modelu może być kwestią trudną bądź niekiedy niemożliwą z uwagi chociażby na brak danych oraz kłopotliwe do przeprowadzenia badania, których wynik może być wysoce niewiarygodny. W rezultacie nakład pracy będzie niewspółmiernie wysoki do efektów. Również pozycja [178] omawia wiele czynników wpływających na drogowy transport ładunków.

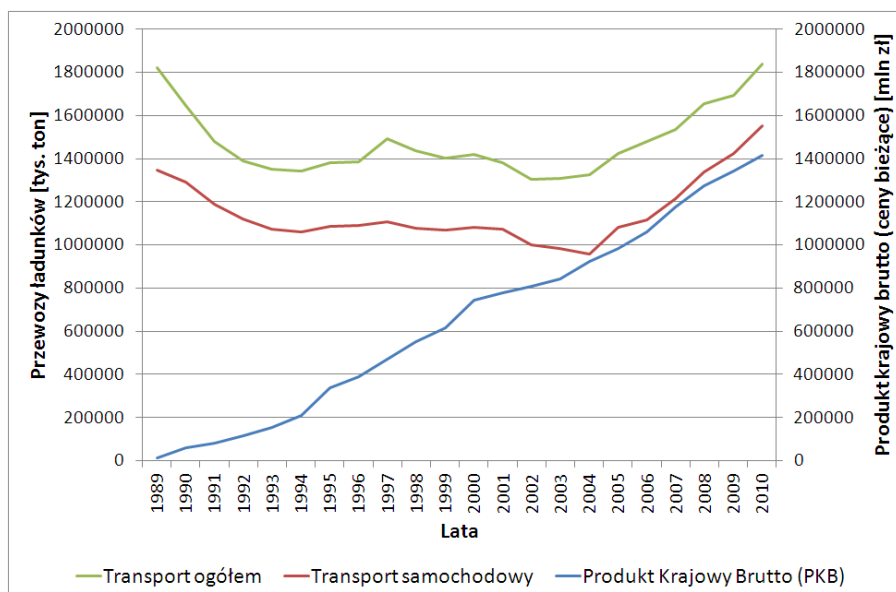
Biorąc pod uwagę czynniki mogące mieć wpływ na transport ładunków i konfrontując to z dostępnymi danymi oraz wynikami badań naukowych w Polsce można stwierdzić, że uwzględnienie większości z nich w modelu byłoby niemożliwe.

W dalszej części scharakteryzowane zostaną wybrane czynniki wpływu w skali makro wraz z komentarzem. Wybór czynników, w stosunku do wielu wymienionych powyżej, podyktowany był dostępnością danych. Zrezygnowano z charakteryzowania czynników, które wymagałyby wykonania dodatkowych pomiarów i badań ruchu.

### 2.3.1. Produkt krajowy brutto

W [108] pokazano, że w latach 1995 – 2004 w rozpatrywanych jedenastu krajach UE praca przewozowa w transporcie ładunków wzrasta wraz ze wzrostem PKB w tych krajach. Zauważalne są różnice pomiędzy poszczególnymi krajami, np. różne nachylenie krzywych regresji. Pokazano, że w latach 1970 – 2000, drogowy transport ładunków stał się bardziej wrażliwy na zmianę PKB.

Biorąc pod uwagę relację przewozów ładunków do PKB w Polsce, można zauważyć, że od roku 2004 przewozy ładunków rosną wraz ze wzrostem PKB (rys. 2.3).



Rys. 2.3. Zależność przewozów ładunków od PKB w Polsce (opracowanie własne na podstawie [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl))

### 2.3.2. Regulacje prawne

W artykule dotyczącym tranzytowego transportu ładunków przez Szwajcarię [109] zapisano, że jeśli przez 10 tygodni wykorzystanie zdolności przewozowej transportu kolejowego spadnie poniżej 2/3 może być wprowadzona 12,5 procentowa podwyżka opłat tranzytowych obciążających transport drogowy, jednak nie częściej niż dwa razy w ciągu 5 lat i nie dłużej niż na 12 miesięcy. Jest to bardzo dobry przykład, jak regulacjami prawnymi można zmieniać podział zadań przewozowych. Oczywiście jest, że niezbędna w tym celu będzie sprawna infrastruktura transportu kolejowego (np. terminale intermodalne).

Wśród regulacji prawnych mogących wywierać wpływ na transport ładunków w Polsce należy wymienić rozporządzenie [138] o czasowych ograniczeniach w ruchu samochodów ciężarowych oraz o czasie pracy kierowców [136]. W pierwszym przypadku ograniczenia w ruchu dotyczą pojazdów o DMC powyżej 12 ton w dni ustawowo wolne od pracy (w godz. 8:00 – 22:00), w dni poprzedzające powyższe dni (w godz. 18:00 – 22:00) oraz w weekendy w okresie wakacyjnym: w piątki od 18:00 do 22:00, w soboty od 8:00 do 14:00 oraz w niedziele od 8:00 do 22:00. Regulacje te będą miały wpływ przede wszystkim na rozkład ruchu w sieci. Po zakończeniu okresu objętego ograniczeniami w ruchu zauważalny jest wzrost natężenia ruchu.

### 2.3.3. Opłaty za korzystanie z infrastruktury

W większości krajów europejskich istnieją systemy opłat za korzystanie z infrastruktury drogowej. W odniesieniu do samochodów ciężarowych występują zarówno systemy winietowe, jak i elektroniczne. W zależności od kraju opłaty pobierane są za przejazd po autostradach i po niektórych bądź wszystkich drogach krajowych. Wielkość opłaty zależy zwykle od normy emisji spalin jaką spełnia pojazd, dopuszczalnej masy całkowitej lub liczby osi oraz przejechanej odległości [91].

W Szwajcarii opłata jest iloczynem jednostkowej stawki za tonokilometr i dopuszczalnej masy całkowitej pojazdu z uwzględnieniem spełnianej normy emisji spalin, bez względu na masę przewożonego ładunku, co wymusza lepsze wykorzystanie taboru i eliminację pustych przebiegów. Skutkami wprowadzenia nowej opłaty było zmniejszenie w 2001 ruchu

pojazdów o długości powyżej 12,5 m oraz zmniejszenie tranzytu drogowego. Zauważalny był wzrost wykorzystania najcięższego taboru [109].

W Niemczech [100] wyniki badań ankietowych wśród firm transportowych wykazały nie tylko akceptację opłat za korzystanie z infrastruktury, ale również możliwość ich podniesienia pod warunkiem wykorzystania dodatkowych środków na poprawę infrastruktury drogowej, zwłaszcza usuwanie tzw. wąskich gardeł.

Wprowadzony w Polsce system poboru opłat za przejazd drogami krajowymi (ViaToll) wpłynął bardzo na rozkład ruchu w sieci. W wielu przypadkach ruch samochodów ciężarowych przeniósł się z odcinków płatnych na alternatywne odcinki bezpłatne, często przebiegające przez obszary wrażliwe. Wdrożenie docelowego systemu powinno wyeliminować takie sytuacje.

Opłaty za korzystanie z infrastruktury mają istotny wpływ na rozkład ruchu w sieci, zwłaszcza w przypadku niepełnego systemu. W perspektywie mogą one też powodować unowocześnianie taboru poprzez spełnienie wyższej normy emisji spalin, a przez to obniżenie opłaty np. w Polsce dla samochodu ciężarowego o DMC > 12t z 0,57 PLN/km w przypadku spełnienia normy EURO2 do 0,27 PLN/km w przypadku spełnienia normy EURO5, czyli niemal o połowę. Nie należy spodziewać się przełożenia ładunków na pojazdy o mniejszej ładowności, gdyż ewentualny zysk w opłacie elektronicznej byłby mniejszy niż dodatkowe koszty paliwa oraz kierowcy.

#### 2.3.4. Warunki atmosferyczne

Pory roku i stan pogody ma istotny wpływ na drogowy transport ładunków. Dotyczy to głównie ruchu budowlanego oraz zaopatrzenia sklepów. Ruch budowlany praktycznie zamiera w okresie zimowym, przy temperaturach poniżej  $-5^{\circ}\text{C}$ , z uwagi na procesy technologiczne, które nie mogą zachodzić przy tak niskiej temperaturze (np. wykonywanie elementów betonowych, układanie mieszanki mineralno-asfaltowej). Z drugiej strony wysokie temperatury w ciągu miesięcy wiosennych i letnich powodują większe zapotrzebowanie na napoje, stąd generacja ruchu w zakładach produkujących wody mineralne może znacząco wzrosnąć, zwłaszcza w stosunku do miesięcy zimowych.

Wpływ warunków atmosferycznych, pomimo że zauważalny i dość oczywisty, jest trudny do skwantyfikowania.

#### 2.3.5. Kursy walut

W przypadku zmiany kursu walut często można spotkać się z opiniami producentów, że opłacalność eksportu lub importu spada bądź wzrasta. Zgodnie z tymi opiniami umocnienie się złotego w stosunku do innych walut (głównie euro) powinno powodować zwiększenie importu. Odwrotna sytuacja, czyli osłabienie złotego w stosunku do euro powinno sprzyjać eksportowi. Analizując jednak dane pozyskane ze statystyk GUS i NBP, a przedstawione na rys. 2.4 można zauważyć, że kurs euro w stosunku do złotego nie wpływa na wielkość eksportu oraz importu.

Można stwierdzić, że zapotrzebowanie na towary jest niezależne od kursu walut (co jest poniekąd truizmem), a ewentualne straty związane z droższym zakupem lub tańszą sprzedażą kompensowane są przez producentów bądź przekładane na odbiorców końcowych (konsumentów). Nie można wykluczyć innych czynników wpływu, niemniej wymaga to zgłębionych analiz.

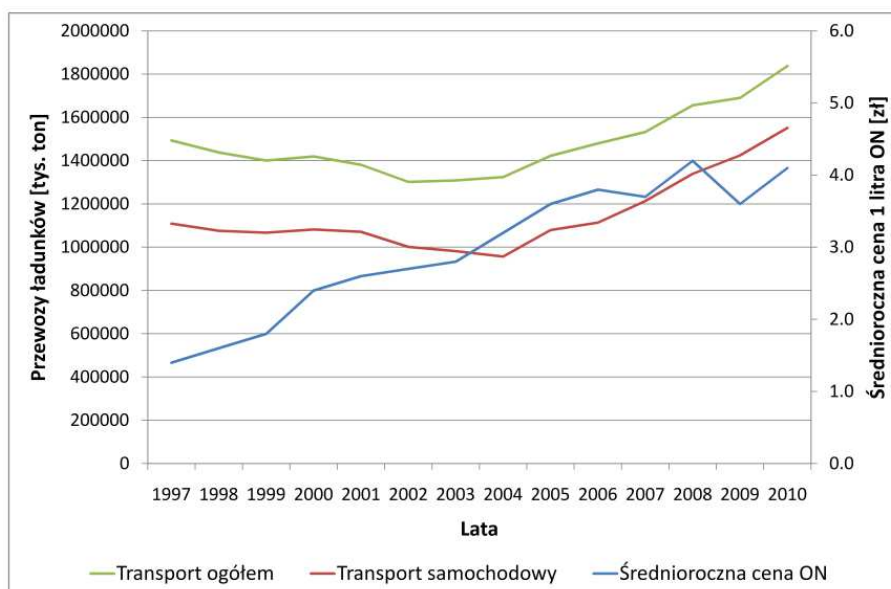




Rys. 2.4. Zależność pomiędzy eksportem z i importem do Polski ładunków od kursu EUR (opracowanie własne na podstawie [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl) i [www.nbp.pl](http://www.nbp.pl))

### 2.3.6. Ceny paliw

Często można usłyszeć, że rosnące ceny paliw ograniczają przewozy ładunków. Na rys. 2.5 przedstawiono zmianę cen oleju napędowego oraz wielkości ładunków przewożonych ogółem i transportem samochodowym. Jak widać na wspomnianym wykresie wraz ze wzrostem cen paliwa wzrasta wielkość przewożonych ładunków, co może jedynie potwierdzać tezę, że ceny paliwa dłuższym okresie nie wpływają istotnie na wielkość przewożonych ładunków. Nie można wykluczyć krótkookresowych wahań wielkości przewozów wskutek chwilowych zmian cen paliw.



Rys. 2.5. Zależność przewozów ładunków od cen oleju napędowego w Polsce (opracowanie własne na podstawie [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl))

## 2.4. Wnioski z rozdziału 2

Zaprezentowane w niniejszym rozdziale czynniki wpływu odnoszą się do skali makro i nie jest możliwe ich bezpośrednie przełożenie na wielkość potencjałów ruchotwórczych. Pomimo przytoczenia ograniczonej liczby przykładów dają one pewien pogląd na istotność czynników wpływu.

Transport ładunków obejmuje wiele środowisk przemieszczeń i łączy kilka podmiotów decyzyjnych: producenci, przewoźnicy, spedytorzy, podmioty magazynujące oraz odbiorców końcowych. Wielość podmiotów decyzyjnych powoduje, że modelowanie transportu ładunków jest zagadnieniem trudnym. Samo podjęcie decyzji o transportowaniu będzie zależało od zapotrzebowania na dany towar (ładunek) u odbiorcy końcowego bądź producenta innego towaru. Natomiast na wybór środka transportu wpływ będą miały takie czynniki jak jego dostępność, koszt transportu lub rodzaj ładunku.

Wiele czynników może wywierać wpływ na transport ładunków. Część z nich jest możliwa do skwantyfikowania, co zostało przedstawione w niniejszym rozdziale. PKB ma istotny wpływ na przewozy ładunków transportem drogowym, co jest trendem ogólnoeuropejskim. Można stwierdzić, że kurs euro oraz ceny paliw nie są czynnikami istotnie wpływającymi na wielkość transportowanych ładunków. Płyne stąd wniosek, że wzrost kosztów transportu ładunków w przypadku niekorzystnego kursu waluty obcej lub wyższych cen paliw pokrywany jest np. przez odbiorców końcowych.

### 3. Modele transportu ładunków

#### 3.1. Klasyfikacje modeli drogowego transportu ładunków

Wśród modeli transportu ładunków można wprowadzić kilka klasyfikacji w zależności od pewnych cech tych modeli. Tymi cechami są:

- rodzaj podejścia,
- zakres modelu,
- zasięg przestrzenny modelu,
- poziom ogólności/agregacji modelu.

Najważniejszym podziałem jest pierwszy na powyższej liście, który wyróżnia dwa typy modeli [117]: oparte na podróżach pojazdów (vehicle-trip based models), zwane dalej modelami pojazdowymi oraz przepływie ładunków (commodity based models), zwane dalej modelami ładunkowymi. W pierwszym podejściu potencjały ruchotwórcze wyznaczane są w postaci estymatorów liczby podróży rozpoczynanych lub kończonych w danym rejonie komunikacyjnym przez konkretną grupę samochodów ciężarowych. W tego typu modelach zachodzi pierwotny podział zadań przewozowych (tj. dokonywany przed więźbą ruchu). W niektórych opracowaniach [129] mówi się o takim podejściu jako o trzyetapowym modelu podróży. Więźba ruchu wyznaczana jest dla każdej grupy pojazdów z osobna (w przypadku modelu grawitacyjnego występują różne funkcje oporu przestrzeni dla różnych typów pojazdów i ładunków). Elementy więźby ruchu będące relacjami międzyrejonowymi dla poszczególnych typów samochodów ciężarowych o DMC powyżej 3,5 t (ciężarowe bez przyczep i ciężarowe z przyczepami oraz ciągniki siodłowe z naczepami) rozkładane są na sieć przed pozostałymi więźbami ruchu (dla samochodów osobowych i dostawczych) lub są dodawane do sumarycznej więźby ruchu. W modelach opartych na przepływie ładunków potencjały ruchotwórcze oraz więźba ruchu wyznaczane są w jednostkach wyrażających wielkość ładunku, np. tony. W przypadku rozpatrywania kilku rodzajów transportu (drogowy, kolejowy, lotniczy, wodny) po wyznaczeniu więźby ruchu następuje podział zadań przewozowych. Rozkładowi ruchu poddawane są więźby wyznaczone w tonach ładunków lub przeliczone na pojazdy.

Z uwagi na zakres modelu można wyróżnić modele pełne i modele cząstkowe. Modele pełne obejmują wszystkie etapy klasycznego czterostadiowego modelu podróży, podczas gdy modele cząstkowe obejmują jedynie wybrane etapy, np. tylko stadium modelowania potencjałów ruchotwórczych.

Istotny jest podział z uwagi na zasięg przestrzenny modelu. Nie trudno zauważyć, że charakter transportu ładunków wewnątrz obszarów miejskich oraz aglomeracji różni się od transportu regionalnego, krajowego i międzynarodowego. Tworzone modele predykcji ruchu obejmują obszary różnej wielkości (miasta, regiony, kraje, kontynenty). Stopień dokładności modelu, który zależy od jego zasięgu, wymusza zastosowanie odpowiednich danych wejściowych. W przeglądzie modeli ruchu ciężarowego, który został wykonany dla potrzeb tworzenia krajowego modelu ruchu ciężarowego w Wielkiej Brytanii [131], zróżnicowano istniejące modele pod względem zasięgu na:

- międzynarodowe,
- krajowe,
- regionalne,
- miejskie.

Powyższy podział obejmuje prawie wszystkie rodzaje pełnych, czterostadiowych modeli symulacyjnych, jakie tworzone były dla potrzeb modelowania podróży osób oraz transportu

towarów. Wydana w 2007 roku w USA instrukcja Quick Resnponse Freight Manual II [129] wprowadza podział na trzy typy modeli transportu towarów:

- miejskie (urban),
- stanowe (statewide),
- związane z pojedynczymi generatorami ruchu (site specific).

Powyższa klasyfikacja odpowiada podanemu wcześniej podziałowi na podstawie [131], przy czym zrezygnowano z wyszczególniania modeli na poziomie krajowym i międzynarodowym. Ponadto dodano kategorię modeli związanych z pojedynczymi generatorami ruchu, co w praktyce europejskiej występuje rzadko. W opracowaniach amerykańskich w modelach miejskich dominuje podejście bazujące na podróżach samochodów ciężarowych, podczas gdy w większości modeli stanowych wykorzystuje się podejście oparte na przepływie ładunków.

Łącząc powyższe klasyfikacje pod względem zasięgu przestrzennego modelu oraz dodając jeszcze jedną klasę można wprowadzić następujący podział, który obejmuje wszystkie modele transportu ładunków:

- międzynarodowe,
- krajowe,
- regionalne,
- metropolitalne,
- miejskie,
- obiektowe, związane z pojedynczymi generatorami ruchu.

Przedstawiona powyżej klasyfikacja będzie używana jako podstawowa w niniejszej dysertacji.

Inna klasyfikacja dzieli modele pod względem ogólności (poziomu agregacji) na

- rozproszone (disaggregated models),
- zagregowane (aggregated models),
- mieszane.

Modele rozproszone wykorzystują obserwacje na poziomie pojedynczych firm lub pojedynczych przewoźników, podczas gdy modele zagregowane rozważają pewną zbiorowość np. na poziomie rejonu komunikacyjnego, kraju lub regionu [13]. Różnice w wymienionych podejściach można pokazać na przykładzie podziału zadań przewozowych. W modelu rozproszonym analizowany jest wybór środka transportu przez każdego ze spedytorów, podczas gdy w modelu zagregowanym zakłada się podział zadań przewozowych np. na podstawie danych dla całego kraju.

W niektórych publikacjach (np. [168]) wprowadza się podział w zależności od metod wykorzystanych do obliczania potencjałów oraz więzby ruchu. W [180] modele transportu ładunków podzielono na 7 klas (A÷F), obejmujące między innymi klasyczny czterostadiowy model pojazdowy i ładunkowy, model aktywności ekonomicznej oraz procedurę bezpośredniej estymacji elementów więzby ruchu.

W [120] wprowadzono następujące klasy modeli:

- bezpośrednia prognoza wskaźnikowa (zwykle krótkoterminowa) np. dla odcinka drogi,
- estymacja elementów więzby ruchu (z pominięciem wyznaczania potencjałów ruchotwórczych),
- model bazujący na ruchu pojazdów (potencjały ruchotwórcze wyznaczone jako liczba jazd samochodów ciężarowych w podziale na typy, pierwotny podział zadań przewozowych uwzględniający różne typy samochodów ciężarowych),
- klasyczny model czterostadiowy bazujący na przepływie ładunków,
- model aktywności ekonomicznej (etap potencjałów ruchotwórczych jest poprzedzony identyfikacją charakterystyki i lokalizacji aktywności gospodarczych).

Podsumowując powyższe klasyfikacje należy wspomnieć jeszcze o tzw. modelach hybrydowych (hybrid approaches) [129]. Model hybrydowy łączy metodykę modelowania opartego na przepływie ładunków dla dalekich przewozów (modele stanowe) z metodyką modelowania opartego na podróżach pojazdów dla krótkich przewozów (modele miejskie).

## **3.2. Przegląd modeli transportu ładunków ze szczególnym uwzględnieniem etapu modelowania potencjałów ruchotwórczych**

### **3.2.1. Wprowadzenie**

W literaturze amerykańskiej można spotkać wiele pozycji klasyfikujących i charakteryzujących modele transportu ładunków ([50], [117], [118], [119], [120], [161]). Są one ze sobą spójne i często przytaczane są te same przykłady modeli transportu ładunków. Niemniej dają bardzo dobry pogląd na stan wiedzy w dziedzinie modelowania transportu ładunków.

W [117] dokonano przeglądu kilkudziesięciu amerykańskich badań ruchu ciężarowego. Pojawia się wiele zestawień tabelarycznych, w których przedstawiono jakie podejście do modelowania (commodity bądź vehicle based) zostało wykorzystane, jaką przyjęto klasyfikację pojazdów oraz jakie zmienne objaśniające i metody matematyczne zostały wykorzystane przy modelowaniu potencjałów ruchotwórczych.

W [118] znajdujemy informację, że pierwsze próby tworzenia modeli regionalnych pojawiły się w USA w latach 70-tych ubiegłego wieku. Dokonano porównania podejść do modelowania transportu ładunków w różnych stanach. Wynika z niego, że każdy stan opracowuje takie modele według własnej metodyki i brakuje unifikacji podejścia (modelu uogólnionego) w skali kraju. Mniej więcej 3/4 stanów opracowuje swoje modele wykorzystując podejście ładunkowe (commodity-based). Przytoczone zostały również nakłady finansowe i czasowe niezbędne do opracowania modelu ruchu ciężarowego. W zależności od wielkości stanu i zakresu prac, czas opracowania to 6-8 miesięcy, natomiast koszt może wahać się od 100 000 do nawet kilku milionów dolarów. Zauważono również, że wiele stanów nie uwzględnia w modelach regionalnych punktowych (obiektywnych) generatorów ruchu (special generators).

W kolejnych publikacjach scharakteryzowano modele ruchu ciężarowego: metropolitalne [119] oraz regionalne [120]. W obu pozycjach przedstawiono przykłady (case studies) modeli metropolitalnych (4 przykłady) i regionalnych (5 przykładów) dla różnych rejonów USA.

W podsumowanie wprowadzenia nie sposób nie wspomnieć o dwóch najważniejszych instrukcjach dotyczących ruchu ciężarowego. Są to dwie edycje instrukcji Quick Response Freight Manual: QRFM I [128] oraz QRFM II [129] wydane i obowiązujące w USA. W pierwszej edycji instrukcji [128] zamieszczono w jednym z załączników zestawienie wskaźników generacji ruchu dla różnych obiektów w różnych regionach kraju. Duży zestaw wskaźników generacji ruchu wraz z komentarzem można znaleźć w [80]. Natomiast w drugiej edycji instrukcji [129] rozwinięto zestaw wytycznych dotyczących budowy regionalnych modeli transportu ładunków.

W niniejszej pracy nacisk zostanie położony na budowę regionalnych modeli ruchu. W celu pokazania szerszego spektrum przedstawione zostaną przykłady różnych modeli ruchu z uwzględnieniem nietypowych podejść. Przyjęto podział na typy modeli pod względem zasięgu przestrzennego. Wynika to z faktu, iż zasięg przestrzenny modelu niejako determinuje jego dokładność oraz podejście.

### 3.2.2. Modele o zasięgu międzynarodowym

Modele o zasięgu międzynarodowym obejmują co najmniej dwa kraje. Mogą one obejmować całe kontynenty, np. Europę. Jako przykład można podać model europejski wykonany w ramach projektu SCENES [142], który obejmował zarówno transport pasażerski, jak i transport ładunków. W odniesieniu do transportu ładunków stworzono trzy moduły:

- międzyregionalny model aktywności ekonomicznej (Regional Economic Model, REM), w którym obliczane są przepływy monetarne między rejonami komunikacyjnymi, rejon komunikacyjny to podregion (NUTS3),
- przeliczający przepływy monetarne na przepływy ładunków (Interface),
- realizujący podział zadań przewozowych i rozkład ruchu (Transport Model).

Łącznie uwzględniono 23 rodzaje ładunków oraz 13 środków transportowych w podziale zadań przewozowych, w tym lekkie i ciężkie samochody ciężarowe.

Innym przykładem jest model TRANS-TOOLS<sup>10</sup> obejmujący Europę. W 41 państwach wydzielono 1441 rejonów komunikacyjnych, odpowiadających obszarom NUTS3 (w Polsce odpowiada to podregionowi). Dostępne są macierze przepływu ładunków w tonach, w podziale na 10 typów ładunków. Nie jest uwzględniany ruch wewnętrzny w rejonach komunikacyjnych. Model uwzględnia również podział zadań przewozowych na różne środowiska przemieszczeń ładunków.

Wyróżnić można modele międzynarodowe o relatywnie małym zasięgu przestrzennym, zbliżonym do regionalnych, często obejmujących strefy nadgraniczne dwóch lub większej liczby krajów i przepływy ładunków między nimi. Jako przykład można podać tworzone modele na granicy Austrii i Węgier<sup>11</sup> oraz Austrii i Słowacji<sup>12</sup>, które zostały połączone w jeden lub model dla nadreńskiej strefy granicznej [86] obejmujący fragmenty Francji, Niemiec i Szwajcarii.

### 3.2.3. Modele o zasięgu krajowym

Modele o zasięgu krajowym (krajowe), zgodnie ze swoją nazwą, obejmują swoim zasięgiem jeden kraj. Szczegółowość modelu (podział na rejony komunikacyjne, sieć drogowa) oraz uwzględniane środowiska przemieszczeń ładunków zależą od wielkości kraju oraz dominujących środków transportowych.

Wśród europejskich modeli krajowych można wyróżnić te stworzone dla: Danii [48], Norwegii [70], Wielkiej Brytanii [131], Niemiec [144], Holandii [160] lub Szwecji [162]. W [184] przedstawiono możliwości zastosowania modelu TRANS-TOOLS w celu poprawy jakości modelu krajowego.

Z modeli tworzonych poza kontynentem europejskim można przytoczyć model ruchu dla Korei Południowej [71] oraz Japonii [114]. W drugim przykładzie przyjęto inne podejście do modelowania lekkich i ciężkich samochodów ciężarowych. Dla lekkich samochodów ciężarowych wyznaczano wielkość ładunków przewożonych tymi pojazdami i zmienną objaśniającą była liczba mieszkańców. W przypadku ciężkich samochodów ciężarowych w pierwszej kolejności obliczano na podstawie PKB potencjał dla różnych typów ładunków dla wszystkich środowisk przemieszczeń, a następnie wyznaczano udział transportu drogowego w transporcie ładunków. W [21] przedstawiono metodykę tworzenia modelu

<sup>10</sup> <http://energy.jrc.ec.europa.eu/transtools/> (odczyt z dn. 27 listopada 2012 r.)

<sup>11</sup> <http://www.ivv.tuwien.ac.at/forschung/projekte/international-projects/vkmat-hu00.html> (odczyt z dn. 27 listopada 2012 r.)

<sup>12</sup> <http://www.ivv.tuwien.ac.at/forschung/projekte/international-projects/vkmat-sk0.html> (odczyt z dn. 27 listopada 2012 r.)

krajowego dla Kolumbii, który zdaniem autorów może być rozwiązaniem dla krajów rozwijających się, w których dane wejściowe do modelu mogą być ograniczone.

W [28] i [123] zaprezentowano model potencjałów ruchotwórczych dla USA. Obliczono parametry równań regresyjnych (liniowych i kwadratowych) dla potencjału wytwarzającego i absorbującego ruch, dla 27 rodzajów ładunków, na poziomie stanu. Potencjał ruchotwórczy został wyrażony w dolarach, a zmienną objaśniającą był roczny dochód w poszczególnych sekcjach gospodarki. W [122] opracowano model generacji ruchu ciężarowego na poziomie hrabstw (county) w przejazdach krajowych. Opracowano równania regresyjne, w których zmienną objaśnianą był potencjał ruchotwórczy, a zmiennymi objaśnianymi: liczba pracujących łącznie, pracujący w rolnictwie, pracujący w przemyśle wydobywczym, liczba portów oraz długość sieci autostrad. Podobną analizę wykonano w [44].

Program FAF (Freight Analysis Framework) [118] wdrażany w USA przez FHWA, jest środowiskiem modelowania, w którym możliwe jest uzyskanie informacji o przepływach ładunków pomiędzy stanami oraz głównymi ośrodkami metropolitalnymi. Aktualna wersja bazuje na pomiarach przepływu ładunków z roku 2007 (2007 CFS). Możliwe jest uzyskanie informacji o wielkości ładunków, źródle i celu przewozu oraz wykorzystanych środkach transportu. Model uwzględnia transport drogowy, wodny i kolejowy. Dodatkowo udostępniane są prognozy do roku 2040.

### ***Badania polskie***

W 2007 roku został stworzony model ruchu dla Polski [154]. Rejon komunikacyjny odpowiada powiatowi. W modelu uwzględniono tylko transport drogowy z podziałem na: samochody osobowe, samochody dostawcze, samochody ciężarowe bez przyczep oraz samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami. W opisie do krajowego modelu ruchu zamieszczono jedynie informację, że *„na podstawie analizy ankiet założono dla tych grup następujący zestaw danych objaśniających, mających wpływ na liczbę podróży w każdej z tych grup:*

- *liczbę mieszkańców i liczbę firm jako zmienne określające liczbę podróży samochodów dostawczych rozpoczynanych i kończonych w rejonach,*
- *liczbę firm jako zmienną określającą liczbę podróży samochodów ciężarowych pozostałych typów rozpoczynanych i kończonych w rejonach; zmienna ta była korygowana wskaźnikiem kontrolnym dla każdego województwa, powodującym, że suma ton ładunków wywożonych i przywożonych w poszczególnych województwach zgodna była z danymi podawanymi przez GUS.”*

Głównym zastosowaniem modelu krajowego jest planowanie strategiczne. Jednocześnie może częściowo być przydatny w tworzeniu regionalnych modeli ruchu, co zostało przedstawione w p. 6.1. Z uwagi na podział na rejony komunikacyjne odpowiadający powiatom nie jest uwzględniany ruch wewnętrzny w powiecie. Stąd przydatność do wyznaczenia empirycznych wartości potencjałów ruchotwórczych gmin jest ograniczona. W założeniach do budowy krajowego modelu ruchu nie podano formuł regresyjnych do wyznaczenia potencjałów ruchotwórczych powiatów. Wymienione są jedynie zmienne objaśniające. Nie jest więc możliwe zastosowanie i zweryfikowanie tych formuł dla gmin. Model krajowy ma charakter modelu zagregowanego.

Wśród badań przeprowadzonych w Polsce należy wyróżnić prace dotyczące modeli zdezagregowanych, tj. na poziomie pojedynczych przedsiębiorstw: producentów, spedytorów i przewoźników.

W [40] opracowano opis przestrzennego rozkładu potoku ładunków w sieciach transportowych dla warunków polskich. W analizowanym modelu elementami sieci transportowej są multigrafy skierowane, w których wierzchołki odpowiadają geograficznym punktom pomiędzy którymi zachodzi wymiana towarów a łuki reprezentują możliwe

połączenia drogowe. Dalej, cytując za [40], „*wielkość łącznych przewozów jest wynikiem agregacji cząstkowych potoków generowanych przez przewoźników*”.

Jako model transportu ładunków o nieco innej specyfice można przytoczyć Model Systemu Logistycznego Polski (LSP) ([6], [77]). W modelu tym założono strukturę grafu, która obejmuje wierzchołki:

- punkty nadania (źródła) reprezentujące przedsiębiorstwa produkcyjne i wydobywcze,
- punkty odbioru (ujścia) ładunków reprezentujące centra logistyczne, punkty przeładunkowe, terminale transportu intermodalnego,
- punkty zmiany środka transportu reprezentujące obiekty logistyczne, zakłady przemysłowe, porty morskie,

oraz łuki, czyli powiązania pomiędzy powyższymi punktami, które odwzorowują istniejącą infrastrukturę liniową transportu.

Kolejną pracą z nurtu modeli zdezagregowanych jest [127]. W przytoczonej pozycji zaprezentowano wiele modeli obsługi transportowej podmiotów gospodarczych, uwzględniających ograniczenia czasowe i techniczne (np. ładowność pojazdów) oraz losowość popytu i podaży.

### 3.2.4. Modele o zasięgu regionalnym

Zasięg modeli regionalnych zależy w dużej mierze od wielkości kraju. W przypadku Polski obszarem tym jest zwykle województwo lub część województwa. Podobnie wygląda sytuacja w innych krajach europejskich. W USA model regionalny obejmuje najczęściej jeden stan i co do powierzchni może odpowiadać nawet połowie powierzchni Polski. W niniejszym punkcie zostanie przytoczonych kilka przykładów, ze szczególnym naciskiem na etap modelowania potencjałów ruchotwórczych. Dominacja przykładów z USA wynika z potrzeby zaprezentowania różnych podejść do tworzenia regionalnych modeli transportu ładunków, co wyczerpują modele amerykańskie. Niemniej warto przytoczyć modele tworzone w innych krajach, np. w Kanadzie [15] i w Słowacji [104].

#### *Badania prowadzone w USA*

Wśród badań amerykańskich można przytoczyć wiele przykładów modeli stanowych (np. [5], [7], [10], [26], [59], [63], [72], [75], [82], [101], [141], [145], [168]). Wynika to z faktu, że prawie każdy stan posiada swój model, a dla wielu stanów modele ruchu były aktualizowane włączając w to również zmianę metodyki. W ogólności regionalne modele transportu ładunków w USA można podzielić na bazujące na podejściu ładunkowym (commodity-based) i pojazdowym (vehicle-based). Pierwszy typ może obejmować zarówno modele multimodalne jak i obejmujące tylko transport drogowy. W drugim przypadku rozważany jest tylko drogowy transport ładunków.

W pierwszej kolejności należy wspomnieć o instrukcjach i opracowaniach mających charakter przeglądowy. W pierwszej edycji instrukcji QRFM [128] pokazano metodykę uwzględniania transportu ładunku w regionalnych modelach ruchu.

Zaproponowano standardowe wskaźniki generacji i absorpcji ruchu do stosowania w modelowaniu drogowego transportu ładunków. Wskaźniki zostały wyrażone w liczbiejazd samochodów ciężarowych rozpoczynanych lub kończonych w danych rejonie komunikacyjnym przypadających na 1 zatrudnionego w poszczególnych sektorach gospodarki (według klasyfikacji SIC) oraz na 1 gospodarstwo domowe.



Tab. 3.1. Wskaźniki generacji oraz absorpcji ruchu dla warunków amerykańskich według instrukcji QRFM (opracowanie własne na podstawie [128])

Jednostka odniesienia	Liczbajazd rozpoczynanych oraz kończonych w ciągu doby na jednostkę odniesienia [jazd/jednostkę/dobę]			
	SD	SC	SCP	SUMA
Liczba pracujących w sekcjach: rolnictwo, górnictwo i budownictwo (SIC 119)	1,110	0,289	0,174	1,573
Liczba pracujących w sekcjach: przemysł, transport, handel hurtowy (SIC 2051)	0,938	0,242	0,104	1,284
Liczba pracujących w sekcji handel detaliczny (SIC 5259)	0,888	0,253	0,065	1,206
Liczba pracujących w sekcji usługi (SIC 6088)	0,437	0,068	0,009	0,514
Liczba gospodarstw domowych	0,251	0,099	0,038	0,388

Przedstawione w tab. 3.1 wskaźniki pochodzą z kompleksowych badań ruchu w strefie metropolitalnej miasta Phoenix (USA, Arizona) [141]. Pomimo, że badania zostały wykonane w roku 1992, w przypadku braku innych danych podane wskaźniki generacji/absorpcji ruchu można używać jako standardowe (wyjściowe) przy tworzeniu modeli, a następnie modyfikować je w procesie kalibracji modelu [129].

W kolejnej edycji instrukcji QRFM II ([129]) wprowadzono zróżnicowanie na modele dla małych i dużych stanów oraz modele hybrydowe. Dla małych stanów oraz modeli aglomeracyjnych zalecane jest podejście jak w QRFM ([128]), czyli pojazdowe z tymi samymi wskaźnikami generacji ruchu. Natomiast dla dużych stanów zaleca się podejście ładunkowe. Model hybrydowy łączy ze sobą oba podejścia: przejazdy zewnętrzne (początek lub koniec podróży znajduje się poza obszarem analizy) analizowane są podejściem ładunkowym natomiast przejazdy wewnętrzne (początek i koniec znajdują się wewnątrz obszaru analizy) analizowane są podejściem pojazdowym.

Pozycja [118] zawiera szeroki przegląd stanowych modeli ruchu, które obejmują zarówno ruchu pasażerski jak i transport ładunków. Modele zostały sklasyfikowane pod kątem wielu kryteriów oraz przedstawiono kilka przykładów (case studies). Dla każdego modelu przedstawiono krótką charakterystykę, obejmującą między innymi: wielkość obszaru, liczbę rejonów komunikacyjnych oraz podejście do wyznaczania potencjałów ruchotwórczych i więzby ruchu.

Pierwszym, bodaj najprostszym podejściem, jest wykorzystanie metodyki zaproponowanej w instrukcji QRFM [128]. Przykład jej zastosowania do celów budowy regionalnego modelu transportu ładunków pokazano w [43]. Wykorzystano domyślne wartości wskaźników generacji ruchu (tab. 3.1) oraz standardową klasyfikację pojazdów. Stworzony model dla stanu Detroit został zweryfikowane zgodnie z instrukcją poprzez porównanie pracy przewozowej uzyskanej w modelu z rzeczywistą pracą przewozową. Również w [10] zastosowano standardowe wskaźniki ruchu z instrukcji QRFM do obliczenia potencjałów ruchotwórczych. Następnie po obliczeniu i rozłożeniu więzby ruchu na sieć dokonano kalibracji porównując natężenia ruchu uzyskane z modelu z pomierzonymi. Inny przykład zastosowania instrukcji QRFM można znaleźć w [10] i [106].

Kolejnym krokiem jest wykorzystanie klasycznego czterostadiowego podejścia w ujęciu jak w QRFM, jednak z parametrami modelu opracowanymi dla danego obszaru. Takie podejście zostało zastosowane w [5] dla stanu Baltimore. Początkowe parametry modelu potencjałów ruchotwórczych zostały zaczerpnięte z QRFM a następnie dopasowane do warunków lokalnych. Po obliczeniu więzby ruchu oraz rozkładzie ruchu na sieć dokonano

kalibracji i uzyskano ostateczne formuły regresyjne do wyznaczenia potencjałów ruchotwórczych (równania 3.1 i 3.2).

$$MT = 0,70 \cdot (0,178 \cdot LPP + 0,177 \cdot LPHD + 0,048 \cdot LPU + 0,069 \cdot LGD), \quad (3.1)$$

$$HT = 0,90 \cdot (0,199 \cdot LPP + 0,141 \cdot LPHD + 0,029 \cdot LPU + 0,068 \cdot LGD), \quad (3.2)$$

gdzie:  $MT$  – potencjał wytwarzający oraz absorbujący wyrażony w liczbie przejazdów średnich samochodów ciężarowych rozpoczętych lub skończonych w ciągu doby w rejonie komunikacyjnym,

$HT$  – potencjał wytwarzający lub absorbujący wyrażony w liczbie przejazdów ciężkich samochodów ciężarowych rozpoczętych oraz skończonych w ciągu doby w rejonie komunikacyjnym,

$LPP$  – liczba pracujących w przemyśle,  $LPHD$  – liczba pracujących w handlu detalicznym,

$LPU$  – liczba pracujących w usługach,  $LGD$  – liczba gospodarstw domowych.

Dodatkowo wprowadzono współczynniki zmniejszające lub zwiększające potencjał ruchotwórczy w zależności od: dominującej funkcji rejonu (usługowy, magazynowy, lotnisko, dostawy), intensywności zabudowy (wiejski, podmiejski, miejski, centrum) oraz lokalizacji rejonu (wartości współczynników zależne były od hrabstwa, w którym znajdował się dany rejon komunikacyjny). W modelu wyróżniono dwa typy samochodów ciężarowych: średnie (2-osiowe, typ F5 wg klasyfikacji FHWA) oraz ciężkie (3- i więcej osiowe, typy F6÷F14 wg klasyfikacji FHWA<sup>13</sup>).

Podobny, czterostadiowy model pojazdowy został stworzony dla obszaru Santa Clara Valley [26]. Wprowadzono podział na samochody ciężarowe 2-osiowe (małe), 3-osiowe (średnie), 4- i więcej osiowe (duże). Model był aktualizacją poprzedniego, w stosunku do którego uwzględniono punktowe (specjalne) generatory ruchu. Zamieszczone w tab. 3.2 wzory regresyjne nie uwzględniają dodatkowego potencjału dla pojedynczych generatorów.

---

<sup>13</sup> [http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/tda/fhwa\\_vehicle\\_classification\\_figures.htm](http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/tda/fhwa_vehicle_classification_figures.htm) (odczyt z dn. 27 listopada 2012 r.) oraz Załącznik 1

Tab. 3.2. Równania regresyjne modelu potencjałów ruchotwórczych dla regionu Santa Clara Valley w USA (opracowanie własne na podstawie [26])

Typ pojazdu	Przejazdy związane z miejscem garażowania (GI, IG)	Przejazdy niezwiązane z miejscem garażowania (NZG)
Potencjał wytwarzający [jazd/dobę]		
Małe samochody ciężarowe (2 osie)	$0,0110 \cdot \text{MANEMP} + 0,0140 \cdot \text{RETEMP} + 0,0105 \cdot \text{SEREMP} + 0,0460 \cdot (\text{OTHEMP} + \text{WHOEMP} + \text{AGEMP})$	$0,0324 \cdot \text{TEMP}$
Średnie samochody ciężarowe (3 osie)	$0,0014 \cdot \text{MANEMP} + 0,000124 \cdot \text{RETEMP} + 0,0037 \cdot (\text{OTHEMP} + \text{WHOEMP} + \text{AGEMP})$	$0,0039 \cdot \text{TEMP}$
Duże samochody ciężarowe ( $\geq 4$ osi)	$0,0040 \cdot \text{MANEMP} + 0,0027 \cdot \text{SEREMP} + 0,0084 \cdot (\text{OTHEMP} + \text{WHOEMP} + \text{AGEMP})$	$0,0073 \cdot \text{TEMP}$
Potencjał absorbujący [jazd/dobę]		
Małe samochody ciężarowe (2 osie)	$0,0234 \cdot \text{TEMP}$	$0,0324 \cdot \text{TEMP}$
Średnie samochody ciężarowe (3 osie)	$0,0046 \cdot \text{TEMP}$	$0,0039 \cdot \text{TEMP}$
Duże samochody ciężarowe ( $\geq 4$ osi)	$0,0136 \cdot \text{TEMP}$	$0,0073 \cdot \text{TEMP}$

W tab. 3.2 użyto oznaczeń:

TEMP – liczba miejsc pracy ogółem,

RETEMP – liczba miejsc pracy w handlu detalicznym,

SEREMP – liczba miejsc pracy w usługach,

WHOEMP – liczba miejsc pracy w handlu hurtowym,

AGEMP – liczba miejsc pracy w rolnictwie,

OTHEMP – liczba miejsc pracy w pozostałych branżach.

Bardziej kompleksowym podejściem jest stworzenie modelu ładunkowego, obejmującego wszystkie środowiska transportu ładunków. W QRFM II zalecane jest podejście ładunkowe dla dużych stanów. Wśród przykładów instrukcja przytacza modele dla stanów Indiana, Floryda i Wisconsin. W ostatnim dodatkowym elemencie jest uwzględnienie pojedynczych generatorów ruchu (special generators).

W modelach ładunkowych potencjały ruchotwórcze wyznaczane są w tonach ładunków w ciągu roku w przeliczeniu na liczbę zatrudnionych w poszczególnych sektorach gospodarki lub na liczbę mieszkańców. Formuły regresyjne są zróżnicowane dla poszczególnych stanów. Przykładowe zależności regresyjne opisujące potencjał wytwarzający rejonu komunikacyjnego dla stanu Indiana zestawiono w tab. 3.3. Liczba w nawiasie w równaniach w drugiej kolumnie oznacza numer sektora gospodarki, w którym liczba pracujących jest zmienną objaśniającą. Przyjęto oznaczenia sekcji gospodarki za [129]:

LM – liczba mieszkańców rejonu komunikacyjnego, 311 – produkcja artykułów spożywczych, 313 – produkcja włókien tekstylnych, 314 – produkcja tkanin, 321 – produkcja wyrobów z drewna, 324 – wytwarzanie i przetwarzanie koksu i ropy naftowej, 325 – produkcja chemikaliów, 332 – produkcja metalowych wyrobów gotowych, 334 – produkcja komputerów i podzespołów elektronicznych, 336 – produkcja pojazdów samochodowych, 337 – produkcja mebli i pozostałych wyrobów, 421 – sprzedaż hurtowa.

W celu obliczenia potencjału ruchotwórczego do równań przedstawionych w tab. 3.3 liczby podane w nawiasach należy zastąpić liczbą pracujących w sekcji gospodarki odpowiadającym liczbie w nawiasie. Przykładowo każdy pracownik w sekcji 321 (produkcja wyrobów z drewna) wytwarza 544 tony tych wyrobów rocznie.

Pomimo, że w tab. 3.3 przedstawiono kilka równań regresyjnych o najwyższych współczynnikach determinacji dla kilku typów ładunków uzyskano wartości  $R^2$  poniżej 0,6.

Tab. 3.3. Przykładowe równania regresji dla potencjału wytwarzającego ruch [ton/rok] dla stanu Indiana (opracowanie własne na podstawie [129])

Rodzaj ładunku	Regresja	Współczynnik determinacji $R^2$
Mięso, ryby, owoce morza	$P = 54 \cdot (311)$	0,88
Napoje alkoholowe	$P = 0,212 \cdot (LM) + 0,013 \cdot (334)$	0,88
Wyroby tytoniowe	$P = 9 \cdot (313) + 5 \cdot (337)$	0,69
Piaski naturalne	$P = 87 \cdot (421)$	0,84
Wyroby chemiczne	$P = 25 \cdot (332) + 17 \cdot (325)$	0,79
Wyroby drewniane	$P = 544 \cdot (321)$	0,83
Wyroby włókiennicze i skórzane	$P = 101 \cdot (314) + 51 \cdot (313) + 58 \cdot (324)$	0,97
Samochody	$P = 61 \cdot (336)$	0,80

Przykładem pełnego czterostadiowego multimodalnego modelu transportu ładunków jest model stworzony dla stanu Wisconsin ([118], [129]). Obszar o powierzchni 66 503 mil kwadratowych (ok. 170 000 km<sup>2</sup>) i liczbie mieszkańców 5,5 mln został podzielony na 72 wewnętrzne rejony komunikacyjne odpowiadające hrabstwom. Przyjęto podejście ładunkowe, uwzględniając następujące środowiska transportu ładunków: drogowy, kolejowy, wodny i lotniczy. W modelu potencjałów ruchotwórczych przyjęto podział na 25 typów ładunków, dla których opracowane zostały formuły regresyjne, w których zmiennymi objaśniającymi były: liczba pracujących w poszczególnych sekcjach gospodarki oraz ludność. Potencjał ruchotwórczy wyrażony był w tonach ładunków w poszczególnych działach klasyfikacji SIC (por. tab. 3.3).

Więźba ruchu wyznaczona została za pomocą modelu grawitacyjnego. Następnie z wykorzystaniem standardowych udziałów dokonano podziału zadań przewozowych. Rozkładowi ruchu na sieć zostały poddane tylko więźby ruchu dla transportu drogowego po wcześniejszym przeliczeniu na pojazdy z wykorzystaniem średniego ciężaru ładunków przewożonego przez samochody ciężarowe w zależności od typu ładunku.

Innym przykładem jest model ładunkowy dla stanu Pensylwania [7]. Uwzględniono w nim transport drogowy, kolejowy i wodny. Wprowadzono 10 typów ładunków. Obliczono roczne macierze przepływu ładunków oraz roczne i dzienne macierze małych i dużych samochodów ciężarowych, z uwzględnieniem terminali przeładunkowych. Potencjały ruchotwórcze były wyznaczone za pomocą analizy regresji, bazując na danych socjoekonomicznych z uwzględnieniem pojedynczych generatorów ruchu. Dla poszczególnych klas ładunków rozkład ruchu prowadzony był uwzględniając krótki i daleki transport, czas, odległość i koszt transportu danym środkiem. Wyznaczono dwie więźby ruchu dla bliskiego i dalekiego transportu. Cały bliski transport wykonywany jest samochodami ciężarowymi, natomiast dla transportu dalekiego wprowadzono podział zadań przewozowych na różne środowiska przemieszczeń.

Kolejną grupą modeli są modele hybrydowe, łączące ze sobą modele ładunkowe i pojazdowe. Podejście ładunkowe stosowane jest dla przepływów ładunków na poziomie całego stanu, podczas gdy podejście pojazdowe wykorzystywane jest do uszczegółowienia w miastach. Przykłady takich modeli przedstawiono w [129]: Los Angeles SCAG HDT Model, FASTruck Seattle Model oraz San Joaquin Valley Truck Model.

W literaturze pojawiają się również modele ekonomiczne, nazywane w skrócie I-O (Input-Output) [24]. W modelach tych estymowana jest macierz przepływów ładunków (w tonach lub jednostkach monetarnych) pomiędzy poszczególnymi sektorami gospodarki. Bardzo często w tych modelach obliczenia kończą się wyznaczeniem macierzy przemieszczeń. Niemniej w wielu modelach dokonuje się podziału zadań przewozowych, a następnie rozkładu ruchu na sieć. Wadą tych modeli jest potrzeby bardzo szeroki zakres danych

wejściowych. Zwykle pochodzą one z badań przepływów ładunków (Commodity Flow Survey, CFS) wykonywanych w USA. Badania te były przeprowadzone w latach: 1993, 1997, 2002 i 2007. Złożoność modelu zależy od przyjętej liczby sektorów produkcji. Wśród przykładów modeli ekonomicznych można przedstawić model dla stanu Queensland [75] oraz stanu Nebraska [82]. W tym drugim przypadku szczególną uwagę położono na generację ruchu przez sektor rolniczy, z uwagi na jego dominujące znaczenie w tym stanie. Innym przykładem jest model dla regionu Ontario w Kanadzie, w którym wynikiem były wyrażone w dolarach potoki ładunków na odcinkach.

W [175] zaproponowano alternatywną metodę szacowania potencjałów ruchotwórczych. Założono, że potencjał ruchotwórczy na poziomie hrabstwa może być objaśniony średniodobowym ruchem (ŚDR) na odcinku autostrady oraz liczbą mieszkańców, liczbą firm i dochodami w hrabstwie.

W [69] dokonano oceny podejść stosowanych w modelach podróży osób i transportu ładunków na poziomie regionalnym.

### ***Badania prowadzone w Polsce***

W Polsce modele regionalne tworzone są dla potrzeb opracowań studialnych nowych dróg i najczęściej obejmują obszar mniejszy niż województwo, zwykle kilka lub kilkanaście powiatów. Aktualnie brak jest modeli regionalnych o zasięgu przestrzennym odpowiadającym województwu. Tworzony jest model dla województwa małopolskiego w ramach planu transportu publicznego, który skoncentrowany jest na odwzorowanie przemieszczeń osób. Transport ładunków nie był badany, niemniej zostanie w przyszłości uwzględniony w modelu.

Wśród badań polskich bardzo ciekawą pozycją jest [135]. Potencjał ruchotwórczy gminy, nazwany masą gminy, wyznaczany był na podstawie zmiennych objaśniających z uwzględnieniem wag podanych w nawiasach: liczba mieszkańców (0,10), liczba pracujących w przemyśle i budownictwie (0,25), liczba przyjeżdżających do pracy najemnej (0,05), liczba gospodarstw rolnych produkujących głównie na rynek (0,10), liczba podmiotów gospodarczych (0,15), liczba podmiotów gospodarczych o liczbie pracujących 50 i więcej (0,10), liczba podmiotów gospodarczych zarejestrowanych w sekcjach B, C, D, E i F (górnictwo, przetwórstwo przemysłowe, energetyka i inne media, budownictwo) (0,15) i liczba podmiotów zarejestrowanych w sekcji H (transport i gospodarka magazynowa) (0,10).

### **3.2.5. Modele o zasięgu metropolitalnym (aglomeracyjnym) i miejskim**

W modelach metropolitalnych (które są zbliżone do regionalnych) i miejskich najczęściej stosuje się model czterostadiowy bazujący na ruchu pojazdów (vehicle-based). Tworzone są one zwykle dla dużych gmin miejskich (np. Warszawa, Kraków, Poznań), rzadziej dla miast o liczbie mieszkańców poniżej 200 000. Brak jest modeli dla gmin niemiejskich. Podyktowane jest to między innymi łatwiejszym dostępem do informacji o przejazdach pojazdów niż przepływach ładunków. Ponadto wiele modeli miejskich to modele dystrybucji towarów stosowanych głównie do optymalizacji tras przejazdu samochodów dostawczych z centrów dystrybucyjnych do miejsc dostawy (np. [16], [58], [116]).

### ***Badania przeprowadzone we Wrocławiu***

Próbie stworzenia modelu generacji ruchu dla samochodów ciężarowych podjęto w ramach badań ruchu ciężarowego we Wrocławiu [181]. Wykonano kordonowe pomiary ruchu obejmujące 8 wybranych obszarów. Połowa z nich były to obszary aktywności gospodarczej o różnych formach działalności, wydzielone wyraźnymi granicami (linie kolejowe, rzeki).

Dwa kolejne to de facto punktowe generatory ruchu (centra handlowe) i wyniki te zostaną również przytoczone w kolejnym rozdziale. Dwa ostatnie obszary to tereny zdominowane przez mieszkalnictwo.

Dla każdego z obszarów pozyskano dane o powierzchni terenu, powierzchni użytkowej, liczbie przedsiębiorstw w podziale na sektory (rolniczy, produkcyjny, usług rynkowych, usług nierynkowych). We wrześniu i październiku 2000 roku wykonano dobowe pomiary ruchu wjazdowego i wyjazdowego z analizowanych obszarów dzięki czemu uzyskano dobowe potencjały ruchotwórcze. Następnie obliczone zostały wskaźniki generacji ruchu dla poszczególnych typów obszarów, które zostały przytoczone w tab. 3.4.

Tab. 3.4. Średnie wskaźniki generacji i absorpcji ruchu dla różnych typów obszarów uzyskane w badaniach dla Wrocławia w roku 2000 (opracowanie własne na podstawie [181])

Obszar (n – liczebność próby)	Typ modelu	Jednostka	Średnie wskaźniki generacji i absorpcji ruchu [przejazdy/jednostkę/dobę]			
			SD	SC	SCP	SUMA
Obszary aktywności gospodarczej (n=4)	obszarowy, pojazdowy	1 ha	3,834	1,587	0,478	5,899
		1000 m <sup>2</sup> powierzchni użytkowej	1,301	0,676	0,215	2,192
Obszary usługowe (n=2)	punktowy, pojazdowy	1 ha	16,230	9,714	3,443	29,387
		1000 m <sup>2</sup> powierzchni użytkowej	2,787	1,668	0,591	5,046
Obszary mieszkaniowe (n=2)	obszarowy, pojazdowy	1 gospodarstwo domowe	0,089	0,019	0,002	0,11
		1000 m <sup>2</sup> powierzchni użytkowej	1,552	0,324	0,043	1,919

Wartości średnie dają pewien pogląd o rzędzie wielkości wskaźników generacji/absorpcji ruchu. Należy natomiast zwrócić uwagę, że uzyskane liczebność prób są bardzo małe oraz w poszczególnych grupach obszarów wartości maksymalne wskaźników są niekiedy 3-4 krotnie większe od wartości minimalnych. W [181] autorzy dokonali porównania wskaźników generacji ruchu uzyskanych w badaniach własnych ze wskaźnikami w instrukcji QRFM [128]. Zauważono różne rozbieżności wskaźników (od kilku do niemal 80 %), co wynika między innymi z dużego zróżnicowania wartości wskaźników podanych w załączniku do instrukcji QRFM, nawet dla tych samych rodzajów aktywności. Podane we wspomnianym załączniku wskaźniki obejmują wiele badań wykonanych w różnych stanach.

Wykorzystując jako punkt wyjścia wskaźniki generacji ruchu z załącznika do QRFM, w procesie modelowania dokonano kalibracji założonych parametrów modelu. Uzyskane wyniki zostały przedstawione w tab. 3.5.

Tab. 3.5. Wskaźniki generacji i absorpcji ruchu uzyskane w badaniach dla Wrocławia (opracowanie własne na podstawie [181])

Czynnik odniesienia	Liczbajazd rozpoczynanych lub kończonych w ciągu doby na 1 pracującego lub 1 mieszkańca [jazd/jednostkę/dobę]			
	SD	SC	SCP	SUMA
Sekcje: rolnictwo, górnictwo i budownictwo (SIC 1–19)	–	–	–	–
Sekcje: przemysł, transport, handel hurtowy (SIC 20–51)	0,1000	0,0500	0,0320	0,1820
Sekcja: handel detaliczny (SIC 52–59)	0,1000	0,0280	0,0030	0,1310
Sekcja: usługi (SIC 60–88)	0,1300	0,0060	0,0020	0,1380
Mieszkalnictwo	0,0050	0,0002	0,0001	0,0053

### **Badania przeprowadzone w Krakowie**

W wyniku przeprowadzonych w roku 2003 Kompleksowych Badań Ruchu dla Miasta Krakowa [88] stworzone zostały modele wewnętrznego ruchu samochodów ciężarowych w podziale na samochody dostawcze (samochody ciężarowe o DMC do 3,5 tony) i ciężarowe (samochody ciężarowe o DMC powyżej 3,5 tony). Miasto zostało podzielone na 265 wewnętrznych rejonów komunikacyjnych odpowiadających jednolitym pod względem zagospodarowania obszarom miasta.

W modelu generacji ruchu wyróżniono trzy motywacje podróży:

- miejsce garażowania – pozostałe (G-I),
- pozostałe – miejsce garażowania (I-G),
- nie związane z miejscem garażowania (NZG).

W zależności od motywacji podróży i typu pojazdu określone zostały wskaźniki formuły regresyjnej do obliczenia dobowych potencjałów ruchotwórczych ruchu ciężarowego. Jako zmienne objaśniające zostały przyjęte: liczba samochodów dostawczych garażujących w rejonie komunikacyjnym ( $L_{SD}$ ), liczba samochodów ciężarowych garażujących w rejonie komunikacyjnym ( $L_{SC}$ ), liczba mieszkańców ( $L_M$ ) i liczba miejsc pracy ( $L_{MP}$ ).

Tab. 3.6. Potencjały ruchotwórcze rejonów komunikacyjnych dla samochodów ciężarowych o DMC poniżej 3,5 t opracowane w badaniach dla Krakowa [jazd/dobę] [88]

Motywacja	Potencjał wytwarzający (P)	Potencjał absorbujący (A)
G-I	$0,4140 \cdot L_{SD}$	$1,0000 \cdot L_{MP}$
I-G	$1,0000 \cdot L_{MP}$	$0,4140 \cdot L_{SD}$
NZG	$0,0117 \cdot L_{MP}$	$0,0117 \cdot L_{MP}$

Tab. 3.7. Potencjały ruchotwórcze rejonów komunikacyjnych dla samochodów ciężarowych o DMC powyżej 3,5 t [jazd/dobę] opracowane w badaniach dla Krakowa [88]

Motywacja	Potencjał wytwarzający (P)	Potencjał absorbujący (A)
G-I	$0,29800 \cdot L_{SC}$	$1,00000 \cdot L_M$
I-G	$1,00000 \cdot L_M$	$0,29800 \cdot L_{SC}$
NZG	$0,00228 \cdot L_M$	$0,00228 \cdot L_M$

Podsumowując tab. 3.6 i tab. 3.7 można rozpisać zależności regresyjne do wyznaczenia dobowych potencjałów ruchotwórczych:

- dla samochodów ciężarowych o DMC poniżej 3,5 t (dostawczych):

$$P = A = 1,0117 \cdot L_{MP} + 0,4140 \cdot L_{SD} [P / \text{dobę}], \quad (3.3)$$

- dla samochodów ciężarowych o DMC powyżej 3,5 t:

$$P = A = 1,00228 \cdot L_M + 0,29800 \cdot L_{SC} [P / \text{dobę}]. \quad (3.4)$$

### **Badania przeprowadzone w Łodzi**

W grudniu 2002 opublikowane zostało "Studium systemu komunikacyjnego dla miasta Łodzi" [152]. Oprócz matematycznego opisu wewnętrznego i zewnętrznego ruchu osób, opracowany został model generacji i rozkładu ruchu ciężarowego. Obszarem analizy było miasto Łódź oraz powiaty ościenne: zgierski, brzeziński, łódzki wschodni oraz pabianicki.

W prowadzonych analizach wyodrębniono podróże:

- wewnętrzne w stosunku do miasta Łodzi;
- zewnętrzne w stosunku do miasta Łodzi (początek i/lub koniec podróży znajduje się w powiatach ościennych),
- zewnętrzne w stosunku do obszaru analizy.

Wielkości potencjałów ruchotwórczych dla poszczególnych typów podróży zostały wyznaczone wzorami regresyjnymi. Zmiennymi objaśniającymi w modelu były liczba mieszkańców rejonu ( $M$ ) oraz liczba miejsc pracy w rejonie ( $Z$ ).

Wzory regresyjne do wyznaczenia potencjałów ruchotwórczych w godzinie szczytu dla poszczególnych typów podróży mają postać:

- podróże wewnętrzne w stosunku do miasta Łodzi, pojazdy ciężarowe i dostawcze:
  - potencjał wytwarzający:  $P = 0,0225 \cdot M + 0,0460 \cdot Z [P / h]$ ,
  - potencjał absorbujący:  $A = 0,0225 \cdot M + 0,0460 \cdot Z [P / h]$ ,
- podróże wewnętrzne w stosunku do obszaru analizy, ale tranzytowe w stosunku do miasta Łodzi, pojazdy ciężarowe i dostawcze:
  - potencjał wytwarzający:  $P = 0,0022 \cdot M + 0,0151 \cdot Z [P / h]$ ,
  - potencjał absorbujący:  $A = 0,0022 \cdot M + 0,0151 \cdot Z [P / h]$ ,
- podróże wewnętrzne w stosunku do obszaru analizy, źródłowy i docelowy w stosunku do miasta Łodzi, pojazdy ciężarowe i dostawcze:
  - potencjał wytwarzający:  $P = 0,00921 \cdot M + 0,06300 \cdot Z [P / h]$ ,
  - potencjał absorbujący:  $A = 0,00435 \cdot M + 0,02670 \cdot Z [P / h]$ ,
- podróże zewnętrzne w stosunku do obszaru analizy, z poza obszaru do Łodzi:
  - potencjał absorbujący, pojazdy lekkie:  $A = 0,02010 \cdot M + 0,00984 \cdot Z [P / h]$ ,
  - potencjał absorbujący, pojazdy ciężkie:  $A = 0,004270 \cdot M + 0,000696 \cdot Z [P / h]$ ,
- podróże zewnętrzne w stosunku do obszaru analizy, z poza obszaru do powiatów ościennych:
  - potencjał absorbujący, pojazdy lekkie:  $A = 0,0139 \cdot M + 0,0317 \cdot Z [P / h]$ ,
  - potencjał absorbujący, pojazdy ciężkie:  $A = 0,00079 \cdot M + 0,00543 \cdot Z [P / h]$ .

W powyższym podziale zostały użyte pojęcia: pojazdy lekkie i pojazdy ciężkie. Pojazdy lekkie to samochody osobowe, mikrobusy i samochody dostawcze. Do pojazdów ciężkich zaliczone zostały samochody ciężarowe bez przyczep oraz samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami.



### ***Badania przeprowadzone w Poznaniu***

W ramach KBR wykonanych w 2000 roku dla miasta Poznania i powiatu poznańskiego ziemskiego [87], na podstawie badań ankietowych na kordonie Poznania oszacowano początkowe więźby ruchu samochodów ciężarowych. Następnie dokonano kalibracji więźb ruchu na podstawie przeprowadzonych pomiarów ruchu. W kolejnym kroku obliczone zostały potencjały ruchotwórcze w poszczególnych dzielnicach Poznania i podpoznańskich gminach objętych badaniem. Wyniki obliczeń przedstawiono w podrozdziale 5.2.2. Zamieszczenie wyników w innym miejscu pracy spowodowane jest ich wykorzystaniem jako bazy danych do modelowania potencjałów ruchotwórczych.

Ponadto w wyniku badań określono również średnie wielkości przewożonego ładunku, które wyniosły:

- 0,235 t dla samochodów dostawczych (SD),
- 0,800 t dla lekkich samochodów ciężarowych (SC),
- 1,750 t dla ciężkich samochodów ciężarowych (SCP).

W pozostałych badaniach polskich również prowadzone były kompleksowe badania ruchu o różnym zasięgu, jednak ruch ciężarowy nie był brany pod uwagę lub rozważany był w zbyt małym zakresie, aby wyniki tych badań były użyteczne dla potrzeb niniejszej dysertacji.

### ***Badania przeprowadzone w miastach poza Polską***

Ciekawe podejście zastosowano w badaniach na obszarze Greater London [106] wykonanych w latach 70-tych ubiegłego wieku. Sformułowano zależność pomiędzy gęstością potencjału wytwarzającego ( $D_G$ ) i absorbującego ( $D_A$ ) w zależności od odległości środka rejonu od centrum miasta ( $r$ ) mierzonej po linii prostej. Gęstość to iloraz potencjału ruchotwórczego i powierzchni rejonu komunikacyjnego. Uzyskane zależności oceniono biorąc pod uwagę wartość współczynnika korelacji, przyjmując że: dla  $|R| \geq 0,8$  zależność jest bardzo silna, dla  $0,80 > |R| \geq 0,55$  zależność jest silna, dla  $|R| < 0,55$  zależność jest słaba. Uzyskane równania regresji zmieszczono w tab. 3.8. Znak współczynników korelacji wskazuje, że im dalej od centrum miasta tym gęstość potencjału ruchotwórczego jest mniejsza.

Tab. 3.8. Równania regresji dla potencjałów ruchotwórczych uzyskane w ramach badań w obszarze Greater London (opracowanie własne na podstawie [106])

Rodzaj ładunku	Gęstość potencjału wytwarzającego [ton/km <sup>2</sup> /dobę]	R	Gęstość potencjału absorbującego [ton/km <sup>2</sup> /dobę]	R
Żywność	$\ln D_G = 5,2552 - 0,1327 \cdot r$	-0,6823	$\ln D_A = 5,4962 - 0,1396 \cdot r$	-0,8682
Produkty chemiczne	$\ln D_G = 3,1574 - 0,0320 \cdot r$	-0,1720	$\ln D_A = 4,4769 - 0,1065 \cdot r$	-0,6880
Metale	$\ln D_G = 3,0554 - 0,0695 \cdot r$	-0,4565	$\ln D_A = 3,4535 - 0,1004 \cdot r$	-0,5940
Maszyny	$\ln D_G = 3,1226 - 0,0478 \cdot r$	-0,3372	$\ln D_A = 3,2561 - 0,0769 \cdot r$	-0,4945
Tkaniny i inne	$\ln D_G = 4,3302 - 0,1237 \cdot r$	-0,6615	$\ln D_A = 4,1226 - 0,1221 \cdot r$	-0,6076
Materiały budowlane	$\ln D_G = 4,6958 - 0,0706 \cdot r$	-0,5161	$\ln D_A = 5,9861 - 0,1497 \cdot r$	-0,8608
Śmieci i nieznane	$\ln D_G = 4,6132 - 0,1269 \cdot r$	-0,7440	$\ln D_A = 2,8857 - 0,0096 \cdot r$	-0,0692

W roku 1992 duże badania ruchu ciężarowego przeprowadzono w strefie metropolitalnej miasta Phoenix (USA) [141]. W ramach badań określono wiele charakterystyk ruchu ciężarowego jak chociażby średnie wielkości ładunków przewożonych przez pojazdy o różnej DMC oraz rozkład początków i końców przejazdów w ciągu doby. Jednym z głównych efektów pracy były wskaźniki generacji ruchu, które zostały przedstawione w tab. 3.9.

Tab. 3.9. Wynikowy model potencjałów ruchotwórczych dla obszaru metropolitalnego miasta Phoenix (opracowanie własne na podstawie [141])

Jednostka odniesienia	Liczba przejazdów rozpoczętych oraz zakończonych w ciągu doby na jednostkę odniesienia dla samochodów ciężarowych o DMC*				
	≤ 3,6 t	3,6 ÷ 12,7 t	12,7 ÷ 29,0 t	> 29,0 t	Łącznie
Liczba gospodarstw domowych łącznie	0,15433	0,06859	0,00671	0,00590	0,23553
Liczba pracujących w handlu detalicznym	0,59091	0,13253	0,03075	0,0609	0,81509
Liczba pracujących w przemyśle	0,64087	0,09972	0,03210	0,01781	0,7905
Liczba pracujących w usługach nierynkowych	0,29491	0,00596	0,01349	0,01049	0,32485
Liczba pracujących w usługach rynkowych	0,30925	0,02119	0,00225	0,00095	0,33364
Liczba pracujących w pozostałych branżach	0,76348	0,10567	0,04026	0,03500	0,94441
Liczba gospodarstw domowych (mieszkańcy zameldowani na stałe)	0,04004	–	0,00288	–	0,04292
Liczba obiektów przeznaczonych na stały pobyt ludzi inne niż gospodarstwa domowe	–	7,52348	–	–	7,52348
Powierzchnia terenu [100 akrów]	–	–	–	0,00365	0,00365
Liczba pojazdów	–	–	–	0,00062	0,00062

\* DMC przeliczona z funtów brytyjskich (lb) na tony (t), 1 lb ≈ 0,453 kg

W [30] przedstawiono wyniki badań ruchu ciężarowej w mieście Ciudad Juárez, leżącego w Meksyku tuż przy granicy z USA. W odniesieniu do potencjałów ruchotwórczych zastosowano analizę kategorii. Przejazdy samochodów ciężarowych podzielono na wewnętrzne i zewnętrzne (źródłowe i docelowe). Przejazdy tranzytowe były określone na podstawie pomiarów ruchu tranzytowego. Wprowadzono podział na 4 rodzaje rejonów komunikacyjnych: centrum miasta, miejskie, podmiejskie i wiejskie. Wskaźniki generacji ruchu obliczono na 1 pracującego w podziale na trzy sektory gospodarki: podstawowy, handel detaliczny, usługi. Wyniki przedstawiono w tab. 3.10.

Tab. 3.10. Wskaźniki generacji ruchu dla miasta Ciudad Juárez (opracowanie własne na podstawie [30])

Czynnik odniesienia		Przejazdy	Liczba przejazdów rozpoczętych oraz zakończonych w ciągu doby na jednostkę odniesienia dla wszystkich samochodów ciężarowych			
			Rodzaj rejonu komunikacyjnego			
			centrum miasta	miejski	podmiejski	wiejski
Pracujący w	działalności podstawowej	zewnętrzne	0,062	0,505	0,109	0,627
		wewnętrzne	0,002	0,000	0,012	0,087
	handlu detalicznym	zewnętrzne	14,438	7,179	2,681	10,485
		wewnętrzne	0,000	0,129	0,549	0,477
	usługach	zewnętrzne	0,409	3,568	4,875	2,694
		wewnętrzne	0,000	0,000	0,102	0,028

Kolejnym przykładem jest model dla obszaru metropolitalnego miasta Tokio [130]. W analizach zastosowano ujęcie ładunkowe i zastosowano 3 podejścia: klasyczne podejście ładunkowe, uwzględnienie pustych przejazdów oraz uwzględnienie łańcuchów podróży. Dokonano porównania uzyskanych więźb ruchu z modelem z więźbami ruchu uzyskanymi z pomiarów. Rozróżniono 2 typy samochodów ciężarowych: lekkie i ciężkie. W [36] analizowano transport ładunków w kilku indyjskich miastach. Jako zmienne objaśniające dla potencjałów ruchotwórczych przyjęto liczbę mieszkańców oraz liczbę pracujących w przemyśle, handlu i usługach. Okazało się, że w ruchu wewnętrznym wózki ręczne, wozy konne i wózki rowerowe mają ok. 30 % udział w transporcie ładunków.

### 3.2.6. Modele obiektowe

Modele obiektowe odnoszą się do pojedynczych generatorów ruchu. Właściwie każdy obiekt, nawet dom jednorodzinny, jest pojedynczym generatorem ruchu. Niemniej z punktu widzenia skali zwykle badane są obiekty takie jak: centra logistyczne, zakłady produkcyjne lub duże obiekty handlowe. Zwykle w modelach obiektowych określane są wskaźniki generacji ruchu (trip generation rates), które określają np. liczbę rozpoczętych lub skończonych jazd samochodów ciężarowych (lub innych pojazdów):

- na 1000 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej lub powierzchni zabudowy (ta druga jest łatwiejsza do określenia),
  - na 1 pracownika,
- bądź inną jednostkę charakteryzującą dany obiekt.

W badaniach pojedynczych generatorów ruchu jak również w tworzeniu modeli potencjałów ruchotwórczych dla tego typu obiektów dominują Amerykanie. Można przytoczyć co najmniej kilkadziesiąt przykładów badań tego typu. Przedstawienie wskaźników generacji ruchu uzyskanych w różnych badaniach ([3], [8], [49], [60], [62], [83], [107], [117], [119], [128], [147], [163]) zdominowałoby zawartość niniejszej dysertacji. Stąd przytoczone zostaną jedynie wybrane przykłady z uwagi na interesujące podejście. Wśród publikacji traktujących o wskaźnikach generacji ruchu ciekawą pozycję stanowi [20] gdzie porównano wskaźniki generacji dla dwóch klasyfikacji amerykańskich: SIC i NAICS.

#### *Porty morskie*

W [3] opracowany został model generacji ruchu dla portu w Miami (USA, Floryda). Liczba pojazdów ciężarowych wyjeżdżających z portu zależna była od liczby przyjmowanych kontenerów, natomiast wjeżdżających do portu – od liczby ekspediowanych kontenerów. Zauważono, że potencjał ruchotwórczy w poszczególnych dniach zależy od liczby kontenerów przyjętych lub nadanych przez port w innych dniach. Przedstawia to tab. 3.11.

Tab. 3.11. Relacje pomiędzy zmienną objaśniana i zmiennymi objaśniającymi dla modelu potencjałów ruchotwórczych dla portu w Miami (opracowanie własne na podstawie [3])

Grupa dni	Liczba kontenerów przyjętych przez port drogą morską w dniach	objaśnia potencjał wytwarzający w liczbie rozpoczętych jazd samochodów ciężarowych łącznie w dniach	Liczba kontenerów nadanych przez port drogą morską w dniach	objaśnia potencjał absorbujący w liczbie rozpoczętych jazd samochodów ciężarowych łącznie w dniach
G1	sobota niedziela poniedziałek wtorek	poniedziałek wtorek	poniedziałek	poniedziałek
G2	środa czwartek	środa czwartek	wtorek środa czwartek piątek	wtorek środa czwartek
G3	piątek	piątek	sobota niedziela	piątek

Interpretacja tab. 3.11 jest następująca: potencjał wytwarzający wyrażony w rozpoczynanych jazdach samochodów ciężarowych łącznie w środę i czwartek zależy od liczby przyjętych kontenerów łącznie w środę i czwartek. Zatem potencjały ruchotwórcze portu w poszczególne grupy dni są sobie równe. Formuły regresyjne do obliczenia potencjałów ruchotwórczych dla poszczególnych grup dni (np. dla grupy dni G1 liczba jazd rozpoczynanych łącznie w poniedziałek i wtorek) są następujące:

$$P = 310 + 0,7 \cdot PJ\text{Ł}, (R^2=0,67), \quad (3.5)$$

$$A = 1,2 \cdot EJ\text{Ł}, (R^2=0,78), \quad (3.6)$$

gdzie:  $P$  – liczba jazd samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami rozpoczynanych w porcie w grupie dni,  $A$  – liczba jazd samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami kończonych w porcie w grupie dni,  $PJ\text{Ł}$  – liczba przyjmowanych kontenerów przez port w grupie dni,  $EJ\text{Ł}$  – liczba nadawanych kontenerów przez port w grupie dni.

Również w [3] opisano zastosowanie sztucznych sieci neuronowych (SSN) do stworzenia modelu generacji ruchu samochodów ciężarowych dla portów w Miami i w Jacksonville. Zmiennymi objaśniającymi były liczba przyjętych kontenerów w danym dniu oraz 1, 2 i 3 dni przed i po analizowanym dniu. Z uwagi na małą liczebność próby ( $n=39$  grup dni dla których dostępne były empiryczne wartości potencjałów ruchotwórczych) przyjęto, że pierwszych 29 zostanie użytych do kalibracji modelu, a pozostałe 10 do jego weryfikacji. Przeprowadzono łącznie 360 prób z różną liczbą neuronów i warstw ukrytych oraz różnymi funkcjami przekształceń. Podobną analizę przeprowadzono dla portu w Jacksonville. W [4] rozwinięto możliwości zastosowania SSN na przykładzie portu Canaveral. Również w [60] i [62] analizowano terminale kontenerowe, a potencjał wytwarzający objaśniany był powierzchnią terenu.

W [83] opracowano model generacji ruchu dla portów z użyciem sztucznych sieci neuronowych. Badano pięć portów na Florydzie, dla których dysponowano dobowymi pomiarami wykonanymi przez 100 – 150 dni (w zależności od portu) w przeciągu 9 miesięcy. Jako zmienne objaśniające przyjęto liczbę kontenerów i wielkość ładunków (w podziale na typy) przyjmowanych i wysyłanych w ciągu dnia. W modelowaniu potencjałów

ruchotwórczych wykorzystano analizę regresji oraz sztuczne sieci neuronowe. Pokazano, że SSN dają bardzo dobre wyniki, jednak wymagają jednocześnie dużej liczby danych.

### **Obiektowe generatory ruchu w miastach**

W [8] przedstawiono wyniki analiz generacji ruchu dla miasta Fontana. Przeprowadzono dobowe pomiary w 21 obiektach o różnym charakterze. Obliczone zostały wskaźniki generacji ruchu dla kilku typów zagospodarowania przestrzennego i 2 typów samochodów ciężarowych: 2- i 3- osiowych oraz 4- i więcej osiowych. Uzyskane wskaźniki generacji ruchu, które przedstawiono w tab. 3.12, znacznie (nawet trzykrotnie) różniące się od wskaźników zamieszczonych w ITE Trip Generation Study<sup>14</sup>.

Tab. 3.12. Wskaźniki generacji ruchu dla miasta Fontana (opracowanie własne na podstawie [8])

Rodzaj obiektu	Jednostka odniesienia	Liczba rozpoczynanych i kończonych jazd w ciągu doby na jednostkę odniesienia		
		2- i 3- osiowe samochody ciężarowe	4-, 5- i 6- osiowe samochody ciężarowe	Suma
Magazyn lekki	1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy	1,83	2,26	4,09
Magazyn ciężki	1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy	1,08	2,91	3,99
Przemysł lekki	1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy	3,55	2,91	6,46
Przemysł ciężki	1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy	2,05	4,09	6,14
	1 ar powierzchni terenu	0,29	0,21	0,50
Park technologiczny	1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy	2,26	1,61	3,87
Centrum logistyczne	1 ar powierzchni terenu	0,18	0,70	0,88
Sprzedż i leasing samochodów ciężarowych	1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy	74,81	19,27	94,08

Wśród obiektowych generatorów ruchu, które zostały poddane analizie znalazły się również sklepy spożywcze zlokalizowane w regionie Puget Sound (USA, stan Waszyngton) [107]. Wykonano pomiary dostaw realizowanych do 8 sklepów o powierzchni użytkowej od 23 000 do 53 500 stóp kwadratowych (tj. od ok. 2150 do ok. 4970 m<sup>2</sup>). Czasem trwania pomiary obejmowały jeden dzień funkcjonowania sklepu z uwzględnieniem godzin dostaw towarów. Analiza regresji pokazała, że statystycznie istotny wpływ (wzór 3.7) na generację ruchu ma jedynie powierzchnia sklepu. Z analizy wynika, że wzrost powierzchni powoduje spadek wielkość ruchu. Zdaniem autorów może to być spowodowane faktem, że mniejsze sklepy potrzebują co prawda mniejszych dostaw, jednak częstszych z uwagi na mniejszą powierzchnię magazynową. Niestety w [107] nie podano jaki obszar wokół analizowanego sklepu należy uwzględnić przy obliczaniu gęstości zaludnienia i stosunku miejsc pracy do liczby gospodarstw domowych. Również mała liczebność próby sugeruje traktowanie przedstawionych wyników jako badania pilotażowe, ciekawych z uwagi na wykorzystane w modelu zmienne objaśniające.

<sup>14</sup> Institute of Transportation Engineers, Trip Generation, 5<sup>th</sup> Edition, Washington D.C., 1991

$$P = A = 12,2600 + 0,1852 \cdot EMP - 0,0002 \cdot SF - 0,1328 \cdot RD - 0,6936 \cdot JHB, \quad (3.7)$$

gdzie:  $P$  – potencjał wytwarzający wyrażony liczbą rozpoczętych jazd samochodów ciężarowych na dobę,

$A$  – potencjał absorbujący wyrażony liczbą zakończonych jazd samochodów ciężarowych na dobę,

$EMP$  – liczba pracujących w sklepie,

$SF$  – powierzchnia użytkowa sklepu w stopach kwadratowych,

$MHI$  – gęstość zaludnienia,

$JHB$  – stosunek miejsc pracy do liczby gospodarstw domowych.

W [12] wykorzystano metodę analizy kategorii dla punktowych generatorów ruchu w dzielnicach Nowego Jorku: Manhattan i Brooklyn. Przetestowano ponad 190 kategorii zmiennych. Wyniki analizy pokazały, że typ ładunku, sektor gospodarki oraz zatrudnienie są istotnymi zmiennymi objaśniającymi. Również w [66] wykorzystano analizę kategorii dla różnych obiektów w mieście Nowy Jork. Natomiast w [65] (również dla miasta Nowy Jork) obliczono wskaźniki generacji ruchu odnoszone do liczby pracowników oraz średnie liczby rozpoczynanych i kończonych jazd na firmę odnoszone do różnych form działalności. W przypadku, gdy liczba pracowników nie objaśniała potencjału ruchotwórczego zalecano zastosowanie średnich wartości dla danego typu firmy.

Wśród pozostałych opracowań amerykańskich można jeszcze wspomnieć badanie obiektów związanych z produkcją drobiu [49], elewatorów zbożowych [163], sklepów meblowych [147] i obiektów handlu detalicznego [84].

Wśród badań europejskich trudno znaleźć badania analogiczne do amerykańskich. Jednym z takich przykładów są przeprowadzone w 2001 roku badania ruchu ciężarowego w Holandii [74]. W ich wyniku skonstruowane zostały zależności regresyjne do wyznaczania potencjałów ruchotwórczych przedsiębiorstw. Przyjęto następującą postać modelu potencjału ruchotwórczego:

$$Y = c + b \cdot X \quad (3.8)$$

gdzie:  $Y$  – liczba jazd samochodów ciężarowych rozpoczynanych oraz kończonych w przedsiębiorstwie w ciągu doby,

$X$  – zmienna objaśniająca (powierzchnia terenu zajmowana przez przedsiębiorstwo wyrażona w 1000 m<sup>2</sup> lub liczba pracowników),

$b, c$  – parametry modelu.

Podział przedsiębiorstw został dokonany na podstawie klasyfikacji SBI (odpowiadającej polskiej klasyfikacji PKD). Przykładowe parametry modelu potencjału absorbującego ruch przedstawiono w tab. 3.13. Analogiczne parametry zostały określone dla potencjału wytwarzającego ruch. W tab. 3.13 podano również współczynnik determinacji  $R^2$ , które niekiedy mają wartości sugerujące zdecydowane odrzucenie modelu (poniżej 0,6).

Tab. 3.13 Parametry modelu potencjału absorbującego ruch ciężarowy w ciągu doby dla przedsiębiorstw zlokalizowanych w Holandii (fragment tabeli zawartej [74])

Kod SBI	Rodzaj aktywności gospodarczej przedsiębiorstwa	Dla zmiennej objaśniającej: powierzchnia terenu zajmowanego przez przedsiębiorstwo [1000 m <sup>2</sup> ]			Dla zmiennej objaśniającej: liczba pracowników przedsiębiorstwa		
		c	b	R <sup>2</sup>	c	b	R <sup>2</sup>
24	Chemikalia	5,97	0,03	0,71	5,39	0,05	0,71
51	Sprzedaż hurtowa	6,25	0,02	0,11	6,87	0,03	0,03
63	Usługi transportowe	8,75	0,09	0,88	15,14	0,05	0,16

Również w Holandii wykonano badania centrów dystrybucyjnych [34]. Określono wskaźniki generacji ruchu wyrażone w tonach i pojazdach na pracownika na rok. Uzyskano średnie wartości 673 [t/pracownika/rok] (odchylenie standardowe 94) oraz 85 [samochodów ciężarowych/pracownika/rok] (odchylenie standardowe 11).

Badania polskie są dość ubogie. Można raptem wymienić kilka badań: wykonane we Wrocławiu w 2000 roku ([181]), zrealizowane w ramach prac dyplomowych na Politechnice Krakowskiej, których konsultantem był autor dysertacji ([85], [125]) oraz wykonane w ramach badań własnych autora, które będą przytoczone w dalszej części pracy.

W 2000 roku we Wrocławiu wykonano kordonowe pomiary ruchu obejmujące dwa centra handlowe [181]. W obu przypadkach pomiary trwały 24 godziny i obejmowały pomiar ruchu wjazdowego i wyjazdowego w podziale na trzy typy samochodów ciężarowych. Obliczone wskaźniki generacji ruchu przedstawiono w tab. 3.14.

Tab. 3.14. Wskaźniki generacji ruchu dla dwóch centrów handlowych we Wrocławiu [181]

Obiekt	Powierzchnia użytkowa [1000 m <sup>2</sup> ]	Wskaźnik generacji ruchu [jazd/1000 m <sup>2</sup> powierzchni użytkowej/dobę]		
		SD	SC	SCP
Carrefour	36,7	2,23	1,63	0,33
CH Korona	58,0	3,14	1,69	0,76

### 3.2.7. Wnioski z podrozdziału 3.2

Zaproponowany w instrukcji QRFM model można przyjąć jako model ogólny, czyli ważny dla większości stanów. Zalecany jest on do stosowania, zwłaszcza jeśli brak jest modeli lokalnych. W przypadku modeli dla poszczególnych stanów często struktura modelu jest podobna, a zmieniają się jedynie parametry. Modele ładunkowe wymagają dużej liczby danych wejściowych, dotyczących zwłaszcza przepływów ładunków oraz środowisk ich przemieszczeń. Z drugiej strony modele pojazdowe, oparte zwykle na podejściu czterostadiowym, są relatywnie proste i mogą być stosowane przy ograniczonych danych wejściowych.

W modelach ruchu ciężarowego tworzonych w ramach kompleksowych badań ruchu w Polsce zauważyć można różnice w metodyce badań, w wykorzystanych zmiennych objaśniających oraz użytej klasyfikacji samochodów ciężarowych. Różnice te powodują, że trudno porównać modele między sobą, aczkolwiek porównanie takie znalazło się w [92] i pokazało znaczną rozbieżność pomiędzy dwoma krajowymi (opracowanym dla kompleksowych badań ruchu w Krakowie w 2003 roku oraz w ramach studium komunikacyjnego w Łodzi) i jednym zagranicznym (według amerykańskiej instrukcji QRFM) modelami potencjałów ruchotwórczych samochodów ciężarowych. Utrudnia to ponadto próbę stworzenia ogólnej postaci modelu w którym parametry mogłyby być kalibrowane dla warunków lokalnych.

Dużą grupę modeli w Polsce stanowią modele zdezagregowane. Stanowią one wyraźnie odmienną grupę niż modele zagregowane. Modele zagregowane, tak jak rozważany w niniejszej pracy model czterostadiowy, identyfikują transport ładunków jako zbiorowość, np. potencjał wytwarzający gminy (liczbajazd samochodów ciężarowych rozpoczęta w gminie) bez analizowania który z podmiotów zlokalizowanych w gminie wygenerował ruch. Natomiast modele zdezagregowane odnoszą się do pojedynczych pojazdy i pojedynczych podmiotów gospodarczych. Są to więc dwa typy modeli, które wzajemnie się nie wykluczają i mają zróżnicowane zastosowanie. Użyteczność modeli zdezagregowanych jest bardzo wysoka z punktu widzenia pojedynczych podmiotów gospodarczych, np. w celu optymalizacji i racjonalizacji dostaw. Natomiast modele zagregowane pozwalają uzyskać wyniki niezbędne do oceny efektywności ekonomicznej inwestycji drogowej, analiz środowiskowych oraz projektowania konstrukcji nawierzchni. Ponadto, zdaniem autora, należy dążyć do możliwości połączenia modeli zagregowanych i zdezagregowanych wykorzystując zalety obu podejść, co zostało zauważone również we wprowadzeniu

W badaniach punktowych obiektów generujących ruch dominuje regresja liniowa, w niektórych przypadkach wykorzystywana jest analiza kategorii i sztuczne sieci neuronowe (SSN). Zaprezentowane w [3] zastosowanie SSN było jedynym, które autor spotkał w literaturze. Niemniej autorzy pokazali, że SSN mogą dać nieco lepsze wyniki niż regresja liniowa. Jednym z sygnalizowanych problemów jest wada SSN polegająca na wymaganiu dużej liczebności próby. Zdarzają się zastosowania sztucznych sieci neuronowych do estymacji lub kalibracji więźby ruchu [25] bądź obliczania podziału zadań przewozowych [165].

W warunkach polskich brakuje ujednoliconego w odniesieniu do struktury modelu potencjałów ruchotwórczych dla różnych poziomów zasięgu przestrzennego (gmina, obszar miasta, obiektowe generatory ruchu). Z przeglądu literatury wynika, że w Polsce prowadzonych było kilka interesujących badań ruchu ciężarowego, które mogą stanowić punkt wyjścia do dalszych analiz.

Obserwując, głównie na przykładach amerykańskich, różne podejścia do modelowania transportu ładunków można stwierdzić, że wybór któregoś z nich będzie podyktowany dostępnością danych. Jednocześnie założenie zaawansowanego podejścia (np. model hybrydowy lub ekonomiczny) będzie wymagało dużych nakładów czasowych i finansowych w celu pozyskania danych i stworzenia modelu. Stąd, bazując na przeglądzie literatury oraz analizując dostępne bazy danych autor zdecydował się na podejście pojazdowe wpisane w klasyczny czterostadiowy model ruchu.

Analizując zmienne objaśniające w modelach potencjałów ruchotwórczych odnoszących się do obszaru można zauważyć, że najczęściej wykorzystywane są:

- liczba mieszkańców,
- liczba pracujących ogółem lub w podziale na sektory gospodarki,
- liczba samochodów ciężarowych garażujących w rejonie komunikacyjnym.

W przypadku modeli obiektowych zwykle są to powierzchnia użytkowa lub zabudowy obiektu, liczba pracujących oraz powierzchnia terenu zajmowana przez firmę.

### 3.3. Pomiary i badania ruchu dla potrzeb budowy modeli transportu ładunków

Jak już wspomniano we wstępie bardzo istotnym elementem procesu modelowania transportu ładunków jest zbieranie danych. Szeroki przegląd metod jak również przykłady kwestionariuszy można odnaleźć w wielu pozycjach literaturowych (np. [68], [117], [118], [119], [132], [157], [168]).



W ogólności pomiarach transportu ładunków można wyróżnić kilka metod:

- zbieranie danych statystycznych na poziomie producentów i przewoźników,
- pomiary bezpośrednie parametrów pojazdów i ruchu,
- badania ankietowe,
- metody niestandardowe.

Zbieranie danych statystycznych odbywa się przez organizacje państwowe (np. GUS w Polsce, Eurostat na poziomie europejskim oraz US Census Bureau w USA). W Polsce dane statystyczne na temat transportu ładunków są publicznie dostępne na poziomie województw, co zostało również wykorzystane w niniejszej dysertacji.

W USA prowadzonych jest wiele badań w różnych odstępach czasowych, między innymi [22]:

- badania przepływu ładunków (Commodity Flow Survey, CFS), które identyfikuje kierunki przemieszczeń poszczególnych typów ładunków,
- badania wykorzystania pojazdów osobowych i ciężarowych (Vehicle Inventory and Use Survey, VIUS albo Truck Inventory and Use Survey, TIUS).

Zbierane dane dostępne są w wielu bazach, między innymi w [120]: TRANSEARCH zawierającej np. coroczne ankiety wśród producentów w poszczególnych stanach i w podziale na typy produktów, FAF (Freight Analysis Framework) w ramach której zbudowano bazę CFD (Commodity Flow Database) dla lat 1998, 2010 i 2020. Baza danych FAF, dostępna dla USA, udostępnia gotową sieć drogową dla całego kraju.

Bardzo istotnym źródłem danych są bazy dostępne on-line. Przykład takiego zbioru danych o nazwie Cal-FRED (California Freight Data Repository) przedstawiono w [164].

Wśród metod niestandardowych można wyróżnić wykorzystanie nadajników GPS lub telefonów komórkowych. W [115] opisano przeprowadzone eksperymenty w mieście Kansas, który pokazał że wykorzystanie techniki śledzenia telefonów komórkowych połączona z GIS pozwala zidentyfikować 20 % przejazdów samochodów ciężarowych. Próby pozyskania danych z nadajników GPS przedstawiono w [11], [119], i [146]. Wyniki eksperymentów są obiecujące i należy się spodziewać możliwości wykorzystania tych technik do identyfikacji transportu ładunków. Trudnością jest „jedynie” dostęp do danych z nadajników GPS.

Pomiary bezpośrednie obejmują:

- pomiary natężenia ruchu wraz ze strukturą rodzajową,
- pomiary prędkości,
- ważenie pojazdów,
- odczytywanie numerów tablic rejestracyjnych.

Badania ankietowe można podzielić na:

- ankiety wykonywane w firmach wykorzystujących samochody ciężarowe (diariusz podróży),
- ankiety typu źródło-cel wykonywane na drogach podczas zatrzymywania pojazdów.

Zawartość ankiet jest niezwykle istotna. Ankieta typu źródło-cel z jednej strony musi być możliwie krótka (z uwagi na ograniczony czas ankietowania po zatrzymaniu pojazdu), z drugiej musi zawierać pewien zestaw podstawowych pytań. W [31] przeanalizowano możliwości dodania dodatkowych pytań w ankiecie typu źródło-cel. Ankieta wykonywana w firmach może być wykonana przez przeszkolonego ankietera lub wysyłana pocztą do ankietowanych podmiotów. W drugim przypadku należy spodziewać się małego procentu zwrotu wypełnionych ankiet. Przykładowo z fabryk przemysłu motoryzacyjnego w Niemczech uzyskano zwrot zaledwie 9,2 % wysłanych ankiet [73].

### 3.3.1. Ocena stosowanych metod

W [117] zwrócono uwagę, że kierowca pojazdu ciężarowego wykorzystywanego w drogowych przewozach ładunków często nie jest jego dysponentem. Odpytanie kierowcy o źródło i cel podróży daje podstawę do tworzenia więzby ruchu, jednak pytanie kierowcy o reakcję na np. wprowadzenie opłat za korzystanie z infrastruktury może przynieść błędne wnioski. Autorzy [117] zauważają ponadto, że ze względu na dużą liczbę często szczegółowych informacji w dzienniku podróży bądź w ankiecie oraz pewną nieufność do organizacji rządowych uzyskuje się niski procent zwrotów (w badaniach amerykańskich w przypadku ankiet wysyłanych pocztą poziom odpowiedzi nie przekraczał 30 % [117]) oraz mało wiarygodne wyniki. W przypadku dziennika podróży nie uwzględnia się pojazdów z poza obszaru badania. Przykładem może być przebudowa Ronda Ofiar Katynia w Krakowie. Firma, która realizowała inwestycję posiadała adres korespondencyjny w Oświęcimiu, adres do wystawiania faktur w Przeciszowie, a prace budowlane realizowała w Krakowie z wykorzystaniem między innymi samochodów ciężarowych zarejestrowanych w województwie śląskim. Okazuje się, że przeprowadzenie badań ankietowych nawet we wszystkich firmach wykorzystujących samochody ciężarowe w Krakowie nie pozwoli uwzględnić sporego ruchu budowlanego związanego ze wspomnianą inwestycją.

W tab. 3.15, przytoczonej za [22], scharakteryzowano poszczególne rodzaje pomiarów pod względem jakości ich wyników identyfikujących poszczególne charakterystyki jazd samochodów ciężarowych. Zaskakuje zaledwie akceptowalna jakość informacji o źródle i celu podróży w przypadku ankiet wykonywanych w przekrojach drogowych. Zdaniem autorów [22] można w tym badaniu określić miasto źródłowe i docelowe, natomiast nie ma możliwości, lub jest ona ograniczona, uzyskania dokładnego adresu (ulica, kod pocztowy).

Tab. 3.15. Jakość uzyskanych informacji dla różnych typów badań (opracowanie własne na podstawie doświadczeń amerykańskich [22])

Rodzaj informacji do pozyskania	Ankieta w terenie			Dziennik podróży*
	Drogi międzystanowe	Porty	Magazyny/Centra logistyczne	
Źródło i cel podróży	Akceptowana	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Bardzo dobra
Trasa przejazdu	Doskonała	Doskonała	Doskonała	Doskonała
Zagospodarowania terenu w źródle i celu podróży	Ograniczona	Ograniczona	Ograniczona	Bardzo dobra
Typ ładunku, rodzaj pojazdu	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Bardzo dobra
Lokalizacja pośrednich punktów załadunku i wyładunku	Ograniczona	Ograniczona	Ograniczona	Bardzo dobra
Wielkość ładunku	Doskonała	Doskonała	Doskonała	Akceptowana

\* uzupełnienie autora

Kwestią, którą również należy wziąć pod uwagę jest liczność przedsiębiorstw transportowych w Polsce. Wśród 240 tys. firm wykonujących transport drogowy około 200 tys. (83 %) to osoby fizyczne prowadzące jednoosobową działalność gospodarczą<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> <http://www.trans.info/message/view/7324.html> (odczyt z dn. 11 kwietnia 2010 r.)

Tab. 3.16. Wady i zalety poszczególnych metod pomiarów i badań ruchu (opracowanie własne na podstawie [22])

Rodzaj badania lub pomiaru	Wykorzystana technika	Zalety	Wady
Pomiary ruchu	Ręczne pomiary ruchu (bezpośrednia obserwacja)	Może być dokładniejsza niż pomiar automatyczny. Nie zakłóca ruchu.	Wymaga dużej liczby pomiarowych. Ryzyko popełnienia błędów pomiarowych (błąd ludzki). Brak informacji o źródle i celu podróży, motywacji, ładunku, etc.
	Automatyczny pomiar ruchu	Nie zakłóca ruchu. Możliwość wykonywania pomiarów w wielu miejscach przy zaangażowaniu małej liczby pomiarowych.	Możliwość awarii sprzętu. Brak informacji o źródle i celu podróży, motywacji, ładunku, etc. Ograniczona do miejsc, gdzie dostępne są urządzenia pomiarowe
	Pomiar ruchu techniką wideo	Nie zakłóca ruchu. W połączeniu z automatycznymi licznikami pojazdów uzyskuje się lepszą informację o typie ładunku.	Wysoki koszt sprzętu Możliwość awarii sprzętu lub złej jakości nagrania w niesprzyjających warunkach Brak informacji o źródle i celu podróży, motywacji, ładunku, etc.
Ankiety w przekrojach	Ankieta typu źródło – cel	Kompletna informacja o źródle i celu podróży, motywacji, ładunku, etc. Wysoki procent uzyskanych odpowiedzi. Możliwość kontrolowania liczebności i reprezentatywności próby. Możliwość rozszerzenia wyników na całą populację.	Wymaga dużej liczby pomiarowych. Zagrożenie bezpieczeństwa pomiarowych. Utrudnienia w ruchu. Ograniczona liczba lokalizacji, gdzie badanie może być prowadzone. Ankietowani są tylko ci kierowcy, którzy przejeżdżają przez punkt pomiarowy.
Diariusz podróży	Wywiad telefoniczny	Wyższy poziom odpowiedzi w porównaniu z ankietą wysyланą pocztą. Krótki czas pozyskania wyników.	Problem z uzyskaniem właściwych numerów telefonów. Możliwość telefonowania tylko w godzinach pracy. Niedoszacowanie przejazdów samochodów spoza obszaru badania.*
	Ankieta wysyłana pocztą z prośbą o odesłanie, (mailout-mailback)	Niski koszt wykonania.	Niski poziom odpowiedzi. Trudność z zapewnieniem prawidłowego wypełnienia ankiety przez osoby z ankietowanych firm. Konieczny dostęp do bazy danych pojazdów.
	Ankieta wysyłana pocztą z prośbą o odesłanie, uzupełniona kontaktem telefonicznym (telephone mailout-mailback)	Wyższy poziom odpowiedzi niż w ankietach mailout-mailback. Lepsza identyfikacja respondentów.	Relatywnie niski poziom odpowiedzi. Telefonowanie w celu uzupełnienia danych może być czasochłonne i kosztowne. Niedoszacowanie samochodów spoza obszaru badania Konieczny dostęp do bazy danych pojazdów.
	Wywiad indywidualny w siedzibie przedsiębiorstwa	Uzyskanie kompletnej informacji.	Wysoki koszt badania. Wymaga dużej liczby ankietowanych. Możliwość odmowy argumentowana tajemnicą handlową.

\* dotyczy wszystkich technik w przypadku diariusza podróży

W badaniach ankietowych prowadzonych w Polsce w przedsiębiorstwach wykorzystujących samochody ciężarowe zwykle identyfikowana jest ładowność lub dopuszczalna masa całkowita (DMC) pojazdów. Przykładowo, w kompleksowych badaniach ruchu w 2003 roku w Krakowie [88] zaklasyfikowano samochody ciężarowe do czterech przedziałów z uwagi na DMC: poniżej 3,5 t, od 3,5 do 12,0 t, od 12,0 do 30,0 t oraz powyżej 30,0 t. Natomiast w pomiarach przekrojowych oraz badaniach ankietowych na kordonie pojazdy ciężarowe przypisywane były do jednej z trzech grup: SD, SC oraz SCP. Na tym przykładzie widać, że przyjęta w badaniu ankietowym klasyfikacja może wykluczyć możliwość rozróżnienia w modelu samochodów ciężarowych bez przyczep (SC) oraz samochodów ciężarowych z przyczepami lub ciągników siodłowych z naczepami (SCP).

Podobna sytuacja występuje niekiedy w badaniach amerykańskich. Można jednak znaleźć przykłady, w których klasyfikacja pojazdów jest mocno rozbudowana i uwzględnia nie tylko dopuszczalną masę całkowitą, ale również liczbę osi oraz liczbę członów pojazdu.

Bardzo dobrym i wiarygodnym źródłem informacji o ruchu ciężarowym są badania ankietowe w przekrojach dróg lub na kordonie zewnętrznym miasta. Wadą tych badań jest ich wysoki koszt oraz trudności organizacyjne związane z zatrzymywaniem pojazdów przez Policję, zwłaszcza w mocno obciążonych przekrojach.

Podsumowując tą część pracy można przytoczyć tab. 3.16 (na poprzedniej stronie), w której podane zostały wady i zalety poszczególnych metod pomiarów i badań ruchu. Choć została ona stworzona dla warunków amerykańskich, obejmuje właściwie wszystkie metody wykorzystywane do tej pory w Polsce. Również ich ocena jest zbieżna z tym, co obserwujemy w warunkach polskich.

### 3.3.2. Wnioski z podrozdziału 3.3

Metodyka badań i pomiarów powinna wynikać z ich celu – do czego mają być wykorzystane ich wyniki oraz czy budowany jest całościowy lub częściowy (np. tylko potencjały ruchotwórcze) model transportu ładunków.

Wydaje się, że oprócz utrzymania dotychczasowych metod, które się sprawdzają, należałoby rozważyć rezygnację z badań ankietowych prowadzonych w firmach na rzecz badań pojedynczych generatorów ruchu (ankietowych lub kordonowych) oraz wprowadzenie badań na kordonach rejonów komunikacyjnych o różnym poziomie agregacji (część miasta, gmina, powiat).

Jednocześnie należy dążyć do maksymalnego wykorzystanie danych pochodzących z nadajników GPS (większość samochodów ciężarowych jest w nie wyposażona), systemów ITS lub poboru opłat (Via-Toll w Polsce). Niestety wiele z tych danych nie jest publicznie dostępnych, a wręcz są objęte tajemnicą handlową lub są danymi wrażliwymi z uwagi na bezpieczeństwo (np. dane z nadajników GPS).

### 3.4. Przeznaczenie modeli transportu ładunków

Przeznaczenie modelu transportu ładunków będzie ściśle związane z ich zasięgiem przestrzennym oraz szczegółowością. Na zasadzie interakcji założone przeznaczenie modelu będzie wymuszało jego zasięg terytorialny i szczegółowość, co determinuje możliwe do uzyskania wyniki.

W ogólności modele transportu ładunków mogą mieć zastosowanie [179] w:

- studiach wykonalności dróg,
- planowaniu rozwoju infrastruktury,
- analizie procesów logistycznych i łańcuchów dostaw,
- określenie podziału zadań przewozowych na różne środki transportu,
- analizy środowiskowe,
- analiza ruchu małych samochodów ciężarowych w obszarach miejskich (logistyka miejska)
- lokalizacja obiektów generujących ruchu ciężarowy,
- modelowanie wpływu opłat i regulacji prawnych na zachowania przewoźników i spedytorów,

W szczególności opracowane w ramach niniejszej rozprawy modele potencjałów ruchotwórczych mogą być wykorzystane w tworzeniu regionalnych modeli ruchu.

Bazując na wynikach modeli ruchu możliwe są dalsze analizy takie jak:

- określenie efektywności budowy nowej drogi (np. obwodnicy miasta),
- uzyskanie danych do projektowania nawierzchni,
- analizy środowiskowe (emisja spalin i hałasu),
- analizy ekonomiczne.

Wykorzystując model obiektowy możliwe jest określenie wpływu planowanej inwestycji (np. centrum logistycznego, zakładu produkcyjnego, obiektu handlowego) na przyległą sieć drogową poprzez oszacowanie ruchu ciężarowego generowanego przez dany obiekt. Na tej podstawie możliwe jest również ustalenie udziału inwestora obiektu w partycypacji kosztów przebudowy i utrzymaniu sąsiadującego układu drogowego, co jest częstą praktyką w polskich miastach. Kolejnym zastosowaniem jest wyznaczanie tras przejazdu dla pojazdów przewożących niebezpieczne ładunki oraz ich obciążenia.

## 4. Analiza dostępnych baz danych i metody uzupełniania danych

### 4.1. Dostępne bazy danych

#### 4.1.1. Kompleksowe badania ruchu (KBR) w strefie podmiejskiej Krakowa

Kompleksowe badania ruchu w strefie podmiejskiej Krakowa zostały wykonane na przełomie maja i czerwca 2007 roku. Objęły swoim zakresem 33 gminy strefy podmiejskiej Krakowa. Wykonano:

- badania ankietowe zachowań i preferencji komunikacyjnych mieszkańców,
- badania ankietowe ruchu ciężarowego,
- pomiary natężenia ruchu kołowego,
- pomiary napełnień pojazdów transportu zbiorowego.

Badania ruchu ciężarowego objęły próbę 100 firm działających w strefie podmiejskiej Krakowa. W pierwszym etapie badania, w którym wykorzystano metodę wywiadów telefonicznych (Computer Assisted Telephone Interview, CATI), wzięło udział 400 firm. Z tej grupy wylosowano 100 firm posiadających co najmniej jeden samochód dostawczy. Po zweryfikowaniu uzyskanej bazy danych, z której usunięto przejazdy obejmujące przewóz osób (2 firmy), uzyskano charakterystykę 262 samochodów ciężarowych, które wykonały 450 przejazdów (tab. 4.1).

Tab. 4.1. Ruchliwość samochodów ciężarowych w strefie podmiejskiej Krakowa w roku 2007 roku (opracowanie własne na podstawie ankiet wykonanych w ramach [89])

Samochody ciężarowe o DMC	Liczba spisanych pojazdów	Niewylosowany do spisanie	Wylosowany do spisanie			Liczba przejazdów (początek lub koniec w strefie)	Średnia ruchliwość [7] [4] + [6]
			podróżował (początek lub koniec w strefie)	podróżował (początek i koniec poza strefą)	nie podróżował		
1	2	3	4	5	6	7	8
≤ 3,5 t	166	12	109	10	35	319	2,22 (1,91)
> 3,5 t	96	26	33	16	21	133	2,46 (2,34)
Łącznie	262	38	142	26	56	452	2,28

Podane w tab. 4.1 ruchliwości uwzględniają również pojazdy wylosowane do spisanie, które w dniu poprzedzającym badanie nie wykonywały przejazdów. Wartości ruchliwości w nawiasie odpowiadają przejazdom rozpoczętym lub zakończonym poza daną gminą, czyli zewnętrznym w stosunku do gminy.

W tab. 4.2 zestawiono liczbę rekordów uzyskanych w wyniku ankietowania w poszczególnych gminach. Rekord jest to zapis jednego przejazdu konkretnego samochodu ciężarowego. Rekord może być „pusty” jeśli dany pojazd nie odbył żadnego przejazdu w dniu poprzedzającym badanie.

Tab. 4.2. Liczba ankietowanych firm oraz liczba uzyskanych rekordów w ramach KBR w strefie podmiejskiej Krakowa w 2007 roku (opracowanie własne na podstawie ankiet wykonanych w ramach [89])

Lp.	Powiat	Gmina	Liczba ankietowanych firm	Liczba uzyskanych rekordów w poszczególnych gminach dla samochodów ciężarowych o DMC	
				≤ 3,5 t	> 3,5 t
1	bocheński	Drwinia	0	0	0
2	krakowski ziemski	Czernichów	2	8	20
3		Igołomia-Wawrzeńczyce	0	0	0
4		Iwanowice	0	0	0
5		Jerzmanowice-Przegonia	0	0	0
6		Kocmyrów-Luborzycza	3	11	2
7		Krzeszowice	3	7	2
8		Liszki	0	0	0
9		Michałowice	0	0	0
10		Mogilany	1	18	0
11		Skała	0	0	0
12		Skawina	9	20	25
13		Słomniki	0	0	0
14		Sułoszowa	0	0	0
15		Świątniki Górne	5	24	2
16		Wielka Wieś	7	12	33
17		Zabierzów	5	21	0
18		Zielonki	5	24	6
19		myślenicki	Dobczyce	0	0
20	Myślenice		10	31	22
21	Siepraw		0	0	0
22	Sułkowice		2	6	2
23	proszowicki	Koniusza	0	0	0
24		Koszyce	2	10	0
25		Nowe Brzesko	0	0	0
26		Pałecznicza	0	0	0
27		Proszowice	11	17	20
28		Radziemice	0	0	0
29	wielicki	Biskupice	0	0	0
30		Gdów	4	9	9
31		Kłaj	6	19	22
32		Niepołomice	3	35	6
33		Wieliczka	20	102	25
		SUMA	98	374	196

W tab. 4.2 można zauważyć bardzo nierównomierne rozłożenie próby pośród gmin. Skutkuje to nieujawnieniem przejazdów samochodów ciężarowych, które są w posiadaniu przedsiębiorstw zarejestrowanego w danej gminie i w niej garażują. W konsekwencji rozszerzenie próby na populację daje zerowe wartości jazd rozpoczynanych i kończonych w niektórych gminach. Niemniej wyniki badań ruchu ciężarowego w strefie podmiejskiej Krakowa, które są jedynymi tego typu i o takim zasięgu przeprowadzonymi w ostatnich 10 latach w Polsce, są niewątpliwie użyteczne w niniejszej dysertacji, co zostało pokazane w kolejnych rozdziałach.

#### 4.1.2. Kompleksowe badania ruchu w dużych miastach w Polsce

W kilku przeprowadzonych w Polsce w ostatnich kilkunastu latach Kompleksowych Badaniach Ruchu uwzględniano ruch ciężarowy. W badaniach w Krakowie (2003) [88] wykonano ankiety w firmach wykorzystujących samochody ciężarowe. W Poznaniu (2000) [87] i Warszawie (2005) [176] ankietowanie prowadzone było na wlotach do miast. Szerokie i zorientowane przede wszystkim na ruch ciężarowy badania przeprowadzono we Wrocławiu (2000) [181].

Wyniki kompleksowych badań ruchu w Krakowie, Warszawie i Poznaniu, dzięki pomiarom kordonowym ruchu, mogą być wykorzystane do szacowania potencjału ruchotwórczego gmin miejskich. W dysertacji zostały wykorzystane wyniki KBR w Poznaniu i powiecie poznańskim.

#### 4.1.3. Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego dla miasta Katowice

Badania ankietowe w ramach wykonywania „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego dla miasta Katowice” zostały przeprowadzone w roku 2007. Wykonano wywiady w 1058 firmach zlokalizowanych w Katowicach i działających w różnych gałęziach gospodarki, zgodnie z aktualną Polską Klasyfikacją Działalności (PKD 2007).

Oprócz pytań dotyczących kierunków, możliwości i ograniczeń rozwoju poszczególnych przedsiębiorstw pojawiły się pytania o liczbę pracowników i powierzchnię użytkową firmy oraz pytania pozwalające określić wielkość ruchu ciężarowego związanego z funkcjonowaniem firmy, wyrażonego zarówno liczbą podróży samochodów ciężarowych o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3.5 t, jak i masą generowanych ładunków (średnio w ciągu dnia). Forma ankiety nie pozwalała na identyfikację rozkładu przestrzennego ruchu.

Pomimo dużej liczebności próby uzyskane wyniki (zarówno przy użyciu analizy regresji jak sztucznych sieci neuronowych) są niezadawalające i nie zostały przedstawione w niniejszej pracy. Wynika to głównie z faktu, że ok. 65 % ankietowanych firm nie ujawniło żadnego ruchu ciężarowego związanego z ich funkcjonowaniem. Wskaźniki generacji ruchu dla firm w podziale na sekcje PKD przedstawiono w [95].

#### 4.1.4. Studium układu dróg szybkiego ruchu w Polsce oraz analizy studialne dla autostrad

W ramach „Studium układu dróg szybkiego ruchu w Polsce” [154] wykonano wywiady ankietowe na 36 przejściach granicznych oraz 64 punktach na drogach wewnątrz kraju (autostrady – 12, drogi krajowe – 44, drogi wojewódzkie – 8). Pomiar natężenia ruchu trwał zwykle 24 godziny. Ankietowanie odbywało się w godzinach szczytu porannego i popołudniowego, zwykle 7:00 – 11:00 i 14:00 – 18:00 (ewentualnie 15:00 – 19:00), natomiast pomiar natężenia ruchu trwał 24 godziny. W badaniach ankietowych rozróżniano 3 typy samochodów ciężarowych: SD, SC i SCP. Lokalizację źródła i celu podróży odnoszono do gminy. Dodatkowo identyfikowane były motywacja i częstotliwość odbywania podróży.

Podobne badania ankietowe zostały wykonane w latach 2006 – 2007 w ramach analiz korytarzowych dla autostrad A1 i A2.

Powyższe badania zostały wykorzystane do budowy krajowego modelu ruchu, natomiast w niniejszej dysertacji zostaną wykorzystane do adaptacji metody Vomberga (metoda



bezpośredniego wyznaczania elementów więźby ruchu) oraz pośrednio do wyznaczania potencjałów ruchotwórczych.

#### 4.1.5. Generalny pomiar ruchu

Generalny Pomiar Ruchu (GPR) jest wykonywany na drogach krajowych i wojewódzkich w odstępach pięcioletnich. Ostatni wykonany w 2010 roku, objął kilka tysięcy punktów pomiarowych.

W pomiarze rejestrowane jest natężenie ruchu w podziale na następujące typy pojazdów:

- rowery,
- motocykle,
- samochody osobowe,
- lekkie samochody ciężarowe (dostawcze), oznaczenie autora: SD,
- samochody ciężarowe bez przyczep, oznaczenie autora: SC,
- samochody ciężarowe z przyczepami, oznaczenie autora: SCP,
- autobusy,
- ciągniki rolnicze.

Zgodnie z informacjami zawartymi na stronie internetowej GDDKiA *całoroczny cykl pomiarowy w 2010 roku składał się z 9 dni pomiarowych. Pomiar obejmował wykonanie dziewięciu pomiarów „dziennych” (od godz. 6:00 do 22:00), dwóch pomiarów „nocnych” (od godz. 22:00 do 6:00) w tym dwóch pomiarów całodobowych, według ściśle określonego harmonogramu*<sup>16</sup>

Głównym wynikiem GPR jest obraz obciążenia ruchem dróg krajowych i wojewódzkich wyrażone średnim dobowym ruchem w roku (SDR) na poszczególnych odcinkach. Wyniki GPR zostały wykorzystane w rozdziale dotyczącym zastosowanie stworzonych modeli.

#### 4.1.6. Stacje ciągłego pomiaru ruchu

Zarządcy dróg (głównie GDDKiA) dysponują stacjami ciągłego pomiaru ruchu. Niestety, w wielu przypadkach z uwagi na brak łączności z takim punktem konieczne jest cotygodniowe pobieranie danych ze stacji przez pracownika. Następnie pojawia się problem archiwizacji i analizy uzyskanych danych.

Dla potrzeb pracy pozyskano z GDDKiA Oddział Kraków dane ze stacji preselekcji (pomiar natężenia ruchu i ważenie pojazdów) zlokalizowanej na DK Nr 4 w m. Wola Dębińska. Stacja w sposób ciągły rejestruje natężenie ruchu z podziałem na strukturę rodzajową oraz parametry pojazdów takie jak: typ pojazdu, długość, masa, rozstaw osi, prędkość. Dodatkowo każdemu pojazdowi wykonywane są dwa zdjęcia.

Uzyskane wyniki pomiarów zostały wykorzystane do określenia zmienności ruchu ciężarowego w czasie (zmienność dobową, tygodniową, roczną) oraz określenia wielkości ładunków przewożonych poszczególnymi typami samochodów ciężarowych.

#### 4.1.7. Bazy danych GUS

Oprócz roczników statystycznych i publikacji z serii „Wyniki działalności” Główny Urząd Statystyczny na swojej stronie internetowej<sup>17</sup> udostępnia Bank Danych Lokalnych (BDL). W BDL możliwe jest uzyskanie wielu informacji dotyczących zatrudnienia, ludności, struktury przedsiębiorstw itp. Wiele z dostępnych danych może być wykorzystane w procesie

<sup>16</sup> <http://www.gddkia.gov.pl/pl/987/gpr-2010> (odczyt z dn. 27 listopada 2012 r.)

<sup>17</sup> [http://www.stat.gov.pl/bdl/app/strona.html?p\\_name=indeks](http://www.stat.gov.pl/bdl/app/strona.html?p_name=indeks) (odczyt z dn. 27 listopada 2012 r.)

modelowania jako zmienne objaśniające. Niestety, dane dostępne np. dla województw mogą być niedostępne dla powiatów lub gmin. Niemniej BDL jak i pozostałe publikacje GUS tworzą duże, wysoce wiarygodne i niezwykle przydatne bazy danych, które zostaną wykorzystane w niniejszej dysertacji do budowy modelu.

#### 4.1.8. Badania własne

W ramach podejmowanych badań własnych autor stworzył bazy danych. Obejmują one:

- wyniki pomiarów kordonowych ruchu na granicach dwóch gmin w okolicach Krakowa (gminy Czernichów i Michałowice), które uwzględniały zapisywanie numerów rejestracyjnych, rok 2010 (rys. 5.13 w p. 5.5.2),
- wyniki pomiarów ruchu wjazdowego i wyjazdowego z wybranych pojedynczych generatorów ruchu w Krakowie i okolicach, rok 2011 (Załącznik 4),
- pomiary ruchu na granicach gmin (ekrany) i granicy powiatu (kordon) w powiecie miechowskim (województwo małopolskie), które uwzględniały zapisywanie numerów rejestracyjnych, rok 2012.

#### 4.1.9. Wnioski z podrozdziału 4.1

Można stwierdzić, że dostępne dane są z jednej strony bardzo obszerne (np. dane GUS), z drugiej jednak często ich wiarygodność (np. badania ankietowe w firmach) oraz przydatność jest ograniczona. Ostatnie badania ankietowe typu źródło-cel, które wydają się najlepszym źródłem danych, na szeroką skalę prowadzone były w roku 2006. Od tego czasu wykonanie tego typu badań jest praktycznie niemożliwe. Również rzadko prowadzi się badania ankietowe w firmach, które użytkują samochody ciężarowe. Jednak reprezentatywność tego typu badań jest wątpliwa, na co zwrócono uwagę w przypadku badań ankietowych w strefie podmiejskiej Krakowa. Z nadzieją należy patrzeć na możliwości wykorzystania danych z odbiorników GPS lub systemów rozpoznawania numerów rejestracyjnych i klasyfikacji pojazdów (pojazdów w ruchu lub na podstawie filmów wideo).

## 4.2. Uzupelnianie brakujących danych

### 4.2.1. Wprowadzenie

Powody brakujących danych mogą być różne. Najczęściej wynikają z odmowy odpowiedzi na zadane pytanie w ankiecie. Mogą też wynikać z braku staranności osoby wykonującej ankietę lub pomiar (np. pominięcie pytania, błędne zanotowanie odpowiedzi, nieprecyzyjny pomiar). Wśród pozostałych przyczyn można wymienić niepewność co do poprawności danych (pomimo ich uzyskania), uzyskanie informacji w formie przedziału lub opisowej zamiast konkretnej wartości lub przypisaniu jednemu obiektowi różnych wartości tego samego parametru.

Rozróżniamy trzy typy brakujących danych ([140], [143]):

- braki w pełni losowe, MCAR (ang. Missing Completely at Random); brakujące wartości rozłożone są losowo wśród wszystkich obserwacji,
- braki częściowo losowe, MAR (ang. Missing at Random); występowanie brakujących wartości może zależeć od innej zmiennej,
- braki nielosowe, NMAR (ang. Not Missing at Random).

W przypadku danych typu MCAR brakujące wartości są rozłożone losowo w zbiorze obserwacji. Oznacza to, że występowanie brakujących danych nie zależy od zmiennej, dla

której występują braki ani od żadnej innej zmiennej znajdującą się w zbiorze obserwacji [140]. Jeśli w badaniu ankietowym braki w odpowiedziach na pytanie o zarobki nie zależą od płci, miejsca zamieszkania, wieku lub innych cech osoby ankietowanej będą one typu MCAR. Dane typu MAR charakteryzują się tym, że występowanie brakujących wartości może zależeć od jakiejś zmiennej objaśniającej, jednak nie zależą od zmiennej dla której występują braki [143]. Przykładowo jeśli w badaniu ankietowym osoby starsze lub mieszkające w dużych miastach będą unikać odpowiedzi na pytanie o zarobki, to brakujące dane będą typu MAR. Ostatni typ danych, NMAR, to takie, w których braki nie występują losowo i mogą być zależne również od zmiennej, dla której występują braki. Kontynuując przykład, jeśli brakujące odpowiedzi na pytanie o zarobki zależą od poziomu dochodów to dane są typu NMAR. W zależności od typu brakujących danych możliwe jest zastosowanie określonej metody uzupełniania brakujących danych.

Można wyróżnić następujące metody uzupełniania brakujących danych [102]:

— proste

- usuwanie niekompletnych rekordów,
- wstawienie wartości średniej lub mediany w miejsce brakujących danych,
- zastępowanie brakującej wartości pochodzącą z rekordu o podobnym profilu (ang. pattern matching lub hotdecking),
- uzupełnianie na podstawie regresji liniowej (pojedynczej lub wielorakiej), jeśli zmienna z brakującymi wartościami jest skorelowana z innymi zmiennymi; w takim przypadku na podstawie formuły regresji przewiduje się brakujące wartości,

— złożone

- wielokrotne wstawianie (ang. multiple imputation, MI) z wykorzystaniem metod największej wiarygodności (ang. maximum likelihood, ML).

Obecnie metody uzupełniania brakujących danych stosowane są bardzo często w medycynie i naukach społecznych [1]. Można znaleźć również pojedyncze zastosowania w dziedzinie transportu ([32], [121]), które w przytoczonych przypadkach dotyczą uzupełniania brakujących danych wejściowych w systemach ITS.

#### 4.2.2. Charakterystyka metod uzupełniania danych

W niniejszym podrozdziale scharakteryzowano poszczególne metody uzupełniania brakujących danych. Wybrane z nich zostały ocenione (p. 4.2.3) i zastosowane (p. 6.1.3) do uzupełniania liczby zarejestrowanych samochodów ciężarowych w powiatach w dalszej części pracy.

##### **METODY PROSTE**

##### ***Usuwanie niekompletnych rekordów (Listwise Deletion)***

Jest to metoda najprostsza i posiada dwie podstawowe zalety: może być stosowana w każdym rodzaju analizy statystycznej oraz nie wymaga żadnych zaawansowanych metod obliczeniowych. Polega ona na usunięciu rekordów, które zawierają braki. W przypadku danych typu MCAR statystyki dla zredukowanej próbki będą odpowiadać wartościom w próbie głównej bez braków i nie będą obciążone błędem [1].

### Zastępowanie wartością średnią (*Mean Imputation*)

Metoda polega na zastąpieniu brakujących wartości wartością średnią, obliczoną na podstawie znanych wartości. Zależność można opisać wzorem:

$$Y_B = \frac{\sum_{i=1}^{n_Z} Y_{Zi}}{n_Z}, \quad (4.1)$$

gdzie:  $Y_B$  – brakująca wartość,  $Y_{Zi}$  – znane wartości,  $n_Z$  – liczba znanych wartości w całej próbie  $n$ .

W tab. 4.3 pokazano fikcyjny przykład wyników badań ankietowych, w których brakującą informacją jest ruchliwość piątej osoby.

Tab. 4.3. Przykładowe wyniki badań ankietowych dla potrzeb uzupełniania brakujących danych (opracowanie własne)

Lp.	Płeć	Ruchliwość	Dostępność samochodu	Wiek
1	K	1,9	T	30
2	K	1,7	T	52
3	M	2,4	N	30
4	M	2,0	T	44
5	M	?	T	30

Brakującą wartość możemy uzupełnić średnią w kategorii ruchliwość, która wyniesie 2,0. Możliwe jest również wstawienie wartości średniej, jednak obliczonej dla mężczyzn (2,2), osób w wieku 30 lat (1,8) lub osób posiadających samochód (1,9).

### Uzupełnianie na podstawie podobnych rekordów (*Hot-Decking, Pattern Matching*)

Metoda ta jest bardzo prosta i polega na odnalezieniu w całej próbie pełnego rekordu najbardziej podobnego do rekordu z brakującymi danymi pod względem jednej lub wielu cech. Jeśli w zbiorze pełnych rekordów znajduje się więcej niż jeden pasujący, wtedy albo brakującą wartość uzupełnia się wartością z pierwszego znalezionej rekordu lub wybraną losowo z wszystkich pasujących rekordów.

W analizowanym przykładzie biorąc pod uwagę płeć i wiek najbardziej pasującym rekordem jest rekord 3 i jako brakującą wartość można wstawić 2,4. Natomiast biorąc pod uwagę dostępność samochodu i wiek najbliższym rekordem jest rekord 1 i jako brakującą wartość można wstawić 1,9. W przypadku uwzględnienia wszystkich cech (płeć, dostępność samochodu i wiek) trudno określić najbliższy rekord do rekordu 5. W takich przypadkach możliwe jest po prostu wylosowanie wartości z cechy ruchliwość i wstawienie jej w miejsce brakującej wartości.

Jak widać na powyższym przykładzie uzupełniona wartość zależy od przyjętych cech, które będą brane pod uwagę przy określaniu podobieństwa rekordów. Jednocześnie uwzględnienie zbyt dużej liczby cech może utrudnić znalezienie podobnego rekordu.

### ***Wstawianie ostatniej zaobserwowanej wartości (Last Value/Observation Carried Forward, LVFC/LOFC)***

Metoda ma zastosowanie gdy analizowana cecha jest zmienna w czasie. Metoda zakłada, że, pomimo występującej zmienności w czasie, uzupełniane wartości cechy pozostają stałe od momentu zaobserwowania ostatniej wartości. W analizowanym przypadku (tab. 4.4) brakująca wartość dla wiersza 1 wynosiłaby 2,6. W wierszu 3 wszystkie brakujące wartości zostałyby uzupełnione liczbą 1,8 natomiast w wierszu 5 liczbą 1,7.

Tab. 4.4. Przykładowe ruchliwości 5 osób w zależności od dnia tygodnia dla potrzeb uzupełniania brakujących danych (opracowanie własne)

Lp.	Ruchliwość (pn.)	Ruchliwość (wt.)	Ruchliwość (śr.)	Ruchliwość (czw.)	Ruchliwość (pt.)
1	2,3	2	2,5	2,6	?
2	1,9	2,2	2,5	1,9	1,7
3	1,6	1,8	?	?	?
4	1,7	1,9	2,5	2,4	1,7
5	1,8	2,5	1,7	?	?

### ***Uzupełnianie brakujących danych na podstawie wzoru regresji (Regression Imputation)***

Jeżeli zmienna Y dla której występują brakujące wartości jest zależna od innej zmiennej (lub zmiennych) X, w której nie ma braków to możliwe jest uzupełnienie brakujących danych zmiennej Y na podstawie regresji liniowej. W pierwszej kolejności należy z całej próby usunąć rekordy, w których występują braki wartości. Następnie należy znaleźć zależności regresyjne pomiędzy zmienną Y i zmienną (zmiennymi X). Następnie obliczamy brakujące wartości zmiennej Y na podstawie stworzonego modelu regresji.

Nawiązując do przykładu z tab. 4.3 można stworzyć zależność regresyjną pomiędzy ruchliwością a wiekiem respondenta. Równanie regresji ma postać:  $2,7 - 0,02 \cdot \text{WIEK}$  ( $R^2=0,47$ ). Stąd obliczona ruchliwość dla 5 osoby wynosi 2,1.

Powyższy przykład jest poglądowy i pokazuje procedurę postępowania w przypadku uzupełniania danych na podstawie wzoru regresji. Z punktu widzenia analizy regresji liniowej liczebność próby jak i uzyskana wartość współczynnika determinacji są zbyt niskie, aby przyjąć taki model.

## ***METODY ZŁOŻONE***

Najczęściej stosowaną metodą złożoną jest metoda wielokrotnego wstawiania (ang. Multiple Imputation, MI). Po raz pierwszy metoda ta została zaproponowana przez Rubiną w 1970 roku ([140]). Polega ona na wygenerowaniu od 3 do 10 różnych zestawów z uzupełnionymi danymi z wykorzystaniem wybranej metody (np. k-najbliższych sąsiadów lub oceny skłonności). Wygenerowanie kilku losowych zestawów brakujących danych odzwierciedla niepewność, co do wartości jaka powinna być wstawiona w miejsce brakującej. Następnie każdy zestaw uzupełnionych danych jest analizowany oddzielnie, co daje  $m$  częściowych parametrów. W kolejnym kroku obliczane są wynikowe parametry (np. współczynniki regresji, wartości średnie, błędy).

Z uwagi na złożoność metod wielokrotnego wstawiania trudne jest przedstawienie przykładu opartego o konkretną metodę zastosowaną w p. 4.2.3. Stąd w niniejszej pracy zawarto prosty przykład na podstawie danych z tab. 4.3 z wykorzystaniem metody najbliższych sąsiadów pod względem wieku. Zakładając, że  $k=3$  najbliższymi do brakującej są obserwacje: 1, 3 i 4. Następnie z trzech wartości ruchliwości (dla obserwacji 1, 3 i 4)

losujemy (z jednakowym prawdopodobieństwem) jedną wartość. W ten sposób uzyskujemy pierwszy zestaw uzupełnionych danych. W celu uzyskania kolejnych zestawów uzupełnionych danych procedurę należy powtórzyć. Przykładowo, dla  $m=2$  wstawień i  $k=3$  najbliższych sąsiadów wyniki mogą wyglądać następująco: 1,9 i 2,0. Stąd ruchliwość 5 osoby będzie równa 1,95.

Zwykle liczba wstawień wynosi od 3 do 5. Powyżej 5 wstawień przy wzrastającym wysiłku obliczeniowym, efektywność modelu wzrasta nieznacznie (tab. 4.5) zgodnie ze wzorem:

$$e = \left(1 + \frac{\gamma}{m}\right)^{-1}, \quad (4.2)$$

gdzie:  $e$  – procentowa efektywność,  $\gamma$  – udział braków brakujących danych [-],  $m$  – liczba wstawień.

Tab. 4.5. Procentowa efektywność uzupełniania danych w zależności od udziału brakujących danych i liczby wstawień [140]

		Udział brakujących danych $\gamma$				
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
Liczba wstawień $m$	3	97	91	86	81	77
	5	98	94	91	88	85
	10	99	97	95	93	92
	20	100	99	98	97	96

W odniesieniu do tab. 4.5 można kwestionować czy przy 70 lub 90 % braków można stosować metody uzupełniania danych.

W ogólności procedura wielokrotnego wstawiania wygląda następująco [140]:

- wygenerować brakujące wartości z wykorzystaniem odpowiedniego modelu, który uwzględni zmienność losową,
- wykonać uzupełnianie danych  $m$  razy w celu uzyskania  $m$  kompletnych zestawów danych,
- obliczyć estymaty dla każdego uzupełnionego zestawu danych,
- uśrednić obliczone estymaty pomiędzy  $m$  zestawami uzupełnionych danych.

Aby obliczyć wynikowe wartości dowolnej estymaty dla  $m$  zestawów uzupełnionych danych należy uśrednić wartości tych estymat uzyskane dla poszczególnych zestawów uzupełnionych danych według poniższego wzoru:

$$\bar{Q} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{Q}_i, \quad (4.3)$$

gdzie:  $m$  – liczba wstawień (wygenerowanych zestawów danych),  $\hat{Q}_i$  – wartość estymaty dla  $i$ -tego zestawu uzupełnionych danych,  $\bar{Q}$  – wynikowa wartość estymaty dla  $m$  wstawień.

Szczegółowy opis poszczególnych metod uzupełniania danych podano w [148].

#### 4.2.3. Uzupełnianie danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych

W celu obliczenia potoku ruchu między dwoma miastami lub gminami za pomocą metody Vomberga, przedstawionej w dalszej części pracy, niezbędna jest wiedza o liczbie samochodów zarejestrowanych w poszczególnych miastach. Dopiero od niedawna (od 2009 roku) dane takie publikuje GUS w Banku Danych Lokalnych (BDL) na poziomie powiatu. Wcześniej takie dane były dostępne tylko dla niektórych województw. W adaptacji metody

Vomberga opisanej w rozdziale 6.1.3 wykorzystane zostały wyniki badań ankietowych przeprowadzonych w 2006 roku. Stąd niezbędne było pozyskanie informacji o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych dla poszczególnych gmin.

Pozyskano dane dla wszystkich powiatów dla roku 2011. Dla roku 2006, na 379 powiatów dla 142 dostępna była informacja o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych. Wskaźnik motoryzacji dla roku 2006 zawierał się w przedziale od 16,0 do 142,0, natomiast dla 2011 przedziale od 38,7 do 217,6 samochodów ciężarowych na 1000 mieszkańców.

W pierwszej kolejności wykonano test dla dwóch wariancji dla liczby zarejestrowanych samochodów ciężarowych w roku 2011 w miastach na prawach powiatu i pozostałych powiatach. Wyniki pokazały, że należy te powiaty traktować oddzielnie.

W teście istotności dla dwóch wariancji sprawdzono hipotezę  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  wobec hipotezy alternatywnej  $H_1: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$ , gdzie  $\sigma_1^2$  jest wariancją dla liczby samochodów zarejestrowanych powiatów o większej wariancji w próbie, a  $\sigma_2^2$  – dla liczby samochodów zarejestrowanych powiatów o mniejszej wariancji w próbie. Statystykę testu obliczono dla dwóch typów pojazdów (lekkie i ciężkie samochody ciężarowe) ze wzoru:

$$F = \frac{\bar{s}_1^2}{\bar{s}_2^2} \quad (4.4)$$

gdzie:  $F$  – statystyka testu,  $\bar{s}_1^2, \bar{s}_2^2$  – estymator wariancji  $\sigma^2$  dla potencjału wytwarzającego lub absorbującego wyznaczany według wzoru 4.5.

$$\hat{s}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.5)$$

gdzie:  $n$  – liczebność próby,  $x_i$  – wartości zmiennej w próbie,  $\bar{x}$  – wartość średnia w próbie.

Obliczone według wzoru 4.4 wartość statystyki testu porównano z wartością krytyczną z rozkładu  $F$  Snedecora dla poziomu istotności  $\alpha=0,05$  oraz  $n_1-1=62$  i  $n_2-1=315$  punktów swobody. Wartość krytyczna  $F_\alpha$  dla powyższych założeń wynosi 1,36. Wartość statystyki testu  $F$  wynosi 42,58. Ponieważ wartość statystyki  $F$  jest większa od wartości krytycznej  $F_\alpha$  są podstawy do odrzucenia hipotezy  $H_0$  o równości wariancji pomiędzy potencjałami liczbami zarejestrowanych samochodów w miastach na prawach powiatu i pozostałych powiatach.

Dodatkowo wykonano test istotności dla dwóch średnich, w którym sprawdzono hipotezę o równości średnich w dwóch próbach  $H_0: m_1=m_2$  wobec hipotezy alternatywnej  $H_1: m_1 \neq m_2$ . Statystykę testu obliczono ze wzoru:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1 \cdot s_1^2 + n_2 \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (4.6)$$

gdzie:  $t$  – statystyka testu,  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$  – wartości średnie w próbach,  $n_1, n_2$  – liczebności prób,  $s_1^2, s_2^2$  – estymator wariancji  $\sigma^2$  dla potencjału wytwarzającego lub absorbującego wyznaczany według wzoru 4.5.

Obliczone według wzoru 4.6 wartość statystyki testu porównano z wartością krytyczną z rozkładu  $t$  Studenta dla poziomu istotności  $\alpha=0,05$ , dwustronnego obszaru krytycznego oraz  $n_1+n_2-2=377$  punktów swobody. Wartość krytyczna  $t_\alpha$  dla powyższych założeń wynosi 2,96. Uzyskana wartość statystyki testu  $t=6,7$  jest większa od wartości krytycznej  $t_\alpha$ , stąd są podstawy do odrzucenia hipotezy  $H_0$  o równości średnich pomiędzy liczbami zarejestrowanych samochodów ciężarowych dla miast na prawach powiatu i pozostałych powiatów.

W pierwszym kroku poszukiwano zależności pomiędzy liczbą zarejestrowanych samochodów ciężarowych ( $L_{SC}$ ) a zmiennymi charakteryzującymi dany powiat: liczbą mieszkańców (LM) i liczbą podmiotów REGON w sekcji transport (REGT). Udowodniono następujące zależności odnoszące się do liczby zarejestrowanych samochodów ciężarowych w poszczególnych powiatach w roku 2011:

- dla miast na prawach powiatu
  - $L_{SC}=0,091 \cdot LM$ ,  $R^2=0,97$ , ( $n=63$ ),
  - $L_{SC}=8,351 \cdot REGT$ ,  $R^2=0,98$ , ( $n=63$ ),
- dla pozostałych powiatów
  - $L_{SC}=0,073 \cdot LM$ ,  $R^2=0,92$ , ( $n=316$ ),
  - $L_{SC}=11,827 \cdot REGT$ ,  $R^2=0,90$ , ( $n=316$ ).

Jednocześnie dla powiatów, dla których dostępne były dane o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych w roku 2006, sformułowano następujące zależności:

- dla miast na prawach powiatu
  - $L_{SC}=0,075 \cdot LM$ ,  $R^2=0,92$ , ( $n=18$ ),
  - $L_{SC}=7,855 \cdot REGT$ ,  $R^2=0,95$ , ( $n=18$ ),
- dla pozostałych powiatów
  - $L_{SC}=0,057 \cdot LM$ ,  $R^2=0,95$ , ( $n=124$ ),
  - $L_{SC}=9,418 \cdot REGT$ ,  $R^2=0,89$ , ( $n=124$ ).

Następnie, w celu zastosowania metod uzupełniania danych w roku 2011 usunięto te same rekordy (dane o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych), które były niedostępne w roku 2006. Wykorzystując pozostałe rekordy uzupełniono dane o liczbie zarejestrowanych pojazdów z wykorzystaniem pakietu SOLAS [148] na podstawie liczby mieszkańców (LM) i liczby podmiotów regon w sekcji transport (REGT) dla roku 2011. Uzyskane uzupełnione liczby zarejestrowanych samochodów ciężarowych porównano z rzeczywistymi poprzez obliczenie średniego względnego błędu procentowego (MAPE). Wyniki zamieszczono w tab. 4.6.

Tab. 4.6. Ocena metod uzupełniania danych wykorzystanych do uzupełnienia liczby zarejestrowanych samochodów ciężarowych w powiatach w roku 2011 (opracowanie własne)

Metoda	Średni błąd względny [%]	
Zastępowanie wartością średnią (Mean Imputation)	48,0	
Uzupełnianie na podstawie podobnych rekordów (Hot-Decking, Pattern Matching)	20,1	
Uzupełnianie brakujących danych na podstawie regresji (Regression Imputation)	Zmienna objaśniająca LM	16,8
	Zmienna objaśniająca REGT	16,9
Wielokrotne wstawianie na podstawie regresji (Predictive Model Based Method)	17,5	
Wielokrotne wstawianie na podstawie analizy skłonności (Propensity Score Method)	40,0	
Wielokrotne wstawianie na podstawie odległości Mahalanobisa (Mahalanobis Method)	18,4	

W metodzie opartej o uzupełnianie wartością średnią, obliczono średnią liczbę pojazdów zarejestrowanych w powiatach, dla których dostępne były dane. W uzupełnianiu na podstawie podobnych rekordów wśród kompletnych rekordów wyszukiwano takie, które byłyby najbardziej zbliżone do rekordów nie zawierających liczby zarejestrowanych samochodów ciężarowych pod względem liczby mieszkańców (LM) i liczby podmiotów REGON w transporcie (REGT).



Na podstawie regresji liniowej brakujące wartości zostały uzupełnione na podstawie następujących równań regresji, opracowanych dla dostępnych danych dla roku 2011:

- dla miast na prawach powiatu
  - $L_{SC}=0,086 \cdot LM$ ,  $R^2=0,96$ , ( $n=18$ ),
  - $L_{SC}=9,600 \cdot REGT$ ,  $R^2=0,99$ , ( $n=18$ ),
- dla pozostałych powiatów
  - $L_{SC}=0,072 \cdot LM$ ,  $R^2=0,96$ , ( $n=124$ ),
  - $L_{SC}=11,400 \cdot REGT$ ,  $R^2=0,90$ , ( $n=124$ ).

W metodzie wielokrotnego wstawiania wykorzystywana jest również regresja liniowa. Różnicą w stosunku do metody pojedynczego wstawiania jest uwzględnienie losowości przy doborze parametrów modelu regresji. W metodzie „analizy skłonności” w zbiorze kompletnych rekordów poszukiwane były takie, których skłonność, rozumiana jako prawdopodobieństwo wystąpienia braków, były podobne jak w przypadku rekordu z brakującymi danymi. W metodzie „odległości Mahalanobisa” poszukiwane były kompletne rekordy, dla których odległość Mahalanobisa od rekordu z brakami była jak najmniejsza. W każdej metodzie wielokrotnego wstawiania generowano 5 zestawów uzupełnionych danych, dla których następnie wyliczono wartości średnie. Uzyskane liczby zarejestrowanych samochodów ciężarowych porównano z danymi GUS i obliczono średni błąd względny (MAPE) dla każdej z metod. Wyniki uzupełniania brakujących danych przedstawiono w Załączniku 2 natomiast wyniki oceny poszczególnych metod w tab. 4.6.

Najgorsze wyniki, tj. najwyższy błąd względny, uzyskano dla uzupełniania brakujących danych wartością średnią. Najlepsze wyniki uzyskano dla prostej metody uzupełniania na podstawie regresji liniowej. Porównywalne wyniki dały metody złożone, za wyjątkiem metody wykorzystującej analizę skłonności. Niewiele większy błąd uzyskano dla metody uzupełniania na podstawie podobnych rekordów.

#### 4.2.4. Wnioski z podrozdziału 4.2

Niemal w każdej dziedzinie nauki na etapie tworzenia baz danych występują braki. Najczęściej wybrakowane rekordy są usuwane kosztem zmniejszenia liczebności próby. Niestety w niektórych przypadkach może to prowadzić do znacznego zredukowania próby lub usunięcia rekordów, które mogą być istotne. Stąd stosowanie metod uzupełniania brakujących danych jest uzasadnione.

Często w przypadku brakujących danych uzupełniane są one wartością średnią. Wynika to z łatwości zastosowanie tej metody i jednocześnie mylnego założenia, że przyjęcie wartości średniej jest najlepszym albo „bezpiecznym” rozwiązaniem. W przeprowadzonych analizach pokazano, że uzupełnianie brakujących wartości średnią daje najgorsze rezultaty ze wszystkich analizowanych metod. Dlatego metoda ta jest niezalecana.

Jednocześnie patrząc na równania regresyjne dla pełnej próby i próby z usuniętymi brakującymi rekordami można zauważyć zbliżone wartości parametrów regresji. Stąd przy dużej próbie usuwanie wybrakowanych rekordów może okazać się lepszą metodą niż uzupełnianie wartością średnią.

W niniejszej dysertacji zweryfikowano przydatność metod uzupełniania danych do szacowania liczby zarejestrowanych pojazdów. Niemniej możliwości zastosowania tych metod są bardzo szerokie i możliwe jest ich wykorzystanie w uzupełnianiu oraz weryfikowaniu wyników badań ankietowych.

## 5. Modelowanie potencjałów ruchotwórczych

### 5.1. Wprowadzenie

Pierwszym krokiem tworzenia czterostadiowego modelu podróży, jest estymacja modelu potencjałów ruchotwórczych.

Potencjał ruchotwórczy można zdefiniować jako liczbę podróży (osób) lub przejazdów (np. samochodów ciężarowych) rozpoczynanych (potencjał wytwarzający, generacja) oraz kończonych (potencjał absorbujący, absorpcja) w danym obszarze (np. w rejonie komunikacyjnym) w jednostce czasu (np. godzina, doba, rok). Potencjał ruchotwórczy może odnosić się do obszaru np. województwo, powiat, gmina, część miasta lub do obiektów (pojedynczych generatorów ruchu) np. centrów handlowych, zakładów produkcyjnych, centrów logistycznych. W pierwszym przypadku możemy mówić o modelu obszarowych, w drugim o modelu obiektowym.

W przypadku drogowego transportu ładunków potencjał ruchotwórczy może być wyznaczony w tonach lub wartości pieniężnej ładunków (podejście ładunkowe – commodity-based) bądź w przejazdach samochodów ciężarowych (podejście pojazdowe – vehicle-based).

Potencjał ruchotwórczy najczęściej rozważany jest jako element czterostadiowego modelu podróży. Wynika to z silnych sprzężeń zwrotnych z pozostałymi stadiami, tj. z więźbą ruchu oraz z rozkładem ruchu na sieć. Z drugiej strony, stadium wyznaczania potencjałów ruchotwórczych może występować samodzielnie, np. przy określaniu generacji ruchu przez obiekty. Niekiedy wystarczająca jest informacja o generacji i absorpcji ruchu w danym obszarze lub przez dany obiekt bez konieczności przechodzenia do kolejnych etapów modelu czterostadiowego. Potencjał ruchotwórczy może być rozumiany jako zbiór wartości liczbowych (potencjał empiryczny) lub jako wzór, czyli model.

Można wyróżnić dwie metody wyznaczania empirycznych wartości potencjałów ruchotwórczych: bezpośrednie i pośrednie. W metodach bezpośrednich potencjał ruchotwórczych wyznaczany jest na podstawie wyników kompleksowych badań ruchu (ankiety w firmach wykorzystujących samochody ciężarowe), pomiarów ruchu (np. pomiary kordonowe na granicy określonego obszaru lub pomiary ruchu wjazdowego i wyjazdowego do i z określonego obiektu) lub danych statystycznych (np. masa ładunków nadanych lub przyjętych przez województwa).

Najczęściej stosowaną metodą pośrednią jest wyznaczenie potencjałów ruchotwórczych na podstawie więźby ruchu poprzez sumowanie wierszy i kolumn. Wyjściowa więźba ruchu obliczana jest na podstawie badań ankietowych (badania typu źródło-cel na kordonie obszaru lub w przekrojach wybranych dróg). Następnie więźba ruchu kalibrowana jest do pomierzonych przekrojowych natężeń ruchu i przez zsumowanie wierszy i kolumn obliczane są potencjały ruchotwórcze.

W ramach niniejszej dysertacji wykorzystane zostaną dwa źródła danych o potencjałach ruchotwórczych, opisane w kolejnych punktach:

- pozyskane na podstawie badań ankietowych w strefie podmiejskiej Krakowa w 2007 roku,
- wyznaczone w ramach KBR w Poznaniu i powiecie poznańskim.

Wyznaczone wartości empiryczne potencjałów odnoszą się tylko do obszaru, dla którego zostały obliczone i są obrazem stanu istniejącego. Ideą procesu modelowania jest poszukiwanie zależności pomiędzy wartościami empirycznymi a zmiennymi charakteryzującymi rejon, czyli dla potrzeb dysertacji odnoszonymi się do gminy. W ten sposób możliwe jest uzyskanie modelu ogólnego, który mógłby być zastosowany dla innych gmin.

## 5.2. Obliczenie empirycznych wartości potencjałów ruchotwórczych

### 5.2.1. Wyznaczenie potencjałów ruchotwórczych metodą bezpośrednią dla gmin strefy podmiejskiej Krakowa

Na podstawie uzyskanych ankiet (p. rozdz. 4.1.1), z wykorzystaniem współczynników rozszerzających próbę na populację, obliczono liczbęjazd rozpoczynanych i kończonych w poszczególnych gminach strefy podmiejskiej Krakowa w podziale na samochody ciężarowe o DMC poniżej 3,5 t (SD) oraz samochody ciężarowe o DMC powyżej 3,5 t (SC i SCP).

W badaniu w strefie podmiejskiej Krakowa metodą wywiadów bezpośrednich określono szczegółowo charakterystykę samochodów ciężarowych oraz opisano przebieg podróży pojazdów wylosowanych w badanych firmach. Po uzyskaniu danych z CEPiK (Centralna Ewidencja Pojazdów i Kierowców) dotyczących charakterystyk samochodów ciężarowych zarejestrowanych na badanym obszarze zastosowano wagę rozszerzającą uzyskane wyniki na populację (tab. 5.1).

Struktura ankiety oraz mała liczebność próby uniemożliwia wprowadzenie podziały na SC i SCP. Liczbę ankiet uzyskanych w poszczególnych gminach przedstawiono w tab. 4.2.

Jak widać w tab. 5.1 dla wielu gmin nie zarejestrowano jazd rozpoczynanych lub kończonych (znak „-” w komórce). Wątpliwym, wręcz niemożliwym, jest aby gmina nie generowała żadnego ruchu ciężarowego, co zostało potwierdzone pomiarami własnymi (por. p. 5.5.2). Braki w tab. 5.1 wynikają raczej z faktu, że badania ankietowe nie objęły przejazdów samochodów ciężarowych rozpoczynanych lub kończonych w danej gminie.

Uzyskane wyniki stawiają pod znakiem zapytania reprezentatywność badań ankietowych na poziomie przedsiębiorstw w transporcie ładunków. Często firmy dysponujące taborem ciężarowym są zarejestrowane w jednym mieście, podczas gdy posiadane przez nie pojazdy wykonują przejazdy w innym. W takim przypadku wykonanie ankiet nawet we wszystkich firmach w danym obszarze nie uwzględni wszystkich przejazdów. Niemniej badania w strefie podmiejskiej Krakowa są właściwie jedynymi badaniami ankietowymi w firmach wykorzystujących samochody ciężarowe wykonane w przeciągu ostatnich kilkunastu lat w Polsce na tak dużym obszarze (33 gminy) dlatego w dalszej części rozdziału podjęto próbę ich wykorzystania.

Ponadto uzyskane przez rozszerzenie próby liczby rozpoczynanych i kończonych jazd w gminach odniesione do liczby samochodów ciężarowych zarejestrowanych w analizowanym obszarze dają ruchliwości rzędu 0,5 – 0,6 [podróży/dobę], co można interpretować, że każdy samochód ciężarowy w strefie przez jeden dzień wykonuje jeden przejazd, kolejnego dnia natomiast nie wyjeżdża wcale. Tak niska ruchliwość jest skutkiem niezidentyfikowania jazd samochodów ciężarowych we wszystkich gminach. Jednocześnie uzyskane ruchliwości są znacznie mniejsze niż podane w tab. 4.1.

Stąd konieczne było zastosowanie innego podejścia do wyznaczenia potencjałów ruchotwórczych dla gmin strefy podmiejskiej Krakowa z wykorzystaniem wyników KBR oraz innych baz danych.

Tab. 5.1. Liczbajazd rozpoczętych i zakończonych w gminach strefy podmiejskiej Krakowa wynikająca z ankietowania po rozszerzeniu próby [89]

Lp.	Powiat	Gmina	Liczba jazd rozpoczętych w gminie w ciągu doby wynikająca z rozszerzenia próby		Liczba jazd zakończonych w gminie w ciągu doby wynikająca z rozszerzenia próby	
			samochody ciężarowe o DMC		samochody ciężarowe o DMC	
			≤ 3,5 t	> 3,5 t	≤ 3,5 t	> 3,5 t
1	bocheński	Drwinia	–	–	–	–
2	krakowski ziemski	Czernichów	20	–	20	–
3		Igołomia-Wawrzeńczyce	–	–	152	–
4		Iwanowice	–	–	–	–
5		Jerzmanowice-Przegonia	–	–	–	–
6		Kocmyrzów-Luborzyca	762	69	457	69
7		Krzeszowice	–	72	152	72
8		Liszki	–	–	–	–
9		Michałowice	232	152	232	152
10		Mogilany	486	–	305	–
11		Skąta	–	–	–	–
12		Skawina	1390	385	1390	543
13		Słomniki	610	–	610	–
14		Sułoszowa	–	–	–	–
15		Świątniki Górne	788	–	788	–
16		Wielka Wieś	152	45	152	23
17		Zabierzów	1474	198	1353	198
18		Zielonki	552	45	172	198
19		myślenicki	Dobczyce	71	45	71
20	Myślenice		1191	99	1298	99
21	Siepraw		304	–	304	–
22	Sułkowice		194	–	194	–
23	proszowicki	Koniusza	–	–	–	–
24		Koszyce	333	–	213	–
25		Nowe Brzesko	–	50	–	50
26		Pałacznica	152	–	152	–
27		Proszowice	831	307	476	329
28		Radziemice	–	50	–	50
29	wielicki	Biskupice	244	–	244	–
30		Gdów	821	140	821	140
31		Kłaj	119	158	119	158
32		Niepołomice	1700	326	1745	326
33		Wieliczka	4917	467	4917	314

Na podstawie dostępnych wskaźników motoryzacji samochodów ciężarowych na poziomie powiatów dla lat 2009 – 2011 (dla tych lat dostępne są dane w Banku Danych Lokalnych GUS) wykonano prognozę wsteczną jego wartości do roku 2007, przez ekstrapolację liniową wartości z lat 2009-2011. Przyjmując następnie strukturę taboru ciężarowego na podstawie danych GUS (tab. 5.2) obliczono liczbę samochodów ciężarowych o DMC poniżej i powyżej 3,5 t w poszczególnych gminach.

Tab. 5.2. Wskaźniki motoryzacji samochodów ciężarowych oraz struktura taboru ciężarowego dla roku 2007 (opracowanie własne)

Powiat	Wskaźnik motoryzacji [samochodów ciężarowych/1000 mieszkańców] $w_{MSC}$	Struktura rodzajowa zarejestrowanych samochodów ciężarowych [%]	
		Lekkie (o DMC poniżej 3,5 t) $u_{SCL}$	Ciężkie (o DMC powyżej 3,5 t) $u_{SCC}$
bocheński	41,0	78,5	21,5
krakowski	79,0	78,4	21,6
myślenicki	62,0	75,6	24,4
proszowicki	124,2	77,1	22,9
wielicki	62,6	77,4	22,6
<b>Województwo małopolskie</b>	<b>56,6</b>	<b>80,0</b>	<b>20,0</b>
<b>Polska</b>	<b>58,9</b>	<b>78,0</b>	<b>22,0</b>

W kolejnym kroku obliczono liczbę samochodów ciężarowych zarejestrowanych w gminach według wzorów 5.1 i 5.2:

$$L_{SCL} = w_{MSC} \cdot \frac{LM}{1000} \cdot u_{SCL}, \quad (5.1)$$

$$L_{SCC} = w_{MSC} \cdot \frac{LM}{1000} \cdot u_{SCC}, \quad (5.2)$$

gdzie:  $L_{SCL}$  – liczba lekkich samochodów ciężarowych zarejestrowanych w gminie,  $L_{SCC}$  – liczba ciężkich samochodów ciężarowych zarejestrowanych w gminie,  $w_{MSC}$  – wskaźnik motoryzacji [samochodów ciężarowych/1000 mieszkańców] dla powiatu, w którym znajduje się gmina,  $LM$  – liczba mieszkańców gminy,  $u_{SCL}$  – udział lekkich samochodów ciężarowych w ogóle samochodów ciężarowych dla powiatu, w którym znajduje się gmina,  $u_{SCC}$  – udział ciężkich samochodów ciężarowych w ogóle samochodów ciężarowych dla powiatu, w którym znajduje się gmina,

Następnie na podstawie wynikającej z badań ankietowych ruchliwości w przejazdach zewnętrznych w stosunku do gminy (tab. 4.1) obliczono potencjały ruchotwórcze dla lekkich i ciężkich samochodów ciężarowych (według wzorów 5.3 i 5.4), które zostały przedstawione w tab. 5.3.

$$P_{SCL} = A_{SCL} = L_{SCL} \cdot r_{SCL}, \quad (5.3)$$

$$P_{SCC} = A_{SCC} = L_{SCC} \cdot r_{SCC}, \quad (5.4)$$

gdzie:  $P_{SCL}$  – potencjał wytwarzający gminy wyrażony w liczbie rozpoczętych jazd lekkich samochodów ciężarowych [jazd/dobę],  $A_{SCL}$  – potencjał absorbujący gminy wyrażony w liczbie rozpoczętych jazd lekkich samochodów ciężarowych [jazd/dobę],  $P_{SCC}$  – potencjał wytwarzający gminy wyrażony w liczbie rozpoczętych jazd ciężkich samochodów ciężarowych [jazd/dobę],  $A_{SCC}$  – potencjał absorbujący gminy wyrażony w liczbie rozpoczętych jazd ciężkich samochodów ciężarowych [jazd/dobę],  $L_{SCL}$  – liczba lekkich samochodów ciężarowych zarejestrowanych w gminie,  $L_{SCC}$  – liczba ciężkich samochodów ciężarowych zarejestrowanych w gminie,  $r_{SCL}$  – ruchliwość lekkich samochodów ciężarowych w przejazdach zewnętrznych w stosunku do gminy [jazd/dobę] (tab. 4.1),  $r_{SCC}$  – ruchliwość ciężkich samochodów ciężarowych w przejazdach zewnętrznych w stosunku do gminy [jazd/dobę] (tab. 4.1).

Wykorzystanie liczby zarejestrowanych samochodów ciężarowych do obliczenia potencjałów ruchotwórczych może być obarczone błędem z uwagi na, wspomniane wcześniej, wykorzystywanie tych pojazdów w innym miejscu niż miejsce rejestracji. Z drugiej strony skonfrontowanie tych danych z informacją o faktycznym miejscu garażowania pojazdu uzyskaną np. z ankiety może dać podstawy do ich wykorzystania. Analizując wyniki ankiet dotyczących samochodów ciężarowych wykonanych w ramach KBR w strefie podmiejskiej Krakowa można wskazać co następuje:

- udział spisanych pojazdów, które są zarejestrowane w obszarze badania wynosi:
  - 83,7 % dla lekkich samochodów ciężarowych,
  - 93,8 % dla ciężkich samochodów ciężarowych,
- udział spisanych pojazdów, które garażują w tej samej gminie, w której znajduje się siedziba firmy będącej właścicielem pojazdu wynosi:
  - 80,4 % dla lekkich samochodów ciężarowych,
  - 90,6 % dla ciężkich samochodów ciężarowych,
- udział spisanych pojazdów, które garażują w innej gminie (ale nadal w strefie podmiejskiej Krakowa), niż ta w której znajduje się siedziba firmy będącej właścicielem pojazdu, wynosi:
  - 11,3 % dla lekkich samochodów ciężarowych,
  - 5,2 % dla ciężkich samochodów ciężarowych.

Z powyższego wynika, że zaledwie 8,3 % lekkich samochodów ciężarowych i 4,2 % dla ciężkich samochodów ciężarowych garażuje poza obszarem analizy, czyli strefą podmiejską Krakowa. Jednocześnie 16,3 % lekkich samochodów ciężarowych i 6,2 % ciężkich samochodów ciężarowych zarejestrowanych jest poza strefą podmiejską Krakowa.

Zatem większość ankiet objęła pojazdy zarejestrowane i garażujące w obszarze badania i nie uwzględnia pojazdów, które są zarejestrowane poza nim, ale odbywają przejazdy w obszarze badania. Ponadto wśród spisanych samochodów ciężarowych zarejestrowanych w strefie podmiejskiej Krakowa 6,0 % lekkich samochodów ciężarowych i 16,7 % ciężkich samochodów ciężarowych odbyło przejazdy poza strefą. Z drugiej strony pojazdy zarejestrowane poza strefą odbywają przejazdy wewnątrz strefy. Jest to ogólny problem (dotyczący również samochodów osobowych) wykorzystywania pojazdów w innym miejscu niż miejsce rejestracji. Niemniej wysoki udział pojazdów zarejestrowanych w obszarze badania oraz założenie, że przejazdy poza obszarem badania przez samochody ciężarowe zarejestrowane w obszarze są bilansowane przejazdami samochodów ciężarowych zarejestrowanych poza obszarem a odbywającymi przejazdy w obszarze podejście bazujące na liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych i ruchliwości można uznać za poprawne.

Uzyskane wartości potencjałów ruchotwórczych zestawiono w tab. 5.3. Obejmują one przejazdy zewnętrzne w stosunku do gminy, czyli takie, których źródło lub cel znajdują się poza gminą. Uzyskane wyraźne różnice pomiędzy wartościami w tab. 5.1 i 5.3 wynikają z zastosowania innego podejścia. W tab. 5.1 przedstawiono wyniki rozszerzenia wyników badań ankietowych na populację, co ujawniło braki w badaniach ankietowych, polegające na niezarejestrowaniu jazd rozpoczynanych w niektórych gminach. Przedstawione w tab. 5.3 wartości wynikają z założenia, że każda gmina generuje ruch samochodów ciężarowych i oparcia obliczeń o ruchliwości i liczbę zarejestrowanych samochodów ciężarowych, co zostało szczegółowo opisane w niniejszym podrozdziale.

Tab. 5.3. Potencjały wytwarzające i absorbujące dla gmin (ruch zewnętrzny w stosunku do gmin) strefy podmiejskiej Krakowa dla roku 2007 obliczone na podstawie równań 5.3 i 5.4 (opracowanie własne)

Lp.	Powiat	Gmina	Dobowy potencjał wytwarzający i absorbujący gminy dla samochodów ciężarowych o DMC	
			< 3,5 t	> 3,5 t
1	bocheński	Drwinia	391	131
2	krakowski ziemski	Czernichów	1530	517
3		Igołomia-Wawrzeńczyce	904	305
4		Iwanowice	994	336
5		Jerzmanowice-Przegonia	1247	421
6		Kocmyrzów-Luborzyca	1586	535
7		Krzeszowice	3744	1264
8		Liszki	1872	632
9		Michałowice	955	322
10		Mogilany	1363	460
11		Skała	1143	386
12		Skawina	4910	1657
13		Słomniki	1611	544
14		Sułoszowa	693	234
15		Świątniki Górne	1036	350
16		Wielka Wieś	1137	384
17		Zabierzów	2692	909
18		Zielonki	1921	648
19		myślenicki	Dobczyce	1271
20	Myślenice		3689	1459
21	Siepraw		705	279
22	Sułkowice		1248	493
23	proszowicki	Koniusza	1595	580
24		Koszyce	1026	373
25		Nowe Brzesko	1054	384
26		Pałacznica	685	249
27		Proszowice	2960	1077
28		Radziemice	626	228
29	wielicki	Biskupice	809	289
30		Gdów	1533	548
31		Kłaj	918	328
32		Niepołomice	2107	754
33		Wieliczka	4568	1634

Uzyskane w tab. 5.3 wartości dla gmin Czernichów i Michałowice porównano z wynikami pomiarów własnych wykonanych w roku 2010. Założono udział godziny szczytu: 11,2 % dla godziny szczytu porannego oraz 9,2 % dla godziny szczytu popołudniowego [89] w celu przeliczenia pomiarów godzinowych (pomiarów własnych) do okresu doby. Wyniki przedstawiono w tab. 5.4.

Tab. 5.4. Porównanie obliczonych wartości empirycznych potencjałów z wartościami uzyskanymi z pomiarów własnych (opracowanie własne)

Lp.	Powiat	Gmina	Dobowy potencjał wytwarzający i absorbujący gminy dla samochodów ciężarowych o DMC			
			≤ 3,5 t (lekkie)		> 3,5 t (ciężkie)	
			Obliczenia	Pomiar	Obliczenia	Pomiar
1	krakowski	Czernichów	1530	990	517	500
2.	krakowski	Michałowice	955	1520	322	790

W przypadku gminy Czernichów wartości uzyskane w pomiarów są niższe od wartości obliczonych. Dla gminy Michałowice sytuacja jest odwrotna. Pomimo, że gmina Michałowice ma mniej mieszkańców i podmiotów REGON niż gmina Czernichów wydaje się bardziej „uprzemysłowiona”. Również lokalizacja gminy blisko Krakowa i przy drodze krajowej (DK Nr 7) podnosi jej atrakcyjność do lokalizacji działalności gospodarczej, ale niekoniecznie jej rejestrowania w gminie. Może to częściowo wyjaśniać wyniki uzyskane w tab. 5.4. Uzyskane w tab. 5.4 wyniki mogą budzić wątpliwości. Wysokie błędy mogą wynikać ze zmienności ruchu ciężarowego, różnego udziału godziny szczytu dla różnych dróg (krajowych, wojewódzkich i powiatowych), podczas gdy w obliczeniach przyjęto ten sam udział godziny szczytu dla wszystkich typów dróg oraz błędów pomiarowych.

### 5.2.2. Wyznaczenie potencjałów ruchotwórczych metodą pośrednią dla gmin powiatu poznańskiego

W przypadku badań poznańskich [87] potencjały ruchotwórcze (tab. 5.5) zostały obliczone dla samochodów dostawczych (lekkie samochody ciężarowe) oraz łącznie dla samochodów ciężarowych z przyczepami oraz samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami (SC i SCP), czyli dla ciężkich samochodów ciężarowych na podstawie skalibrowanej więźby ruchu (por. rozdz. 3.2.5). Wyjściowa więźba ruchu została oszacowana na podstawie wyników badań ankietowych typu źródło-cel na wlotach drogowych do Poznania. Ankietowanie prowadzone było w 4 okresach trzygodzinnych a następnie rozszerzono wyniki ankiet do okresu doby na podstawie dobowych pomiarów ruchu. Wyjściowa więźba ruchu została skalibrowana do pomierzonych przekrojowych natężeń ruchu.

Pomimo obliczenia potencjałów, na podstawie więźby ruchu, nie został stworzony model potencjałów ruchotwórczych. W opracowaniu podano wartości potencjałów ruchotwórczych (wytwarzających i absorbujących ruch) dla gmin powiatu poznańskiego wyrażone w pojazdach i tonach ładunków.

W celu przyjęcia równości potencjału wytwarzającego i absorbującego w ciągu doby wykonano testy istotności dla dwóch wariancji i dwóch wartości średnich. Pierwszą próbę stanowił zbiór potencjałów wytwarzających gmin, drugą – absorbujących.

W teście istotności dla dwóch wariancji sprawdzono hipotezę  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  wobec hipotezy alternatywnej  $H_1: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$ , gdzie  $\sigma_1^2$  jest wariancją dla potencjału o większej wariancji w próbie, a  $\sigma_2^2$  – dla potencjału o mniejszej wariancji w próbie. Statystykę testu obliczono dla dwóch typów pojazdów (lekkie i ciężkie samochody ciężarowe) ze wzoru 4.4 Obliczone wartości statystyki testu porównano z wartością krytyczną z rozkładu F Snedecora dla poziomu istotności  $\alpha=0,05$  oraz  $n_1-1=16$  i  $n_2-1=16$  punktów swobody. Wartość krytyczna  $F_\alpha$  dla powyższych założeń wynosi 2,33. Dla lekkich samochodów ciężarowych uzyskano wartość statystyki testu  $F=1,01$ , natomiast dla ciężkich samochodów ciężarowych  $F=1,05$ . W obu przypadkach wartości statystyki F są mniejsze od wartości krytycznej  $F_\alpha$  stąd nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$  o równości wariancji pomiędzy potencjałami



wytwarzającymi i absorbującymi dla poszczególnych typów pojazdów dla gmin powiatu poznańskiego.

W teście istotności dla dwóch średnich sprawdzono hipotezę  $H_0: m_1=m_2$  wobec hipotezy alternatywnej  $H_1: m_1 \neq m_2$ . Z uwagi na małe próby ( $n_1=17, n_2=17$ ) statystykę testu obliczono ze wzoru 4.6. Obliczone wartości statystyki testu porównano z wartością krytyczną z rozkładu t Studenta dla poziomu istotności  $\alpha=0,05$ , dwustronnego obszaru krytycznego oraz  $n_1+n_2-2=32$  punktów swobody. Wartość krytyczna  $t_\alpha$  dla powyższych założeń wynosi 2,04. Dla lekkich samochodów ciężarowych uzyskano wartość statystyki testu  $t=0,07$  natomiast dla ciężkich samochodów ciężarowych  $t=0,31$ . W obu przypadkach wartości statystyki t są mniejsze od wartości krytycznej  $t_\alpha$  stąd nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$  o równości średnich pomiędzy potencjałami wytwarzającymi i absorbującymi dla poszczególnych typów pojazdów dla gmin powiatu poznańskiego.

Na podstawie wyników powyższych obliczeń przyjęto uśrednione wartości potencjałów ruchotwórczych (wywarzających i absorbujących) i ich równość w ciągu doby (tab. 5.5).

Tab. 5.5. Potencjały ruchotwórcze podpoznańskich gmin (ruch zewnętrzny w stosunku do gmin) uzyskane w ramach KBR (opracowanie własne na podstawie [87])

Lp.	Gmina	Dobowy potencjał wytwarzający lub absorbujący gminy dla samochodów ciężarowych o DMC	
		$\leq 3,5$ t	$> 3,5$ t
1	Luboń	1646	759
2	Puszczykowo	305	144
3	Czerwonak	1138	1368
4	Dopiewo	1129	575
5	Kleszczewo	493	224
6	Komorniki	1039	540
7	Rokietnica	857	507
8	Suchy Las	1243	943
9	Tarnowo Podgórne	3717	3193
10	Buk	2729	1368
11	Kostrzyn	1565	1219
12	Kórnik	1859	1437
13	Mosina	2329	1196
14	Murowana Goślina	1094	506
15	Pobiedziska	1203	394
16	Stęszew	1681	1223
17	Swarzędz	3233	5149

### 5.3. Założenia do tworzenia modeli potencjałów ruchotwórczych

#### 5.3.1. Zbiór danych dla zmiennej objaśnianej

W procesie modelowania wykorzystano empiryczne wartości potencjałów ruchotwórczych pochodzące z dwóch źródeł: KBR w strefie podmiejskiej Krakowa (liczebność próby  $n=33$  gminy) oraz w powiecie poznańskim (liczebność próby  $n=17$  gmin).

W pierwszej kolejności dla obu prób wykonano test istotności dla dwóch wariancji, w którym sprawdzono czy wariancje potencjałów ruchotwórczych w gminach podkrakowskich i podpoznańskich są sobie równe, tj. hipotezę  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  wobec hipotezy alternatywnej  $H_1: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$ , gdzie  $\sigma_1^2$  jest wariancją dla potencjału o większej wariancji w próbie, a  $\sigma_2^2$  – dla potencjału o mniejszej wariancji w próbie. Obliczone według wzoru 4.4 statystyki testu F wynoszą odpowiednio: 1,49 dla lekkich i 9,45 dla ciężkich samochodów

ciężarowych. Dla lekkich samochodów ciężarowych większą wariancję w próbie uzyskano dla potencjałów ruchotwórczych gmin w strefie podmiejskiej Krakowa, natomiast dla ciężkich samochodów ciężarowych – dla potencjałów ruchotwórczych gmin powiatu poznańskiego.

Wartość krytyczna testu  $F_\alpha$  odczytana z rozkładu F Snedecora dla poziomu istotności  $\alpha=0,05$  oraz  $n_1-1=32$  i  $n_2-1=16$  punktów swobody (lekkie samochody ciężarowe) i  $n_1-1=16$  i  $n_2-1=32$  punktów swobody (ciężkie samochody ciężarowe) wynosi odpowiednio: 1,97 i 2,18. Porównując wartości statystyk F z wartościami krytycznymi  $F_\alpha$  można stwierdzić, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$  w przypadku lekkich samochodów ciężarowych, natomiast są podstawy do odrzucenia hipotezy  $H_0$  dla ciężkich samochodów ciężarowych.

Następnie dla lekkich samochodów ciężarowych wykonano test istotności dla dwóch średnich, w którym sprawdzono hipotezę  $H_0: m_1=m_2$  wobec hipotezy alternatywnej  $H_1: m_1 \neq m_2$ . Z uwagi na małe próby ( $n_1=17$ ,  $n_2=33$ ) statystykę testu obliczono ze wzoru 4.6. Obliczoną wartość statystyki testu porównano z wartością krytyczną z rozkładu t Studenta dla poziomu istotności  $\alpha=0,05$ , dwustronnego obszaru krytycznego oraz  $n_1+n_2-2=48$  punktów swobody. Wartość krytyczna  $t_\alpha$  dla powyższych założeń wynosi 2,01. Dla lekkich samochodów ciężarowych uzyskano wartość statystyki testu  $t=0,15$ . Wartość statystyki t jest mniejsza od wartości krytycznej  $t_\alpha$  stąd nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$  o równości średnich pomiędzy potencjałami wytwarzającymi i absorbującymi dla lekkich samochodów ciężarowych.

W przypadku ciężkich samochodów ciężarowych z uwagi na różność wariancji w próbach dla strefy podmiejskiej Krakowa i powiatu poznańskiego nie ma podstaw do zastosowania testu istotności dla dwóch średnich. Dlatego też zdecydowano się na wykonanie testu serii. Jest to test nieparametryczny, w którym sprawdzono hipotezę, że rozkłady dwóch populacji nie różnią się, czyli  $H_0$ : dwie próby pochodzą z jednej populacji.

W teście serii wyniki obu prób ustawiono w jeden ciąg według rosnących wartości, oznaczając elementy próby z jednej populacji literą „a”, a z drugiej „b”. Następnie odczytano z tego ciągu liczbę serii k, tzn. liczbę nieprzerwanych ciągów liter „a” i „b”. Dla analizowanych prób liczba serii k wynosi 20. Wartość krytyczna  $k_\alpha$  odczytana z tablic dla poziomu istotności  $\alpha=0,05$  oraz  $n_1=33$  i  $n_2=17$  stopni swobody wynosi 19. Wartość statystyki k jest większa od wartości krytycznej  $k_\alpha$  zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$ .

Na podstawie wyników powyższych obliczeń połączono obie próby: dla strefy podmiejskiej Krakowa i powiatu poznańskiego. Uzyskano próbę o wielkości  $n=50$  gmin, zlokalizowanych w dwóch województwach, o różnej wielkości i charakterze (miejsko-wiejskie i wiejskie).

Wśród wszystkich gmin w Polsce można wprowadzić klasyfikację na:

- gminy miejskie (G1), liczebność  $n=306$
- gminy miejsko-wiejskie (G2), liczebność  $n=587$ ,
- gminy wiejskie (G3), liczebność  $n=1586$ .

W analizowanej próbie gmin powiatu poznańskiego i strefy podmiejskiej Krakowa występowały gminy miejsko-wiejskie (G2) o liczebności  $n=21$  i wiejskie (G3) o liczebności  $n=29$ . W analizowanej próbie nie występowały gminy miejskie (G1).

Dla dwóch typów gmin (G2 i G3) i dwóch typów samochodów ciężarowych (lekkie i ciężkie) wykonano test dla dwóch wariancji. Sprawdzono hipotezę o równości wariancji potencjału ruchotwórczego dla dwóch typów gmin  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  wobec hipotezy alternatywnej  $H_1: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$ , gdzie  $\sigma_1^2$  jest wariancją dla potencjału o większej wariancji w próbie, a  $\sigma_2^2$  – dla potencjału o mniejszej wariancji w próbie. Obliczone według wzoru 4.4 statystyki testu F wynoszą: 3,40 dla lekkich samochodów ciężarowych i 3,39 dla ciężkich samochodów ciężarowych. Krytyczna testu  $F_\alpha$  odczytana z rozkładu F Snedecora dla poziomu istotności  $\alpha=0,05$  oraz  $n_1-1=20$  i  $n_2-1=28$  wynosi 1,96. Ponieważ wartości statystyk F są

większe niż wartość krytyczna  $F_\alpha$  są podstawy do odrzucenia hipotezy  $H_0$ . Z uwagi na statystycznie istotne różnice pomiędzy wariancjami potencjałów ruchotwórczych dla gmin miejsko-wiejskich (G2) i wiejskich (G3) w dalszej części pracy wybrane analizy są prowadzone w podziale na gminy.

### 5.3.2. Wybór zmiennych objaśniających

Wybór zmiennych objaśniających modelu jest często podyktowany ich dostępnością. Dostępność może zależeć od poziomu agregacji. O ile dla województw dostępnych jest wiele wartości zmiennych o tyle dla powiatów bądź gmin niektóre mogą być nieosiągalne lub zagregowane (np. liczba podmiotów wpisanych do rejestru REGON w podziale na sekcje jest dostępna dla województw, ale już dla powiatów i gmin możliwe jest wyodrębnienie tylko podziału na rolnictwo, przemysł i usługi). Możliwa jest oczywiście dezagregacja z poziomu województwa bądź powiatu do gminy, jednak zawsze należy przyjąć jakąś zmienną, na podstawie której inna zmienna będzie dezagregowana. W ten sposób uzyskujemy dwie zmienne silnie ze sobą skorelowane, których uwzględnienie w modelu nie ma uzasadnienia. Stąd w modelowaniu potencjałów ruchotwórczych wykorzystano zmienne, które są ogólnie dostępne w bazach danych GUS, na poziomie gminy i nie potrzebna jest zgoda na ich wykorzystanie.

W dalszej części dysertacji wykorzystywane będą następujące zmienne objaśniające, odnoszące się do analizowanego obszaru (województwo, powiat lub gmina):

- LM – liczba mieszkańców ( $X_1$ ),
- REG – liczba podmiotów wpisanych do rejestru REGON ogółem ( $X_2$ ),
- REGR – liczba podmiotów wpisanych do rejestru REGON w sektorze rolniczym ( $X_3$ ),
- REGP – liczba podmiotów wpisanych do rejestru REGON w sektorze przemysłowym ( $X_4$ ),
- REGU – liczba podmiotów wpisanych do rejestru REGON w sektorze usługowym ( $X_5$ ),
- REGT – liczba podmiotów wpisanych do rejestru REGON w sekcji transport ( $X_6$ ),
- LP – liczba miejsc pracy ogółem ( $X_7$ ),
- LPR – liczba miejsc pracy w sektorze rolniczym ( $X_8$ ),
- LPP – liczba miejsc pracy w sektorze przemysłowym ( $X_9$ ),
- LPU – liczba miejsc pracy w sektorze usług (nierynkowe i rynkowe) ( $X_{10}$ ),
- ODL – odległość centrum gminy od stolicy województwa ( $X_{11}$ ).

Podział na sektory gospodarki (rolnictwo, przemysł, usługi) przedstawiono w tab. 1.4.

Wybór zmiennych objaśniających spośród powyższego zestawu, które zostały użyte do budowy modelu został oparty o analizę korelacji pomiędzy wyżej wymienionymi zmiennymi objaśniającymi. W poniższych tabelach przedstawiono macierze korelacji dla gmin w strefie podmiejskiej Krakowa (tab. 5.6) oraz powiecie poznańskim (tab. 5.7).

W tabelach przedstawiono współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy zmiennymi objaśniającymi dla dwóch analizowanych obszarów wyznaczone według wzoru:

$$R = \frac{cov(x,y)}{s_x \cdot s_y} \quad (5.5)$$

gdzie: R – współczynnik korelacji liniowej Pearsona,  
cov(x,y) – kowariancja zmiennych x i y,  
 $s_x, s_y$  – odchylenia standardowe zmiennych x i y.

W tab. 5.6 i tab. 5.7 użyto następującą skalę dla współczynników korelacji oraz odpowiadające jej oznaczenia:

- $R \geq 0,9$  – korelacja bardzo silna (czcionka wytłuszczona w kolorze czerwonym),
- $0,8 \leq R < 0,9$  – korelacja silna (czcionka wytłuszczona w kolorze czarnym),
- $R < 0,8$  – korelacja słaba (zwykła czcionka).

W literaturze można spotkać inne skale (np. Stanisza [149] lub Guillforda [126]) jednak są to skale umowne. Niemniej w obu wspomnianych przykładach skal przyjmuje się, że przy wartości  $R \geq 0,9$  korelacja jest bardzo silna, niemal pewna.

Wiele zmiennych charakteryzujących gminy w strefie podmiejskiej Krakowa jest silnie ze sobą skorelowanych. Obliczone dla 33 gmin współczynniki korelacji przedstawiono w tab. 5.6. Zmiennymi nieskorelowanymi z innymi są liczba pracujących w rolnictwie (LPR) oraz odległość od Krakowa (ODL). W przypadku odległości od Krakowa znak współczynnika korelacji jest ujemny stąd można wnioskować, że im dalej od Krakowa tym mniej mieszkańców, firm bądź pracujących. Słabo skorelowana z innymi zmiennymi jest liczba podmiotów REGON w rolnictwie. Również pomiędzy liczbą pracujących w rolnictwie (LPR), w przemyśle (LPP) i usługach (LPU) korelacja nie jest silna. Pozostałe zmienne są ze sobą silnie skorelowane.

Tab. 5.6. Macierz współczynników korelacji liniowej Pearsona pomiędzy zmiennymi objaśniającymi gmin strefy podmiejskiej Krakowa dla roku 2007 (opracowanie własne)

	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	ODL
LM	<b>0,99</b>	0,79	<b>0,96</b>	<b>0,99</b>	<b>0,96</b>	<b>0,93</b>	0,35	<b>0,80</b>	<b>0,95</b>	-0,35
REG		0,78	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>	<b>0,96</b>	<b>0,92</b>	0,30	0,79	<b>0,95</b>	-0,38
REGR			0,71	0,79	<b>0,81</b>	0,78	0,40	0,68	0,78	-0,26
REGP				<b>0,96</b>	0,89	<b>0,91</b>	0,26	0,79	<b>0,92</b>	-0,38
REGU					<b>0,97</b>	<b>0,91</b>	0,31	0,78	<b>0,95</b>	-0,38
REGT						<b>0,85</b>	0,35	0,73	<b>0,88</b>	-0,40
LP							0,33	<b>0,95</b>	<b>0,94</b>	-0,23
LPR								0,27	0,31	-0,12
LPP									0,78	-0,21
LPU										-0,23

Wśród ciekawych zależności pomiędzy zmiennymi objaśniającymi dla gmin strefy podmiejskiej Krakowa można wyróżnić następujące:

- pracujący w usługach (LPU) stanowią średnio 50 % podczas gdy pracujący w przemyśle (LPP) stanowią średnio 47 % pracujących ogółem (LP); pozostałe 3 % to pracujący w rolnictwie (LPR),
- pracujący w usługach (LPU) dzielą się średnio po połowie na pracujących w usługach rynkowych i nierynkowych,
- pracujący w usługach (LPU) stanowią średnio 1,11 liczby podmiotów wpisanych do rejestru REGON w sektorze usług (REGU), co oznacza, że jeden podmiot w sektorze usług zatrudnia średnio 1,11 osoby,
- liczba wszystkich podmiotów wpisanych do rejestru REGON (REG) stanowi średnio 9 % liczby mieszkańców (LM).

Macierz korelacji dla zmiennych objaśniających gmin powiatu poznańskiego przedstawiono w tab. 5.7. Zostały one obliczone dla 17 gmin powiatu. W stosunku do poprzedniej macierzy współczynników korelacji zauważalne jest kilka różnic. Dla liczby podmiotów REGON w rolnictwie i liczby pracujących w rolnictwie (LPR) występuje ujemna korelacja z odległością od Poznania (ODL). Liczba pracujących w usługach (LPU) oraz liczba pracujących ogółem (LP) jest słabiej skorelowana z pozostałymi zmiennymi niż w przypadku gmin strefy podmiejskiej Krakowa. Natomiast korelacja między zmiennymi: liczba

pracujących w rolnictwie (LPR), w przemyśle (LPP) i usługach (LPU) jest podobna jak w strefie podmiejskiej Krakowa.

Tab. 5.7. Macierz współczynników korelacji liniowej Pearsona pomiędzy zmiennymi objaśniającymi gmin powiatu poznańskiego dla roku 2000 (opracowanie własne)

	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	ODL
LM	<b>0,95</b>	0,55	<b>0,95</b>	<b>0,93</b>	<b>0,95</b>	0,70	0,29	0,66	0,66	-0,41
REG		0,49	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>	<b>0,96</b>	0,79	0,12	0,74	0,78	-0,50
REGR			0,49	0,46	0,49	0,56	0,52	0,51	0,54	0,07
REGP				<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	0,73	0,17	0,68	0,72	-0,48
REGU					<b>0,96</b>	<b>0,81</b>	0,08	0,76	<b>0,80</b>	-0,52
REGT						0,75	0,07	0,72	0,71	-0,49
LP							0,15	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	-0,38
LPR								0,16	0,06	0,26
LPP									<b>0,83</b>	-0,45
LPU										-0,28

Również dla gmin powiatu poznańskiego można pokazać ciekawe zależności pomiędzy zmiennymi objaśniającymi:

- pracujący w usługach (LPU) stanowią średnio 45 % podczas gdy pracujący w przemyśle (LPP) stanowią średnio 52 % pracujących ogółem (LP); pozostałe 3 % to pracujący w rolnictwie (LPR),
- pracujący w usługach (LPU) dzielą się przeciętnie według proporcji: 70 % w usługach rynkowych i 30 % w usługach nierynkowych,
- pracujący w usługach (LPU) stanowią średnio 1,34 liczby podmiotów wpisanych do rejestru REGON w sektorze usług (REGU), co oznacza, że jeden podmiot w sektorze usług zatrudnia średnio 1,34 osoby,
- liczba wszystkich podmiotów wpisanych do rejestru REGON (REG) stanowi średnio 11 % liczby mieszkańców (LM); jest to wartość o 2 p.p. większa niż w strefie podmiejskiej Krakowa, co może świadczyć o większej aktywności gospodarczej mieszkańców w powiecie poznańskim.

Przedstawione w powyższych tabelach zmienne są łatwo dostępne i dobrze opisują obszar do którego będzie odnosił się model potencjałów ruchotwórczych, czyli gminę. Wydaje się, że przydatnymi zmiennymi będą liczba mieszkańców (LM) i liczba pracujących w podziale na sektory, czyli LPR, LPP i LPU. Wątpliwymi zmiennymi mogą być liczby podmiotów wpisanych do rejestru REGON (REG, REGR, REGP, REGU oraz REGT) z uwagi na często różne miejsce zarejestrowania i działania przedsiębiorstwa. Jednocześnie dużo przedsiębiorstw to jednoosobowe podmioty. Z drugiej strony silna korelacja z liczbą mieszkańców może dodatkowo uzasadniać rezygnację z tych zmiennych na rzecz właśnie LM. Tylko zmienne REGR i LPR nie są skorelowane z liczbą mieszkańców. Zaskakuje również silna korelacja pomiędzy liczbą podmiotów wpisanych do rejestru REGON w poszczególnych sektorach.

Z uwagi na możliwość połączenia obu prób dokonano analizy korelacji pomiędzy zmiennymi dla obu obszarów (strefy podmiejskiej Krakowa i powiatu poznańskiego) łącznie. Uzyskane współczynniki korelacji Pearsona przedstawiono w tab. 5.8.

Tab. 5.8. Macierz współczynników korelacji liniowej Pearsona pomiędzy zmiennymi objaśniającymi dla zbioru gmin strefy podmiejskiej Krakowa i powiatu poznańskiego (opracowanie własne)

	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	ODL
LM	<b>0,96</b>	0,57	<b>0,89</b>	<b>0,97</b>	<b>0,92</b>	<b>0,83</b>	0,25	0,73	<b>0,86</b>	-0,35
REG		0,63	<b>0,96</b>	<b>0,99</b>	<b>0,96</b>	<b>0,88</b>	0,29	0,78	<b>0,91</b>	-0,44
REGR			0,65	0,60	0,66	0,69	0,66	0,65	0,65	-0,28
REGP				<b>0,93</b>	<b>0,92</b>	<b>0,85</b>	0,36	0,77	<b>0,85</b>	-0,45
REGU					<b>0,95</b>	<b>0,87</b>	0,24	0,77	<b>0,91</b>	-0,42
REGT						<b>0,83</b>	0,32	0,74	<b>0,84</b>	-0,45
LP							0,38	<b>0,96</b>	<b>0,94</b>	-0,34
LPR								0,37	0,30	-0,19
LPP									<b>0,82</b>	-0,33
LPU										-0,31

Ponadto, z uwagi na badane w dalszej części pracy nieliniowe zależności pomiędzy zmiennymi objaśniającymi a zmienną objaśnianą, zbadano związek pomiędzy zmiennymi objaśniającymi z wykorzystaniem współczynnika korelacji rang Spearmana. W odróżnieniu od współczynnika korelacji Pearsona współczynnik Spearmana ujawnia również nieliniowe zależności pomiędzy zmiennymi. W analizowanym przypadku można zauważyć, że współczynniki korelacji Spearmana są przeciętnie o kilkanaście procent większe niż współczynniki korelacji Pearsona.

Tab. 5.9. Macierz współczynników korelacji rang Spearmana pomiędzy zmiennymi objaśniającymi dla zbioru gmin strefy podmiejskiej Krakowa i powiatu poznańskiego (opracowanie własne)

	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	ODL
LM	<b>0,94</b>	0,74	<b>0,85</b>	<b>0,94</b>	<b>0,90</b>	<b>0,85</b>	0,40	0,77	<b>0,87</b>	-0,41
REG		0,77	<b>0,94</b>	<b>0,99</b>	<b>0,89</b>	<b>0,92</b>	0,48	<b>0,86</b>	<b>0,92</b>	-0,52
REGR			0,71	0,77	<b>0,80</b>	0,79	0,68	0,73	0,75	-0,27
REGP				<b>0,89</b>	0,78	<b>0,90</b>	0,49	<b>0,87</b>	<b>0,86</b>	-0,53
REGU					<b>0,91</b>	<b>0,91</b>	0,45	<b>0,84</b>	<b>0,93</b>	-0,51
REGT						<b>0,84</b>	0,47	0,78	<b>0,84</b>	-0,46
LP							0,58	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	-0,47
LPR								0,57	0,48	-0,25
LPP									<b>0,86</b>	-0,45
LPU										-0,44

Podsumowując można sformułować następujące wnioski dotyczące korelacji między zmiennymi:

- silne i bardzo silne korelacje zachodzą pomiędzy liczbą podmiotów REGON w poszczególnych sekcjach oraz liczbą podmiotów REGON ogółem; wyjątkiem jest liczba podmiotów REGON w rolnictwie (REGR),
- słaba korelacja występuje pomiędzy liczbą podmiotów REGON w przemyśle (REGP) i transporcie (REGT),
- liczba pracujących w przemyśle (LPP) i usługach (LPU) są silnie skorelowane z liczbą pracujących ogółem (LP) oraz między sobą,
- liczba pracujących w rolnictwie (LPR) i liczba podmiotów REGON w rolnictwie (REGR) są najslabiej skorelowanymi zmiennymi z pozostałymi,
- liczba mieszkańców, oprócz liczba pracujących w rolnictwie (LPR) i liczba podmiotów REGON w rolnictwie (REGR), jest słabo skorelowana jedynie z liczbą pracujących w przemyśle (LPP),

- liczba pracujących w usługach (LPU) jest silnie lub bardzo silnie skorelowana ze wszystkimi zmiennymi poza liczbą pracujących w rolnictwie (LPR) i liczbą podmiotów REGON w rolnictwie (REGR).

W tab. 5.10 przedstawiono współczynniki korelacji pomiędzy potencjałami ruchotwórczymi i zmiennymi objaśniającymi dla zbioru gmin powiatu poznańskiego i strefy podmiejskiej Krakowa. Zauważalna jest słaba korelacja pomiędzy odległością (ODL) i liczbą pracujących w rolnictwie (LPR) a potencjałem ruchotwórczym

Tab. 5.10. Macierz współczynników korelacji rang Spearmana pomiędzy potencjałami ruchotwórczymi a zmiennymi objaśnianymi dla zbioru gmin strefy podmiejskiej Krakowa i powiatu poznańskiego (opracowanie własne)

Zmienna objaśniana	Zmienne objaśniające										
Potencjał ruchotwórczy	LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	ODL
lekkie samochody ciężarowe	<b>0,86</b>	0,78	0,69	0,64	<b>0,81</b>	0,79	0,73	0,32	0,64	0,76	-0,26
ciężkie samochody ciężarowe	<b>0,84</b>	<b>0,81</b>	<b>0,83</b>	0,72	<b>0,82</b>	<b>0,82</b>	<b>0,84</b>	0,52	0,77	<b>0,81</b>	-0,35

Tak silne korelacje między zmiennymi utrudniają wybór zmiennych, które byłyby niezależne. Wszystkie zaprezentowane zmienne zostaną wykorzystane w przypadku modeli jednej zmiennej lub uwzględniających dodatkowo odległość od centrum obszaru metropolitalnego.

### 5.3.3. Przyjęte metody obliczeniowe

#### *Wskaźniki generacji ruchu*

Wskaźnik generacji ruchu będzie określał liczbę podróży przypadającą na jednostkę czynnika wpływu: 1 pracującego, 1 mieszkańca lub 1 podmiot gospodarczy. Wskaźnik generacji ruchu można interpretować jako współczynnik regresji liniowej pojedynczej, przy założeniu że stała jest równa 0. Dlatego też przy obliczaniu wskaźników generacji ruchu wykorzystano prostą regresję liniową ze stałą równą 0, w postaci:

$$Y = a \cdot X, \quad (5.6)$$

gdzie: Y – zmienna objaśniana (potencjał ruchotwórczy), X – zmienna objaśniająca (parametr charakteryzujący dany obszar), a – współczynnik modelu regresji (wskaźnik generacji ruchu).

Zaletą stosowania wskaźników generacji ruchu jest ich łatwość oszacowania. Z drugiej jednak strony wadą jest fakt nieuwzględnienia specyfiki danego obszaru. Przykładowo jeśli w danej gminie nie ma pracujących w przemyśle (LPP), a do obliczenia potencjału ruchotwórczego wykorzystamy wskaźnik wyrażony w liczbiejazd na 1 zatrudnionego w przemyśle, uzyskamy zerowy potencjał, co jest mało prawdopodobne. Jednak biorąc pod uwagę liczbę pracujących ogółem, liczbę mieszkańców bądź liczbę podmiotów gospodarczych ta niedogodność może zostać zniwelowana.

Wskaźniki generacji ruchu znajdują szerokie zastosowanie w modelach obiektowych, gdzie dysponujemy ograniczoną liczbą zmiennych objaśniających (zwykle liczba pracujących, powierzchnia użytkowa lub powierzchnia zabudowy).

### ***Regresja liniowa prosta i wieloraka***

Założono równanie regresji wielorakiej w postaci:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \dots + a_n \cdot X_n, \quad (5.7)$$

gdzie:  $Y$  – zmienna objaśniana (potencjał ruchotwórczy),  $X_i$  – zmienne objaśniające (parametry charakteryzujące dany obszar),  $a_i$  – współczynniki modelu.

Z uwagi na statystycznie nieistotny wpływ niektórych zmiennych objaśniających oraz zależności pomiędzy zmiennymi na potencjał ruchotwórczy niekiedy regresja wieloraka sprowadza się do postaci prostej regresji liniowej:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1, \quad (5.8)$$

gdzie:  $Y$  – zmienna objaśniana (potencjał ruchotwórczy),  $X$  – zmienna objaśniająca (parametr charakteryzujący dany obszar),  $a, b$  – współczynniki modelu.

Oceny jakości modelu potencjałów ruchotwórczych dokonano na podstawie wartości współczynnika determinacji ( $R^2$ ), skorygowanego współczynnika determinacji ( $R_s^2$ ) oraz błędu średniokwadratowego regresji (RMSE). Skorygowany współczynnik determinacji ( $R_s^2$ ) koryguje wpływ różnej liczby zmiennych w modelu nakładając „karę” za każdą dodatkową zmienną. Jest on szczególnie użyteczny przy porównywaniu modeli o różnej liczbie zmiennych objaśniających.

### ***Regresja nieliniowa***

Podjęto również próbę opisu potencjału ruchotwórczego funkcjami nieliniowymi. Rozważano różne postacie funkcji nieliniowych z różnymi zmiennymi objaśniającymi. W analizie regresji nieliniowej rozważano również wpływ odległości od centrum aglomeracji (stolica województwa) na wielkość potencjału ruchotwórczego. W analizie regresji nieliniowej zastosowano estymację metodą najmniejszych kwadratów. W analizach regresji liniowej i nieliniowej wykorzystano program Statgraphics Centurion XV [150].

### ***Sztuczne sieci neuronowe***

Zaletą sieci neuronowych jest możliwość ujawnienia nieznanych zależności pomiędzy zmiennymi objaśniającymi i zmienną objaśnianą. Również w przypadku silnie skorelowanych zmiennych objaśniających SSN mogą dać lepsze wyniki niż regresja wieloraka.

Analizowane były sztuczne sieci neuronowe: perceptron wielowarstwowy (MLP, Multi-Layer Perceptron), o radialnych funkcjach bazowych (RBF, Radial Basis Function) i regresji uogólnionej (GRNN, General Regression Neural Network) o różnej strukturze. W ocenie wyników uzyskanych za pomocą SSN posłużono się ilorazem błędu oraz korelacją między zmiennymi przewidywanymi i obserwowanymi. Oceny wpływu poszczególnych zmiennych objaśnianych na zmienną objaśnianą dokonano za pomocą analizy wrażliwości.

W analizach SSN wykorzystano program Statistica 8 [151].



## 5.4. Budowa obszarowego modelu potencjałów ruchotwórczych dla gminy

### 5.4.1. Wskaźniki generacji ruchu

Wskaźniki generacji ruchu wyrażają liczbęjazd samochodów ciężarowych w odniesieniu do jednostki danej zmiennej objaśniającej. Wyniki dla wszystkich gmin zamieszczono w tab. 5.11. Przykładowo, jeden mieszkaniec gminy generuje 0,102 przejazdu lekkiego samochodu ciężarowego i 0,042 przejazdu ciężkiego samochodu ciężarowego.

Tab. 5.11. Wskaźniki generacji ruchu estymowane dla gmin w strefie podmiejskiej Krakowa oraz powiecie poznańskim [jazd/dobę/jednostkę zmiennej objaśniającej], n=50 (opracowanie własne)

Zmienna objaśniająca	Lekkie samochody ciężarowe	R <sup>2</sup> *	RMSE**	Ciężkie samochody ciężarowe	R <sup>2</sup> *	RMSE**
LM (X <sub>1</sub> )	0,102	0,94	459	0,042	0,88	277
REG (X <sub>2</sub> )	1,03	0,88	688	0,442	0,85	311
REGR (X <sub>3</sub> )	39,1	0,85	669	18,7	0,86	290
REGP (X <sub>4</sub> )	3,73	0,84	776	1,54	0,83	324
REGU (X <sub>5</sub> )	1,51	0,89	656	0,63	0,83	328
REGT (X <sub>6</sub> )	12,4	0,87	716	5,35	0,85	305
LP (X <sub>7</sub> )	0,490	0,82	829	0,228	0,83	326
LPR (X <sub>8</sub> )	11,2	0,53	1200	5,38	0,52	545
LPP (X <sub>9</sub> )	0,863	0,70	1078	0,395	0,70	430
LPU (X <sub>10</sub> )	1,04	0,87	722	0,469	0,83	326

\* współczynnik determinacji (R<sup>2</sup>)

\*\* błąd średniokwadratowy regresji (RMSE)

Dla obu typów pojazdów najwyższe wartości R<sup>2</sup> i jednocześnie najniższe wartości średnich błędów oszacowania uzyskano dla zmiennej liczba mieszkańców (LM). Dziwi dobre dopasowanie modelu dla liczby podmiotów gospodarczych w sektorze rolnictwo (REGR) i jednocześnie niskie współczynniki determinacji dla liczby pracujących w przemyśle (LPP). Najgorzej opisującą potencjał zmienną jest liczba pracujących w rolnictwie (LPR).

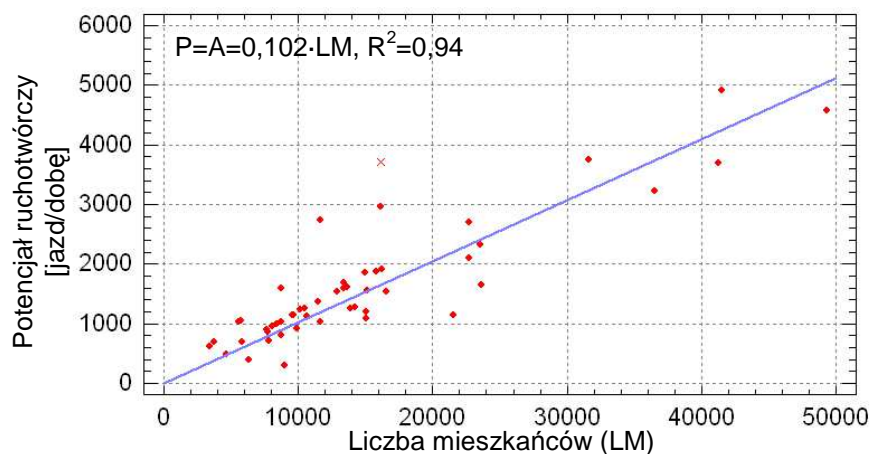
Niedogodnością wskaźników generacji ruchu jest uwzględnienie tylko jednego czynnika wpływu. Może zdarzyć się sytuacja, że w gminie jest dużo mieszkańców a mało miejsc pracy i model wykaże duży potencjał, który nie koniecznie musi mieć miejsce. Niemniej z zaprezentowanych zmiennych największą wiarygodność zapewnia liczba mieszkańców (LM). Dla tej zmiennej przeprowadzono dodatkowe obliczenia w podziale na typy gmin (tab. 5.12).

Na rys. 5.1 zauważyć jeden punkt dla którego obserwowana wartość potencjału ruchotwórczego znacznie odbiega od linii regresji (tzn. standaryzowana reszta dla tej obserwacji jest większa od 3) oznaczony czerwonym symbolem „x”. Jest to punkt odpowiadający gminie Tarnowo Podgórne w powiecie poznańskim i świadczy o odmienności tej gminy.

Gmina Tarnowo Podgórne zlokalizowana jest przy drodze krajowej nr 92 (którą do niedawna przebiegał duży ruch tranzytowy w kierunku zachodnim), w odległości ok. 20 km od centrum Poznania i ok. 20 km od wjazdu na autostradę A2 (w roku 2010 autostrada A2 kończyła się w Nowym Tomysłu). Tarnowo Podgórne jest gminą, w której zlokalizowanych jest dużo przedsiębiorstw, między innymi zakładów produkcyjnych. W roku 2010 stopa bezrobocia w gminie Tarnowo Podgórne (gmina wiejska, G3) wynosiła zaledwie 1,8 %<sup>18</sup>.

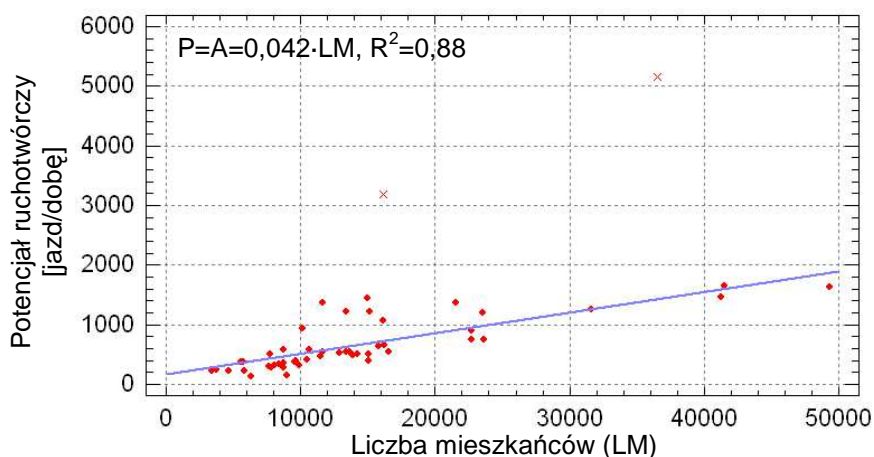
<sup>18</sup> [http://www.tarnowo-podgorne.pl/download/raport\\_www.pdf](http://www.tarnowo-podgorne.pl/download/raport_www.pdf) (odezyt z dn. 31 stycznia 2013 r.)

Powyższe może wyjaśniać wysoki obserwowany potencjał ruchotwórczy w stosunku do modelowanych wartości.



Rys. 5.1. Linia regresji na tle wyników obserwacji dla wskaźnika generacji ruchu w odniesieniu do liczby mieszkańców LM, lekkie samochody ciężarowe, wszystkie gminy (opracowanie własne)

Jeśli zmienną objaśniającą będzie liczba podmiotów REGON ogółem (REG) wówczas żadna z gmin nie będzie znacznie odbiegać od linii regresji. Oznacza to, że w przypadku gmin mocno uprzemysłowionych lepszą zmienną objaśniającą może być liczba podmiotów REGON ogółem (REG) lub w podziale na sektory (REGP, REGU) niż liczba mieszkańców (LM).



Rys. 5.2. Linia regresji na tle wyników obserwacji dla wskaźnika generacji ruchu w odniesieniu do liczby mieszkańców LM, ciężkie samochody ciężarowe, wszystkie gminy (opracowanie własne)

W przypadku ciężkich samochodów ciężarowych (rys. 5.2) wartości znacznie odbiegające od linii regresji to gminy Swarzędz (gmina miejsko-wiejska, G2) i Tarnowo Podgórne (gmina wiejska, G3), obie w powiecie poznańskim, dla których obserwowany potencjał jest znacznie większy od przewidywanego. Gmina Tarnowo Podgórne została opisana przy okazji lekkich samochodów ciężarowych i uzasadnienie to pozostaje ważne również w przypadku ciężkich samochodów ciężarowych. W przypadku gminy Swarzędz wyjaśnienie będzie podobne. Jest to gmina zlokalizowana przy drodze krajowej (DK Nr 92), w promieniu ok. 15 km od centrum Poznania, autostrady A2 i drogi ekspresowej S5. Lokalizacja oraz atrakcyjna oferta dla podejmowania działalności gospodarczej niewątpliwie są czynnikiem istotnie wpływającym na generację ruchu ciężarowego.

W przypadku przyjęcia jako zmienną objaśniającą liczby podmiotów REGON ogółem lub w podziale na sekcje gospodarki odstawanie potencjałów dla gmin Swarzędz i Tarnowo Podgórne od linii regresji jest nieco mniejsze, jednak nadal zauważalne.

Tab. 5.12. Wskaźniki generacji ruchu na 1 mieszkańca estymowane dla gmin w strefie podmiejskiej Krakowa oraz w powiecie poznańskim [jazd/dobę/1 mieszkańca], n=50 (opracowanie własne)

Typ gminy	Liczebność	Lekkie samochody ciężarowe			Ciężkie samochody ciężarowe		
		Wskaźnik generacji ruchu	R <sup>2*</sup>	RMSE**	Wskaźnik generacji ruchu	R <sup>2*</sup>	RMSE**
Miejsko-wiejska (G2)	21	0,098	0,97	403	0,041	0,86	392
Wiejska (G3)	29	0,115	0,97	222	0,046	0,92	155

\* współczynnik determinacji (R<sup>2</sup>)

\*\* błąd średniokwadratowy regresji (RMSE)

Wprowadzenie podziału na typy gmin (miejsko-wiejska G2 i wiejska G3) powoduje minimalną poprawę modelu. W tab. 5.12 można zauważyć interesujący wynik jeśli chodzi o wartości wskaźnika generacji ruchu. W przypadku gmin wiejskich (G3) wskaźnik przyjmuje większą wartość dla obu typów samochodów ciężarowych, co oznacza, że jeden mieszkaniec gminy wiejskiej (G3) generuje większy ruch ciężarowy niż jeden mieszkaniec gminy miejsko-wiejskiej (G2).

Po wprowadzeniu podziału na gminy nadal zauważalne są odbiegające od linii regresji wartości potencjałów ruchotwórczych dla tych samych gmin jak w przypadku braku podziału na gminy.

#### 5.4.2. Regresja wieloraka

W pierwszym podejściu w analizie regresji wielorakiej wykorzystano zmienne objaśniające, które nie są ze sobą silnie skorelowane, czyli o współczynniku korelacji Pearsona poniżej 0,9. W kolejnych etapach usuwano zmienne, które miały nieistotny wpływ na potencjał ruchotwórczy oraz te, dla których uzyskano ujemne wartości współczynników regresji. Takie postępowanie prowadziło zwykle do ograniczenia liczby zmiennych objaśnianych do dwóch (por. tab. 5.15), a niekiedy uzyskania formuł regresyjnych tożsamyh ze wskaźnikami generacji ruchu. W regresji wielorakiej uwzględniono jako zmienną objaśniającą odległość od stolicy województwa, jednak nie miała ona istotnego wpływu na wielkość potencjału ruchotwórczego.

Stąd w regresji wielorakiej założono w pierwszej kolejności jako zmienne objaśniające: liczbę miejsc pracy w rolnictwie (LPR), przemyśle (LPP) i usługach (LPU). Pomimo silnej korelacji pomiędzy LPP i LPU przyjęcie zatrudnienia w poszczególnych sektorach gospodarki jest uzasadnione, gdyż wydaje się, że zmienne te najlepiej odzwierciedlają potencjał danej gminy, ponieważ zapotrzebowanie na produkcję oraz usługi generuje miejsca pracy. Jednocześnie każdy pracownik produkując dany wyrób przyczynia się do powstawania ruchu ciężarowego. Przyjęto następującą postać równania regresji:

$$P = A = a_1 \cdot LPR + a_2 \cdot LPP + a_3 \cdot LPU, \quad (5.9)$$

gdzie:  $P$  – potencjał wytwarzający ruch [jazd/dobę],  $A$  – potencjał absorbujący ruch [jazd/dobę],  $LPR$  – liczba pracujących w rolnictwie,  $LPP$  – liczba pracujących w przemyśle,  $LPU$  – liczba pracujących w usługach,  $a_i$  – współczynniki modelu.

Wyniki analizy regresji wielorakiej dla poszczególnych typów pojazdów i gmin przedstawiono w tab. 5.13 i tab. 5.14.

Dla każdego parametru modelu obliczono statystykę testu istotności współczynnika regresji  $a_i$ . Następnie zweryfikowano hipotezę  $H_0: a_i=0$ , czyli że  $i$ -ta zmienna nie ma wpływu na wyniki wobec hipotezy  $H_1: a_i \neq 0$ , czyli że  $i$ -ta zmienna ma wpływ na wynik. Hipotezę weryfikowano na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  i  $\alpha=0,10$ . Jeśli statystyka testu istotności współczynnika regresji jest większa od wartości krytycznej dla założonego poziomu istotności to są podstawy do odrzucenia hipotezy  $H_0$ . Oznacza to, że dany parametr ma statystycznie istotny wpływ na zmienną objaśnianą na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  lub  $\alpha=0,10$ .

Parametry modelu istotne statystycznie na poziomie istotności 0,05 zostały wytłuszczone, a na poziomie istotności 0,10 podkreślone. Dodatkowo kolorem czerwonym wyróżniono parametry o wartościach ujemnych.

Tab. 5.13. Wyniki analizy regresji wielorakiej dla potencjałów ruchotwórczych [jazd/dobę] uwzględniającej liczbę miejsc pracy w rolnictwie (LPR), przemyśle (LPP) i usługach (LPU), lekkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

Typ gminy	Liczba miejsc pracy w rolnictwie LPR ( $X_9$ )	Liczba miejsc pracy w przemyśle LPP ( $X_{10}$ )	Liczba miejsc pracy w usługach LPU ( $X_{11}$ )	$R^{2*}$	$R_s^{2**}$	RMSE***	n
	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$				
Wszystkie	1,97	<b>-0,028</b>	<b>0,990</b>	0,87	0,87	717	50
Miejsko-wiejska (G2)	2,21	0,164	<b>0,815</b>	0,92	0,91	760	21
Wiejska (G3)	<u>4,28</u>	<b>-0,661</b>	<b>1,48</b>	0,83	0,82	616	29

\* współczynnik determinacji ( $R^2$ )

\*\* skorygowany współczynnik determinacji ( $R_s^2$ )

\*\*\* błąd średniokwadratowy regresji (RMSE)

Tab. 5.14. Wyniki analizy regresji wielorakiej dla potencjałów ruchotwórczych [jazd/dobę] uwzględniającej liczbę miejsc pracy w rolnictwie (LPR), przemyśle (LPP) i usługach (LPU), ciężkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

Typ gminy	Liczba miejsc pracy w rolnictwie LPR ( $X_9$ )	Liczba miejsc pracy w przemyśle LPP ( $X_{10}$ )	Liczba miejsc pracy w usługach LPU ( $X_{11}$ )	$R^{2*}$	$R_s^{2**}$	RMSE***	n
	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$				
Wszystkie	<b>2,11</b>	0,058	<b>0,331</b>	0,89	0,89	265	50
Miejsko-wiejska (G2)	<b>2,36</b>	0,071	<b>0,302</b>	0,92	0,91	317	21
Wiejska (G3)	0,508	<b>-0,016</b>	<b>0,685</b>	0,97	0,96	151	29

\* współczynnik determinacji ( $R^2$ )

\*\* skorygowany współczynnik determinacji ( $R_s^2$ )

\*\*\* błąd średniokwadratowy regresji (RMSE)

Dla obu typów pojazdów uzyskano współczynniki determinacji powyżej 0,80. Jednocześnie w kilku przypadkach uzyskano ujemne wartości współczynników modelu. Przyczyną wysokiego  $R^2$  oraz ujemnych współczynników modelu jest silna korelacja pomiędzy zmiennymi objaśniającymi: liczba pracujących w przemyśle (LPP) i liczba pracujących w usługach (LPU). Nie przekonuje brak istotnego wpływu liczby pracujących w przemyśle (LPP) na potencjał ruchotwórczy.

Uzyskane średnie błędy oszacowania dla próby obejmującej wszystkie gminy są większe niż w przypadku najlepszego modelu z wykorzystaniem wskaźników generacji ruchu dla lekkich samochodów ciężarowych. Dla ciężkich samochodów ciężarowych uzyskano mniejsze błędy oszacowania. Podobnie jak w przypadku wskaźników generacji ruchu w przypadku ciężkich samochodów ciężarowych odstającymi wynikami są potencjały ruchotwórcze dla gmin Tarnowo Podgórne i Swarzędz.

Wprowadzenie podziału na typy gmin dało zróżnicowane rezultaty. W przypadku lekkich samochodów ciężarowych uzyskano poprawę modelu dla gmin miejsko-wiejskich (G2). Dla gmin wiejskich (G3) nieznacznie spadła wartość współczynnika determinacji i podobnie jak dla wszystkich gmin uzyskano ujemną wartość jednego ze współczynników regresji.

W przypadku ciężkich samochodów ciężarowych po wprowadzeniu podziału na gminy uzyskano wysokie współczynniki determinacji dla obu typów gmin, jednak nie wszystkie współczynniki regresji są statystycznie istotne. Zauważono dwie gminy, dla których obserwowany potencjał ruchotwórczy znacznie odbiega od modelowanego. W przypadku gmin wiejskich (G3) jest to gmina Zabierzów (powiat krakowski) dla której modelowane wartości są większe niż obserwowane. Dla gmin miejsko-wiejskich (G2) jest to gmina Swarzędz, dla której wartość obserwowana potencjału ruchotwórczego jest znacznie większa od wynikającej z modelu. Pomimo, że gmina Zabierzów jest gminą wiejską, jest mocno zurbanizowana. Dodatkowo położona jest ok. 3 km od węzła drogi ekspresowej S7 i ok. 12 km od centrum Krakowa. W gminie Zabierzów zlokalizowanych jest dużo centrów logistycznych, między innymi z uwagi na bliskość lotniska w Balicach i dobre połączenie z autostradą A4.

Początkowe założenie o łącznym wpływie liczby pracujących w podziale na rolnictwo (LPR), przemysł (LPP) i usługi (LPU) na potencjał ruchotwórczy zostało obalone głównie wskutek uzyskania ujemnych i statystycznie nieistotnych wartości współczynników regresji. Należy poddać wątpliwości model, w którym wzrost liczby pracujących powoduje spadek potencjału ruchotwórczego wyrażonego w jazdach samochodów ciężarowych.

Stąd w analizie regresji wielorakiej poszukiwano innych zmiennych objaśniających, które miałyby istotny wpływ na wielkość potencjału, a jednocześnie interpretacja fizyczna modelu nie budziłaby wątpliwości. W analizie regresji wielorakiej sprawdzono wiele kombinacji zmiennych objaśniających. Najlepsze wyniki uzyskane dla dwóch zmiennych przedstawiono w tab. 5.15.

Uzyskano bardzo wysokie współczynniki determinacji (od 0,95 do 0,93). Średnie błędy oszacowania są na akceptowalnym poziomie. Ponadto wszystkie parametry modelu mają statystycznie istotny wpływ na zmienną objaśnianą na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ .

Jedynie dla ciężkich samochodów ciężarowych można wskazać gminy, dla których wartości potencjałów ruchotwórczych odstają od linii regresji, są to: Swarzędz w przypadku wszystkich gmin i gmin miejsko-wiejskich (G2) oraz Zabierzów w przypadku gmin wiejskich (G3). Podane wcześniej uzasadnienia dotyczące specyfiki wymienionych gmin pozostają w mocy.

Dla poszczególnych parametrów modelu obliczono statystyki Walda, które pokazały że największy wpływ na zmienną objaśnianą, czyli potencjał ruchotwórczy, ma liczba miejsc pracy w usługach (LPU). Wyjątkiem jest równanie regresji dla lekkich samochodów ciężarowych dla wszystkich gmin, gdzie największy wpływ ma liczba mieszkańców (LM).

Tab. 5.15. Wyniki analizy regresji wielorakiej dla potencjałów ruchotwórczych [jazd/dobę] uwzględniającej liczbę mieszkańców (LM), liczbę pracujących w przemyśle (LPP) i liczbę pracujących w usługach (LPU) (opracowanie własne)

Typ gminy	Samochody ciężarowe	Równanie regresji	R <sup>2*</sup>	R <sub>s</sub> <sup>2**</sup>	RMSE***	n
Wszystkie	lekkie	$P=A=0,077 \cdot LM+0,303 \cdot LPU$	0,93	0,93	5089	50
	ciężkie	$P=A=0,102 \cdot LPP+0,406 \cdot LPU$	0,86	0,86	339	
Miejsko-wiejskie (G2)	lekkie	$P=A=0,185 \cdot LPP+0,877 \cdot LPU$	0,91	0,91	495	21
	ciężkie	$P=A=0,085 \cdot LPP+0,367 \cdot LPU$	0,85	0,85	420	
Wiejskie (G3)	lekkie	$P=A=0,090 \cdot LM+0,416 \cdot LPU$	0,93	0,93	280	29
	ciężkie	$P=A=0,011 \cdot LM+0,612 \cdot LPU$	0,93	0,93	220	

\* współczynnik determinacji (R<sup>2</sup>)

\*\* skorygowany współczynnik determinacji (R<sub>s</sub><sup>2</sup>)

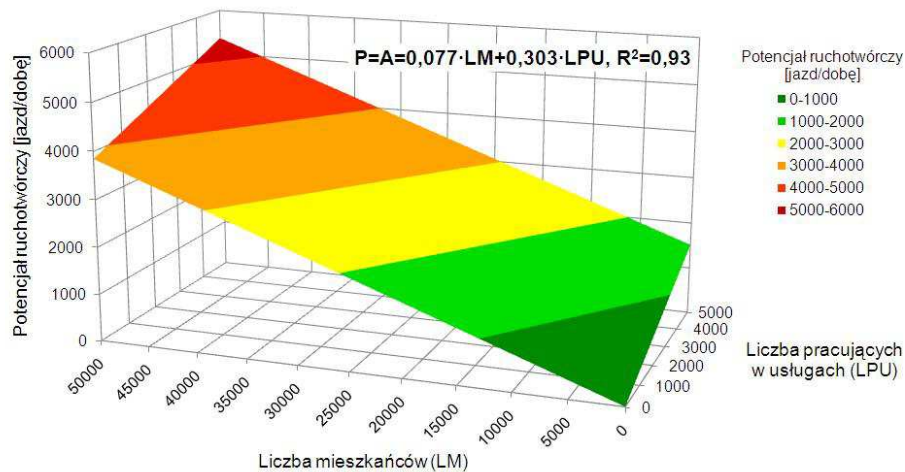
\*\*\* błąd średniokwadratowy regresji (RMSE)

pozostałe oznaczenia: n – liczebność próby, P – potencjał wytwarzający ruch [jazd/dobę], A – potencjał absorbujący ruch [jazd/dobę], LM – liczba mieszkańców gminy, LPP – liczba pracujących w przemyśle w gminie, LPU – liczba pracujących w usługach w gminie.

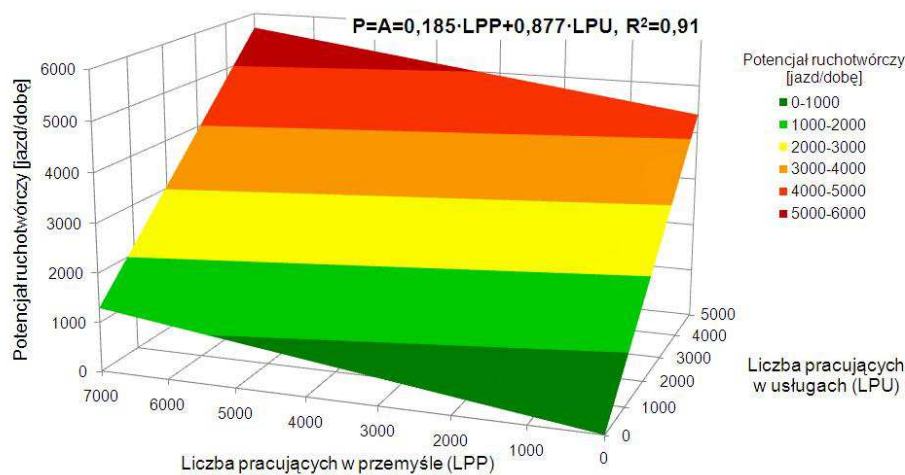
Na rys. 5.3 – 5.5 przedstawiono płaszczyzny regresji wielorakiej dla lekkich samochodów ciężarowych podczas gdy na rys. 5.6 – 5.8 dla ciężkich samochodów ciężarowych.

Dla lekkich samochodów ciężarowych można zauważyć silny wpływ liczby mieszkańców (LM) na wielkość potencjału ruchotwórczego dla wszystkich gmin. Wprowadzenie podziału na gminy miejsko-wiejskie (G2) i wiejskie (G3) ujawnia wpływ liczby pracujących w usługach, który jest bardzo silny w przypadku gmin miejsko-wiejskich (G2). Dla gmin wiejskich wpływ liczby pracujących w usługach (LPU) jest zbliżony do wpływu liczby mieszkańców (LM).

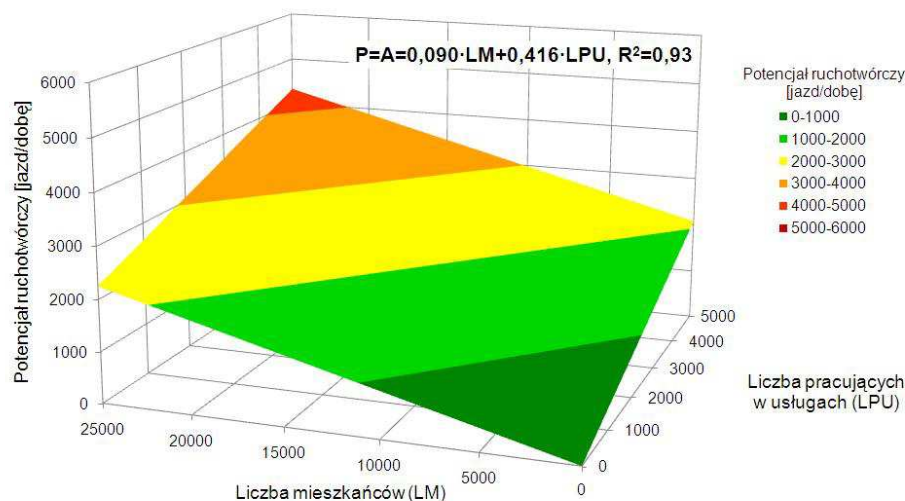
W przypadku ciężkich samochodów ciężarowych dominujący wpływ na wielkość potencjału ma liczba pracujących w usługach (LPU). Wpływ ten jest największy w przypadku gmin wiejskich (G3).



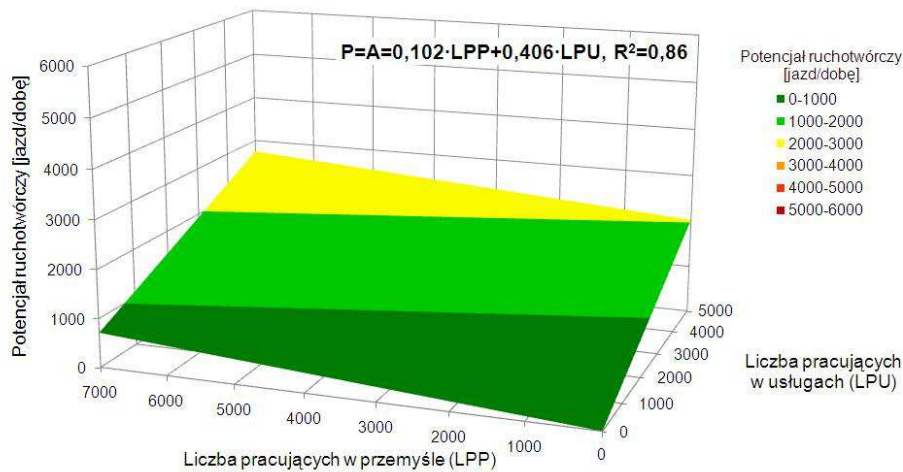
Rys. 5.3. Płaszczyzna regresji wielorakiej dla potencjałów ruchotwórczych [jazd/dobę] uwzględniającej liczbę mieszkańców (LM) i liczbę pracujących w usługach (LPU), lekkie samochody ciężarowe, wszystkie gminy (opracowanie własne)



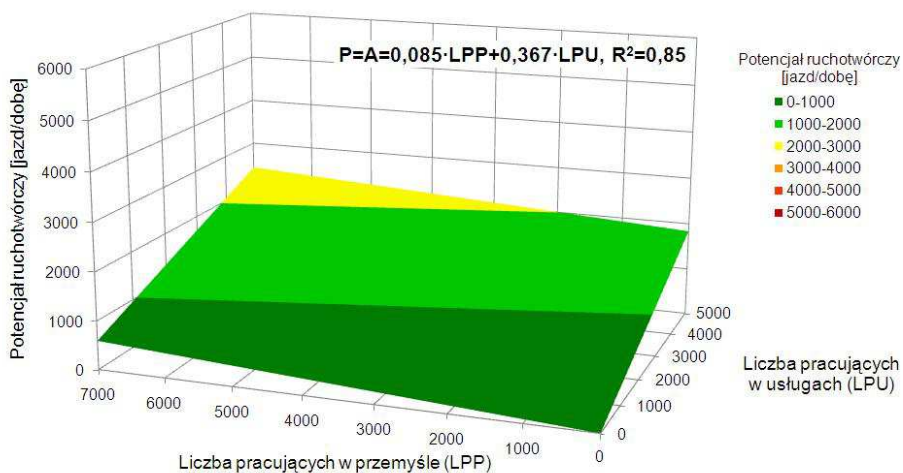
Rys. 5.4. Płaszczyzna regresji wielorakiej dla potencjałów ruchotwórczych [jazd/dobę] uwzględniającej liczbę pracujących w przemyśle (LPP) i liczbę pracujących w usługach (LPU), lekkie samochody ciężarowe, gminy miejsko-wiejskie (G2) (opracowanie własne)



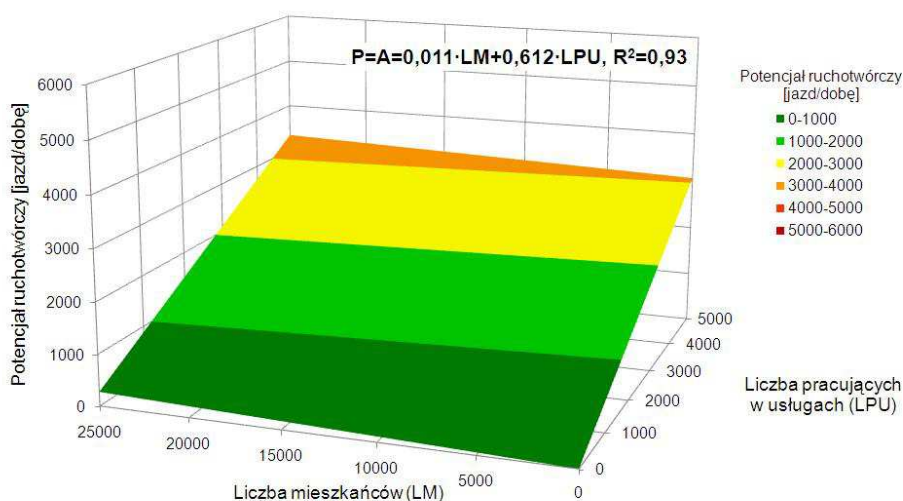
Rys. 5.5. Płaszczyzna regresji wielorakiej dla potencjałów ruchotwórczych [jazd/dobę] uwzględniającej liczbę mieszkańców (LM) i liczbę pracujących w usługach (LPU), lekkie samochody ciężarowe, gminy wiejskie (G3) (opracowanie własne)



Rys. 5.6. Płaszczyzna regresji wielorakiej dla potencjałów ruchotwórczych [jazd/dobę] uwzględniającej liczbę pracujących w przemyśle (LPP) i liczbę pracujących w usługach (LPU), ciężkie samochody ciężarowe, wszystkie gminy (opracowanie własne)



Rys. 5.7. Płaszczyzna regresji wielorakiej dla potencjałów ruchotwórczych [jazd/dobę] uwzględniającej liczbę pracujących w przemyśle (LPP) i liczbę pracujących w usługach (LPU), ciężkie samochody ciężarowe, gminy miejsko-wiejskie (G2) (opracowanie własne)



Rys. 5.8. Płaszczyzna regresji wielorakiej dla potencjałów ruchotwórczych [jazd/dobę] uwzględniającej liczbę mieszkańców (LM) i liczbę pracujących w usługach (LPU), ciężkie samochody ciężarowe, gminy wiejskie (G3) (opracowanie własne)



### 5.4.3. Regresja nieliniowa

Dla obu grup pojazdów badano funkcje nieliniowe jednej i wielu zmiennych. W analizie regresji nieliniowej jednej zmiennej w pierwszej kolejności wykonano obliczenia dla wszystkich gmin, aby wstępnie ocenić, która ze zmiennych najlepiej objaśnia potencjał ruchotwórczy. Rozważano równanie w postaci:

$$P = A = a \cdot X^b \quad (5.10)$$

gdzie:  $P$  – potencjał wytwarzający ruch [jazd/dobę],  $A$  – potencjał absorbujący ruch [jazd/dobę],  $X$  – zmienna objaśniająca,  $a$ ,  $b$  – parametry modelu.

Wyniki analizy regresji nieliniowej jednej zmiennej przedstawiono w tab. 5.16 i tab. 5.17. Parametry modelu istotne statystycznie na poziomie istotności 0,05 zostały wytluszczone.

Tab. 5.16. Wyniki analizy regresji nieliniowej jednej zmiennej dla potencjału ruchotwórczego [jazd/dobę], lekkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

Zmienna objaśniająca	a	b	Współczynnik determinacji ( $R^2$ )	Błąd średniokwadratowy regresji (RMSE)
LM ( $X_1$ )	<b>0,212</b>	<b>0,926</b>	0,88	356
REG ( $X_2$ )	<b>11,3</b>	<b>0,696</b>	0,69	601
REGR ( $X_3$ )	<b>46,3</b>	<b>0,913</b>	0,38	639
REGP ( $X_4$ )	<b>50,8</b>	<b>0,590</b>	0,52	743
REGU ( $X_5$ )	<b>14,9</b>	<b>0,695</b>	0,73	556
REGT ( $X_6$ )	<b>60,1</b>	<b>0,704</b>	0,63	655
LP ( $X_7$ )	<b>27,9</b>	<b>0,533</b>	0,64	642
LPR ( $X_8$ )	827	0,162	0,16	793
LPP ( $X_9$ )	<b>91,3</b>	<b>0,413</b>	0,44	745
LPU ( $X_{10}$ )	<b>23,7</b>	<b>0,607</b>	0,74	545

Tab. 5.17. Wyniki analizy regresji nieliniowej jednej zmiennej dla potencjału ruchotwórczego [jazd/dobę], ciężkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

Zmienna objaśniająca	a	b	Współczynnik determinacji ( $R^2$ )	Błąd średniokwadratowy regresji (RMSE)
LM ( $X_1$ )	<b>0,420</b>	<b>0,772</b>	0,64	260
REG ( $X_2$ )	<b>6,44</b>	<b>0,656</b>	0,61	269
REGR ( $X_3$ )	<b>27,9</b>	<b>0,896</b>	0,54	292
REGP ( $X_4$ )	<b>16,1</b>	<b>0,638</b>	0,54	292
REGU ( $X_5$ )	<b>10,6</b>	<b>0,620</b>	0,61	271
REGT ( $X_6$ )	<b>28,1</b>	<b>0,683</b>	0,58	279
LP ( $X_7$ )	<b>10,7</b>	<b>0,549</b>	0,71	234
LPR ( $X_8$ )	318	0,204	0,18	391
LPP ( $X_9$ )	<b>57,8</b>	<b>0,374</b>	0,57	284
LPU ( $X_{10}$ )	<b>12,2</b>	<b>0,583</b>	0,68	243

Najwyższy współczynnik determinacji oraz najmniejszy błąd oszacowania uzyskano dla zmiennej LM. Dotyczy to zarówno lekkich jak i ciężkich samochodów ciężarowych. Wartości współczynnika determinacji są porównywalne z uzyskanymi w analizie regresji wielorakiej (por. p. 5.4.2). Jednocześnie wartości średnich błędów oszacowania są znacznie niższe niż w przypadku wskaźników generacji ruchu oraz regresji wielorakiej. W niektórych

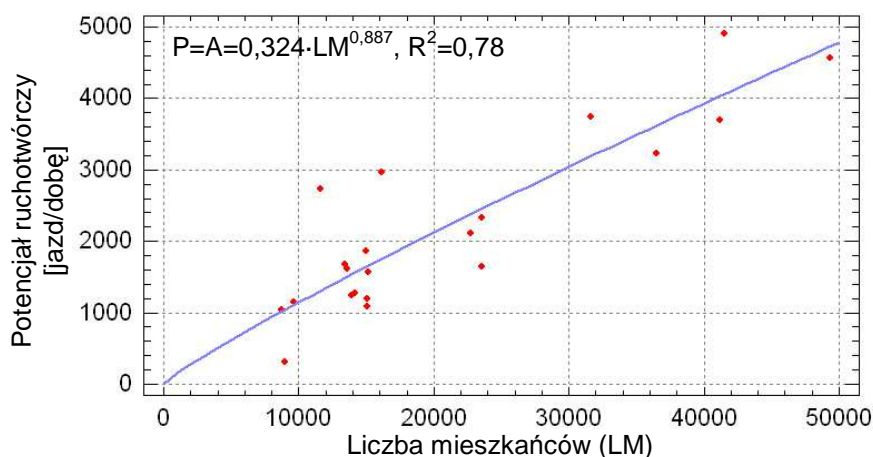
przypadkach (np. dla zmiennej liczba mieszkańców LM) zauważalne jest dążenie modelu nieliniowego do postaci liniowej (parametr „b” bliski 1).

Wprowadzono podział na dwa typy gmin (G2 i G3). Dla każdej grupy gmin przeprowadzono analizę regresji nieliniowej (wg wzoru 5.10), gdzie zmienną objaśniającą była liczba mieszkańców (LM) w przypadku lekkich samochodów ciężarowych i liczba pracujących (LP) w przypadku ciężkich samochodów ciężarowych. Wyniki przedstawiono w tab. 5.18 i tab. 5.19.

Tab. 5.18. Wyniki analizy regresji nieliniowej jednej zmiennej dla potencjału ruchotwórczego [jazd/dobę] z wykorzystaniem zmiennej LM w podziale na typy gmin, lekkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

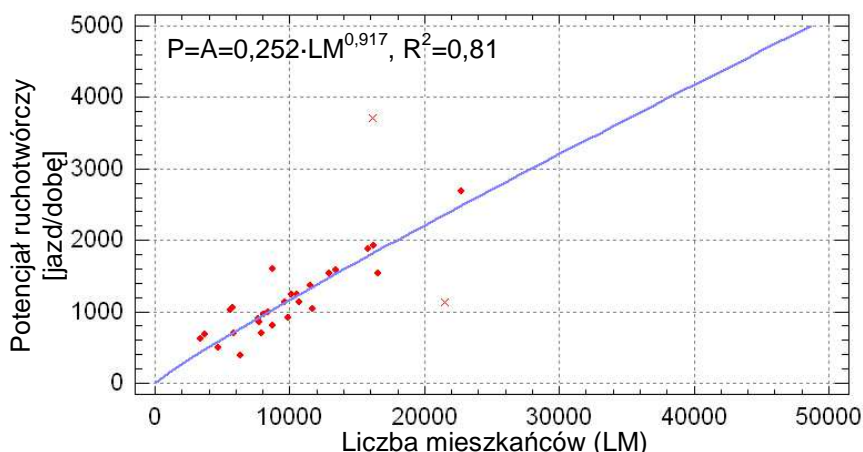
Typ gminy	a	b	Współczynnik determinacji ( $R^2$ )	Błąd średniokwadratowy regresji (RMSE)
Miejsko-wiejska (G2)	<b>0,324</b>	<b>0,887</b>	0,78	601
Wiejska (G3)	<b>0,252</b>	<b>0,917</b>	0,81	223

Dla lekkich samochodów ciężarowych wprowadzenie podziału na gminy pogorszyło model. Dla wszystkich typów gmin wszystkie parametry są statystycznie istotne. Ciekawym rezultatem jest kształt funkcji regresji w zależności od typu gminy. W obu przypadkach funkcja jest zbliżona do liniowej (odpowiednio rys. 5.9 i rys. 5.10).



Rys. 5.9. Analiza regresji nieliniowej jednej zmiennej dla potencjału ruchotwórczego [jazd/dobę] z wykorzystaniem zmiennej LM, gminy miejsko-wiejskie (G2), lekkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

W przypadku gmin wiejskich wyraźnie odstają od linii regresji gminy Czerwonak i Tarnowo Podgórne (czerwone znaki „x” na rys. 5.10). Dla gmin miejsko-wiejskich (G2) nie zanotowano obserwacji znacznie odstających od linii regresji, tj. o standaryzowanych resztach powyżej 3.



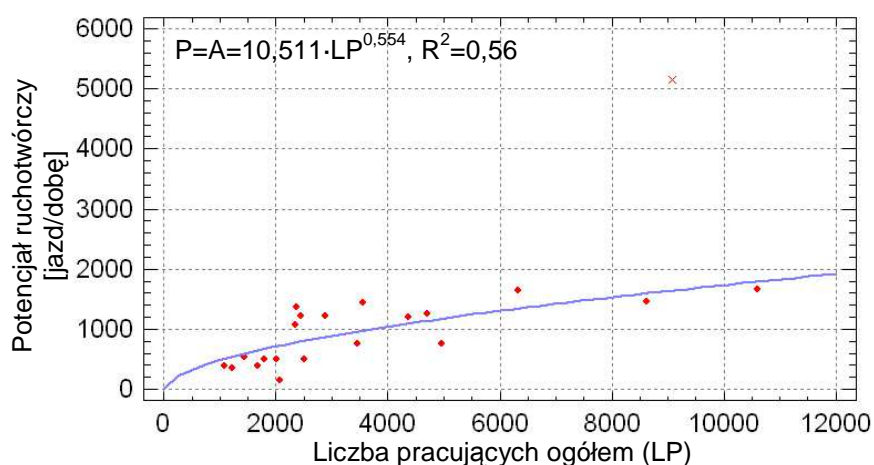
Rys. 5.10. Analiza regresji nieliniowej jednej zmiennej dla potencjału ruchotwórczego [jazd/dobę] z wykorzystaniem zmiennej LM, gminy wiejskie (G3), lekkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

W przypadku ciężkich samochodów ciężarowych wprowadzenie podziału na typy gmin w regresji nieliniowej jednej zmiennej spowodowało pogorszenie modelu dla gmin miejsko-wiejskich i nieznaczną poprawę dla gmin wiejskich.

Tab. 5.19. Wyniki analizy regresji nieliniowej jednej zmiennej dla potencjału ruchotwórczego [jazd/dobę] z wykorzystaniem zmiennej LP w podziale na typy gmin, lekkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

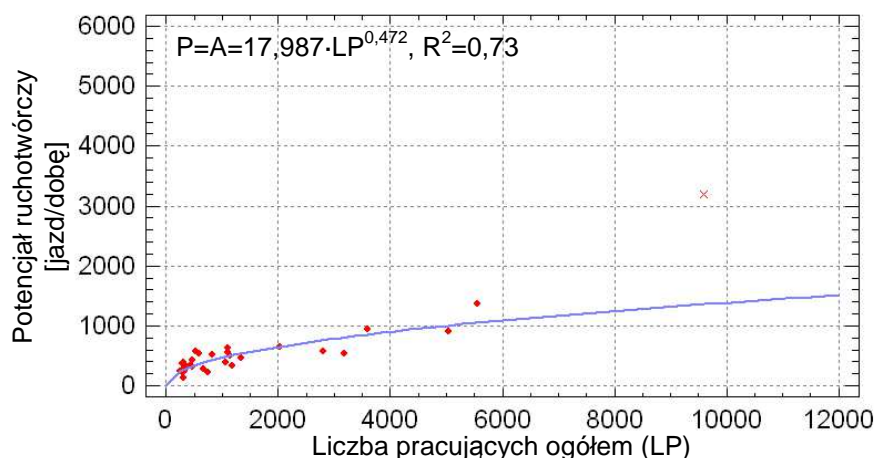
Typ gminy	a	b	Współczynnik determinacji ( $R^2$ )	Błąd średniokwadratowy regresji (RMSE)
G2	<b>10,5</b>	<b>0,554</b>	0,56	328
G3	<b>18,0</b>	<b>0,472</b>	0,73	138

Na rys. 5.11 i rys. 5.12 przedstawiono funkcje regresji dla poszczególnych typów gmin, dla ciężkich samochodów ciężarowych. W przypadku obu typów gmin parametr „b” sugeruje kształt funkcji zbliżony do funkcji pierwiastkowej. Niemniej analizując poniższe wykresy można zauważyć zależność zbliżoną do liniowej pomiędzy liczbą pracujących ogółem (LP) a potencjałem ruchotwórczym.



Rys. 5.11. Analiza regresji nieliniowej jednej zmiennej dla potencjału ruchotwórczego [jazd/dobę] z wykorzystaniem zmiennej LP, gminy miejsko-wiejskie (G2), ciężkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

Dla gmin miejsko-wiejskich (G2) odstaje od linii regresji gmina Swarzędz, natomiast w przypadku gmin wiejskich (G3) gmina Tarnowo Podgórne.



Rys. 5.12. Analiza regresji nieliniowej jednej zmiennej dla potencjału ruchotwórczego [jazd/dobę] z wykorzystaniem zmiennej LP, gminy wiejskie (G3), ciężkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

W dalszej części rozdziału wykonano analizę regresji nieliniowej dla funkcji dwóch zmiennych, z których pierwsza była jedną ze zmiennych charakteryzujących gminę ( $X_1 \div X_{10}$ ), natomiast drugą – odległość od stolicy województwa (ODL). Analiza ta miała na celu zbadania czy odległość od centrum obszaru metropolitalnego ma wpływ na potencjał ruchotwórczy.

Rozważano funkcję w postaci wykładniczej:

$$P = A = a \cdot X \cdot e^{b \cdot ODL} \quad (5.11)$$

gdzie:  $P$  – potencjał wytwarzający ruch [jazd/dobę],  $A$  – potencjał absorbujący ruch [jazd/dobę],  $ODL$  – odległość od stolicy województwa,  $a$ ,  $b$  – parametry modelu.

Analizowano również wpływ odległości w postaci potęgowej ( $ODL^b$ ) jednak uzyskane wyniki były bardzo zbliżone do uzyskanych dla równania 5.11. Parametry oraz podstawowe statystyki modeli dla samochodów ciężarowych o DMC poniżej 3,5 t przedstawiono w tab. 5.20 natomiast dla samochodów ciężarowych o DMC powyżej 3,5 t w tab. 5.21. Parametry modelu istotne statystycznie na poziomie  $\alpha=0,05$  wytluszczono.

W uzyskanych modelach dla samochodów ciężarowych o DMC poniżej 3,5 t w większości przypadków parametry są istotne statystycznie. Jedynie dla zmiennych liczba mieszkańców (LM) i liczba podmiotów wpisanych do rejestru REGON w sektorze usług (REGU) uzyskano współczynnik determinacji powyżej 0,80. W przypadku ciężkich samochodów ciężarowych we wszystkich przypadkach współczynniki determinacji są poniżej 0,80. Uzyskane błędy oszacowania są większe niż w przypadku regresji wielorakiej oraz regresji nieliniowej jednej zmiennej.

Tab. 5.20. Wyniki analizy regresji nieliniowej dwóch zmiennych dla potencjału ruchotwórczego [jazd/dobę] z wykorzystaniem zmiennej ODL, lekkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

Zmienna objaśniająca	a	b	Współczynnik determinacji ( $R^2$ )	Błąd średniokwadratowy regresji (RMSE)
LM ( $X_1$ )	<b>0,084</b>	<b>0,010</b>	0,82	441
REG ( $X_2$ )	<b>0,543</b>	<b>0,037</b>	0,76	5123
REGR ( $X_3$ )	<b>28,9</b>	<b>0,014</b>	0,43	658
REGP ( $X_4$ )	<b>2,20</b>	<b>0,026</b>	0,46	797
REGU ( $X_5$ )	<b>0,802</b>	<b>0,037</b>	0,80	460
REGT ( $X_6$ )	<b>7,71</b>	<b>0,025</b>	0,67	619
LP ( $X_7$ )	<b>0,350</b>	<b>0,017</b>	0,42	812
LPR ( $X_8$ )	7,54	0,018	0,00	1209
LPP ( $X_9$ )	<b>0,452</b>	<b>0,031</b>	0,71	491
LPU ( $X_{10}$ )	<b>0,630</b>	<b>0,033</b>	0,68	570

W przypadku lekkich samochodów ciężarowych wpływ odległości jest statystycznie istotny i wraz ze wzrostem odległości wzrasta potencjał wytwarzający. Również dla ciężkich samochodów ciężarowych dominują dodatnie wartości parametru b. Należałoby się spodziewać raczej odwrotnej zależności, tzn. że potencjał maleje wraz ze wzrostem odległości, co pokazała analiza korelacji przeprowadzona na etapie doboru zmiennych objaśniających. Uzyskany wynik jest zaskakujący i trudny do wyjaśnienia.

Interpretacja uzyskanych wyników sugeruje ostrożne przyjmowanie modelu z uwzględnieniem odległości od centrum obszaru metropolitalnego. Dla dwóch modeli o największej wartości  $R^2$  dla lekkich samochodów ciężarowych, opartych o zmienne LM i REGU wartości parametru b oznaczają, że przy odległości 50 km od centrum obszaru metropolitalnego potencjał ruchotwórczy w stosunku do gminy oddalonej o 10 km będzie większy odpowiednio dla LM o 49 % i dla REGU o 439 %. Stąd należy poddać wątpliwości model uwzględniający odległość. Ponadto w tab. 5.20 i tab. 5.21 można zauważyć, że pomimo często statystycznie istotnego wpływu odległości współczynniki determinacji są relatywnie małe (za wyjątkiem trzech przypadków dla lekkich samochodów ciężarowych), co sugeruje odrzucenie modelu.

Tab. 5.21. Wyniki analizy regresji nieliniowej dwóch zmiennych dla potencjału ruchotwórczego [jazd/dobę] z wykorzystaniem zmiennej ODL, ciężkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

Zmienna objaśniająca	a	b	Współczynnik determinacji ( $R^2$ )	Błąd średniokwadratowy regresji (RMSE)
LM ( $X_1$ )	<b>0,038</b>	<b>0,005</b>	0,58	279
REG ( $X_2$ )	<b>0,269</b>	<b>0,029</b>	0,56	278
REGR ( $X_3$ )	<b>20,7</b>	<b>-0,005</b>	0,54	292
REGP ( $X_4$ )	<b>1,21</b>	<b>0,012</b>	0,45	321
REGU ( $X_5$ )	<b>0,369</b>	<b>0,031</b>	0,52	292
REGT ( $X_6$ )	<b>3,81</b>	<b>0,017</b>	0,55	291
LP ( $X_7$ )	<b>0,206</b>	<b>0,005</b>	0,42	329
LPR ( $X_8$ )	7,91	-0,018	0,00	549
LPP ( $X_9$ )	<b>0,340</b>	<b>0,029</b>	0,62	338
LPU ( $X_{10}$ )	<b>0,322</b>	<b>0,027</b>	0,71	298

#### 5.4.4. Próba zastosowania sztucznych sieci neuronowych w estymowaniu potencjałów ruchotwórczych

W analizie z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych (SSN) wykorzystano próbę obejmującą 17 gmin powiatu poznańskiego i 33 gmin strefy podmiejskiej Krakowa. Z uwagi na liczebność próby nie wprowadzano podziału na gminy miejsko-wiejskie (G2) i wiejskie (G3). Badaną próbę o liczebności  $n=50$  podzielono na:

- zbiór uczący – 30 elementów próby,
- zbiór walidujący – 10 elementów próby,
- zbiór testujący – 10 elementów próby.

Liczebność próby jest bardzo mała biorąc pod uwagę wymogi stosowania SSN. Jednocześnie zaleca się, aby liczba neuronów wejściowych nie przekraczała 10 % wielkości zbioru uczącego. W analizowanej próbie zbiór uczący zawiera 30 elementów stąd liczba neuronów wejściowych nie powinna być większa od 3. Dlatego w analizach SSN ograniczono się do tych samych zmiennych, które były wykorzystane w regresji wielorakiej.

Model uznawano za akceptowalny, jeśli iloraz odchyłeń standardowych (iloraz odchylenia standardowego błędów predykcji i odchylenia standardowego zmiennej wyjściowej) był mniejszy od 0,7. Przy wartościach ilorazu odchyłeń powyżej 0,7, nawet w przypadku wysokiej korelacji, model należy odrzucić.

Dodatkowo dla każdej zmiennej podano ilorazy wzrostu błędów z analizy wrażliwości. Iloraz wzrostu błędu wskazuje ile razy zwiększa się błąd sieci po usunięciu danej zmiennej. Jeśli iloraz błędu jest równy lub mniejszy od 1 oznaczało to zupełną nieprzydatność danej zmiennej. Jej usunięcie nie powoduje pogorszenia jakości modelu, a wręcz może ją poprawić. Interpretacja ilorazu błędu jest taka, że im większa jego wartość tym większy jest wpływ danej zmiennej objaśniającej na zmienną objaśnianą.

W tab. 5.22 i tab. 5.23 przedstawiono wyniki analizy SSN odpowiednio dla lekkich i ciężkich samochodów ciężarowych w oparciu o zmienne objaśniające:

- liczba pracujących w rolnictwie (LPR),
- liczba pracujących w przemyśle (LPP),
- liczba pracujących w usługach (LPU).

Przetestowano różne typy SSN o różnej strukturze. W tabelach podano najlepsze uzyskane sieci dla każdego typu: liniowej, MLP (perceptron wielowarstwowy, Multi-Layer Perceptron), RBF (o radialnych funkcjach bazowych, Radial Basis Function) i GRNN (sieci neuronowe uogólnionej regresji, Generalized Regression Neural Network).

Podobnie jak w analizie regresji wielorakiej największy wpływ na potencjał ruchotwórczy ma liczba pracujących w usługach (LPU). W analizie SSN dla lekkich samochodów ciężarowych uzyskano mniejsze błędy niż w przypadku analizy wielorakiej, natomiast dla ciężkich samochodów ciężarowych – porównywalne. Dla obu typów samochodów ciężarowych i wszystkich typów sieci neuronowych uzyskano bardzo dobre wyniki biorąc pod uwagę korelację. Błędy dla poszczególnych typów sieci są zbliżone, przy czym dla lekkich samochodów ciężarowych najlepsze wyniki daje sieć liniowa, dla ciężkich – sieć RBF.

Tab. 5.22. Zestawienie wartości ilorazu błędu, miar oceny oraz typu i struktury sieci dla modeli SSN, zmienna objaśniana: potencjał ruchotwórczy [jazd/dobę], lekkie samochody ciężarowe, wszystkie gminy (opracowanie własne)

Iloraz błędu z analizy wrażliwości dla zmiennej*			Iloraz odchylenia standardowego	Korelacja	Średni błąd bezwzględny	Typ i struktura sieci
LPR (X <sub>9</sub> )	LPP (X <sub>10</sub> )	LPU (X <sub>11</sub> )				
–	1,01	1,98	0,49	0,87	387	Liniowa 2:2-1:1
–	1,01	1,72	0,49	0,87	421	MLP 2:2-1-1:1
1,04	1,05	1,48	0,54	0,85	429	RBF 3:3-3-1:1
1,05	1,16	1,61	0,56	0,84	444	GRNN 3:3-26-2-1:1

\* jeśli w komórce pojawia się symbol „–” oznacza to, że dla danej zmiennej uzyskano iloraz błędu poniżej 1 i została ona usunięta z modelu jako zmienna nieistotna

Tab. 5.23. Zestawienie wartości ilorazu błędu, miar oceny oraz typu i struktury sieci dla modeli SSN, zmienna objaśniana: potencjał ruchotwórczy [jazd/dobę], ciężkie samochody ciężarowe, wszystkie gminy (opracowanie własne)

Iloraz błędu z analizy wrażliwości dla zmiennej*			Iloraz odchylenia standardowego	Korelacja	Średni błąd bezwzględny	Typ i struktura sieci
LPR (X <sub>9</sub> )	LPP (X <sub>10</sub> )	LPU (X <sub>11</sub> )				
1,09	1,06	1,46	0,59	0,82	250	Liniowa 3:3-1:1
1,28	–	1,71	0,56	0,87	262	MLP 2:2-4-1:1
1,15	1,12	1,41	0,56	0,84	250	RBF 3:3-4-1:1
1,18	1,36	1,53	0,60	0,86	278	GRNN 3:3-26-2-1:1

\* jeśli w komórce pojawia się symbol „–” oznacza to, że dla danej zmiennej uzyskano iloraz błędu poniżej 1 i została ona usunięta z modelu jako zmienna nieistotna

W tab. 5.24 i tab. 5.25 przedstawiono wyniki analiz SSN dla zmiennych: liczba mieszkańców (LM), liczba pracujących w przemyśle (LPP) i liczba pracujących w usługach (LPU). Przyjęte zmienne objaśniające dla poszczególnych typów samochodów ciężarowych są analogiczne jak w p. 5.4.2.

Dla lekkich samochodów ciężarowych uzyskano lepsze wyniki niż w przypadku uwzględnienia trzech zmiennych (LPR, LPP, LPU). Zauważalny jest większy wpływ, tj. większa wartość ilorazu błędu, liczby mieszkańców (LM) na potencjał ruchotwórczy niż liczby pracujących w usługach (LPU). Potwierdza to wyniki uzyskane w analizie regresji wielorakiej. Najlepsze wyniki uzyskano dla sieci liniowej.

Tab. 5.24. Zestawienie wartości ilorazu błędu, miar oceny oraz typu i struktury sieci dla modeli SSN, zmienna objaśniana: potencjał ruchotwórczy [jazd/dobę], lekkie samochody ciężarowe, wszystkie gminy (opracowanie własne)

Iloraz błędu z analizy wrażliwości dla zmiennej		Iloraz odchylenia standardowego	Korelacja	Średni błąd bezwzględny	Typ i struktura sieci
LM (X <sub>1</sub> )	LPU (X <sub>11</sub> )				
1,64	1,28	0,44	0,90	324	Liniowa 2:2-1:1
1,38	1,36	0,46	0,90	331	MLP 2:2-2-1:1
1,07	1,23	0,49	0,90	347	RBF 2:2-10-1:1
1,35	1,61	0,47	0,91	355	GRNN 2:2-26-2-1:1

Dla ciężkich samochodów ciężarowych uzyskano wyniki są niewiele gorsze niż w przypadku uwzględnienia trzech zmiennych (LPR, LPP, LPU). Zauważalny jest większy

wpływ liczby pracujących w usługach (LPU) niż liczby pracujących w przemyśle (LPP). Potwierdza to wyniki uzyskane w analizie regresji wielorakiej. Najlepsze wyniki uzyskano dla sieci typu RBF i liniowej.

Tab. 5.25. Zestawienie wartości ilorazu błędu, miar oceny oraz typu i struktury sieci dla modeli SSN, zmienna objaśniana: potencjał ruchotwórczy [jazd/dobę], ciężkie samochody ciężarowe, wszystkie gminy (opracowanie własne)

Iloraz błędu z analizy wrażliwości dla zmiennej		Iloraz odchylenia standardowego	Korelacja	Średni błąd bezwzględny	Typ i struktura sieci
LPP ( $X_{10}$ )	LPU ( $X_{11}$ )				
1,14	1,34	0,65	0,79	271	Liniowa 2:2-1:1
1,15	1,32	0,66	0,80	299	MLP 2:2-1-1:1
1,13	1,37	0,64	0,80	268	RBF 2:2-3-1:1
1,20	1,34	0,67	0,81	320	GRNN 2:2-26-2-1:1

Niewątpliwą zaletą sztucznych sieci neuronowych jest możliwość ujawnienia nieoczywistych zależności pomiędzy zmiennymi objaśniającymi a zmienną zależną. Zachodzi jednocześnie ryzyko traktowania SSN jak czarnej skrzynki, która dla dowolnych danych wejściowych wygeneruje „jakiś” wynik. Z punktu widzenia modelowania potencjałów ruchotwórczych wadą SSN jest niemożliwość formalnego zapisu równania regresji. Wyuczona sieć musi zostać zapisana w formacie, który jest obsługiwany przez konkretną aplikację komputerową. Dopiero po odtworzeniu sieci możliwe jest obliczenie wartości zmiennej zależnej.

W niniejszej analizie główny nacisk położono na możliwość zastosowania SSN w modelowaniu potencjałów ruchotwórczych. Wyniki są obiecujące i wydaje się, że możliwe jest wykorzystanie SSN w dalszych badaniach. Jednocześnie uzyskane wyniki, biorąc pod uwagę istotność wpływu zmiennych, korelację oraz średni błąd bezwzględny są zbliżone do wyników regresji wielorakiej.

Weryfikację modelu potencjałów ruchotwórczych opracowanego na podstawie SSN przedstawiono w p. 5.5.3.

#### 5.4.5. Uwzględnienie podziału ciężkich samochodów ciężarowych

W modelowaniu potencjałów ruchotwórczych analizowano uproszczony podział na pojazdy lekkie (o DMC poniżej 3,5 t) i ciężkie (o DMC powyżej 3,5 t). Wynika to ze struktury dostępnych danych. Niemniej na etapie obliczania potencjałów ruchotwórczych niekiedy konieczna jest wiedza jaką część ciężkich samochodów ciężarowych stanowią samochody ciężarowe bez przyczep (SC) oraz samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami (SCP). Udziały poszczególnych typów pojazdów w potoku ruchu (ustalone na podstawie GPR) i w potencjale (ustalone na podstawie pomiarów własnych) przedstawiono w tab. 5.26.

Pomiary własne były pomiarami kordonowymi na granicach gmin, w których identyfikowano ruch tranzytowy samochodów ciężarowych. Dokładny opis badań własnych został przedstawiony w p. 5.5.2.



Tab. 5.26. Udziały SC i SCP w potencjale ruchotwórczym (pomiar własny) lub w potoku ruchu (GPR) (opracowanie własne)

Źródło	Udział w potoku ruchu lub w potencjale [%]	
	Samochody ciężarowe bez przyczep (SC)	Samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami (SCP)
GPR	30	70
Pomiary własne	50	50

Wartości podane w tab. 5.26 pozyskane z różnych źródeł różnią się od siebie. Wynika to z dwóch powodów. Po pierwsze GPR obejmuje drogi krajowe i wojewódzkie, natomiast w pomiarach własnych uwzględniono również drogi powiatowe. Podczas gdy na drogach wojewódzkich i krajowych przeważa udział samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami, na drogach powiatowych dominują samochody ciężarowe bez przyczep. Po drugie udziały poszczególnych pojazdów obliczone na podstawie GPR dają obraz ruchu, podczas gdy udziały określone na podstawie pomiarów własnych odnoszą się do potencjału ruchotwórczego. Zatem na etapie modelowania potencjałów ruchotwórczych zaleca się przyjmować udział poszczególnych grup ciężkich samochodów ciężarowych 50/50 %.

## 5.5. Weryfikacja obszarowego modelu potencjałów ruchotwórczych dla gminy

### 5.5.1. Wprowadzenie

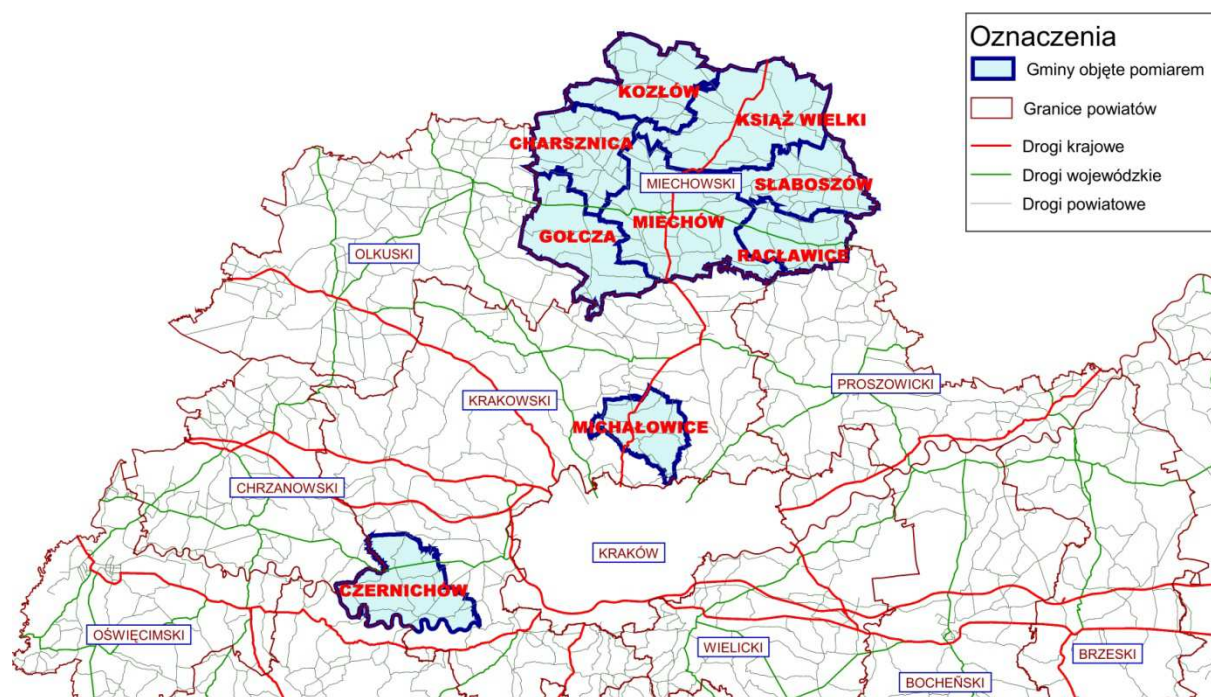
Weryfikację obszarowych modeli potencjałów ruchotwórczych wykonano na podstawie badań własnych wykonanych w powiecie miechowskim (7 gmin) i powiecie krakowskim ziemskim (2 gminy). Poligony badawcze zostały tak dobrane aby nie dublować gmin, które były objęte kompleksowymi badaniami ruchu w strefie podmiejskiej Krakowa.

Weryfikacja powinna zostać przeprowadzona na tym samym obiekcie, który został użyty do budowy modelu jednak dla innych danych. Weryfikację przeprowadzono dla gmin Czernichów i Michałowice, które były uwzględnione w kompleksowych badaniach ruchu w strefie podmiejskiej Krakowa. Z uwagi na dostępność pomiarów również dla innych gmin (7 gmin powiatu miechowskiego) przeprowadzono sprawdzenie czy opracowane modele mogą być zastosowane na innych obszarach.

### 5.5.2. Opis wykonanych pomiarów

Pomiary wykorzystane do weryfikacji modelu zostały wykonane w 2010 i 2012 roku. Zakresem objęły 2 gminy (Czernichów i Michałowice) w roku 2010 (pomiar pilotażowy) oraz wszystkie (7) gminy powiatu miechowskiego w roku 2012. Lokalizację gmin pokazano na rys. 5.13. W 2010 pomiary wykonano na granicach gmin, podczas gdy w roku 2012 na granicach gmin (ekrany) i granicy powiatu (kordon). W roku 2010 pomiar został wykonany 14 i 21 października (czwartki) i objął szczyt poranny (6:30 – 10:30) i popołudniowy (14:00 – 18:00). Pomiar w roku 2012 został wykonany 16 października (wtorek) i objął tylko szczyt poranny (7:00 – 11:00). W obu latach pomiar wykonywany był na wszystkich drogach krajowych, wojewódzkich i powiatowych przecinających granice gmin lub powiatu. W trakcie pomiaru zapisywane były numery rejestracyjne samochodów dostawczych (SD), samochodów ciężarowych bez przyczep (SC) oraz samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami (SCP) wraz z godzinami pojawienia się pojazdu w analizowanym przekroju (wjazd i wyjazd z obszaru). Poprzez porównanie numerów

rejestracyjnych na wlotach i wylotach z danej gminy obliczono ruch tranzytowy przebiegający przez gminę. Po odjęciu ruchu tranzytowego od natężenia ruchu na wlotach do gmin uzyskano ruch docelowy. Podobnie po odjęciu ruchu tranzytowego od natężenia ruchu na wylotach z gminy otrzymano ruch źródłowy. Ruch docelowy jest co do wartości równy potencjałowi absorbującemu, natomiast ruch źródłowy potencjałowi wytwarzającemu. W ten sposób uzyskano zewnętrzne potencjały ruchotwórcze gmin dla godziny szczytu porannego i popołudniowego, które zostały przedstawione w tab. 5.27. W przypadku gmin Czernichów i Michałowice pomiar prowadzony był w szczyte porannym i popołudniowym stąd dwie wartości potencjałów ruchotwórczych.



Rys. 5.13. Lokalizacja gmin objętych pomiarami kordonowymi ruchu (opracowanie własne)

W tab. 5.27 można zauważyć, że niemal w połowie przypadków potencjał wytwarzający jest zbliżony co do wartości do potencjału absorbującego (różnica mniejsza od 10 %). Widoczna jest również duża zmienność wielkości potencjałów w zależności od gminy, sięgająca niekiedy rzędu wielkości. Duże procentowe różnice występują szczególnie przy małych wartościach potencjałów. Widoczna jest różnica pomiędzy wartościami potencjałów ruchotwórczych dla szczytu porannego i popołudniowego dla gmin Czernichów i Michałowice.

Tab. 5.27. Potencjały ruchotwórcze gmin powiatu miechowskiego i krakowskiego uzyskane z wyników pomiarów (opracowanie własne)

Lp	Rok	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]			Potencjał absorbujący [P/h]		
				SD	SC	SCP	SD	SC	SCP
1	2012	Miechów	poranny	129	32	74	138	47	56
2		Gołcza	poranny	48	14	8	47	8	9
3		Charsznica	poranny	33	12	6	32	7	3
4		Kozłów	poranny	16	2	2	14	4	2
5		Książ Wielki	poranny	47	25	43	65	22	45
6		Słaboszów	poranny	16	3	3	11	3	3
7		Raławice	poranny	23	10	2	26	10	4
8	2010	Czernichów	poranny	104	41	16	95	35	26
9			popołudniowy	95	20	15	103	29	18
10		Michałowice	poranny	162	68	16	182	53	42
11			popołudniowy	112	30	27	152	30	50

Dodatkowo dla każdej gminy na podstawie Banku Danych Lokalnych GUS określono zmienne objaśniające do wzorów regresyjnych, które zostały zestawione w tab. 5.28. W większości są to gminy wiejskie (G3). W jednym przypadku (Miechów) uzyskano dane dla gminy miejsko-wiejskiej (G2).

Tab. 5.28. Zmienne objaśniające do analizy regresji dla gmin, w których wykonano pomiary własne ruchu wjazdowego i wyjazdowego (opracowanie własne na podstawie BDL)

Gmina	Rodzaj gminy	Zmienna objaśniająca										
		LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	ODL [km]
Miechów	miejsko-wiejska	20001	2375	82	481	1812	235	3525	26	913	2586	39
Gołcza	wiejska	6244	390	41	73	276	30	347	12	121	214	51
Charsznica	wiejska	7693	438	47	95	296	38	447	4	141	302	49
Kozłów	wiejska	4798	252	33	57	162	25	217	11	25	181	62
Książ Wielki	wiejska	5336	335	28	69	238	27	346	28	13	305	52
Słaboszów	wiejska	3759	184	24	40	120	15	93	1	0	92	54
Raławice	wiejska	2496	151	16	27	108	25	103	2	16	85	54
Czernichów	wiejska	13232	1185	32	343	810	82	650	3	148	499	23
Michałowice	wiejska	8442	871	19	208	644	67	380	40	73	267	12

### 5.5.3. Wyniki weryfikacji

Weryfikację przeprowadzono poprzez porównanie potencjałów ruchotwórczych uzyskanych z poszczególnych modeli z potencjałami ruchotwórczymi uzyskanymi z pomiarów dla gmin Czernichów i Michałowice. Wynika to z faktu, że obie te gminy zlokalizowane były w obszarze kompleksowych badań w strefie podmiejskiej Krakowa. Stąd weryfikację modelu przeprowadzono dla dwóch gmin, które były wykorzystane do jego budowy, jednak dla innych danych. Ponadto dokonano porównania modelowanych i pomierzonych potencjałów ruchotwórczych dla 7 gmin powiatu miechowskiego. Miało to na celu sprawdzenie czy model opracowany dla jednego obszaru (strefa podmiejska Krakowa i powiat poznański) może być zastosowany dla innego (powiat miechowski). W celu przeliczenia dobowych potencjałów ruchotwórczych, zarówno wytwarzającego jak i absorbującego, na godzinę szczytu porannego

lub popołudniowego użyto następujących udziałów, określonych na podstawie kompleksowych badań ruchu w strefie podmiejskiej Krakowa [89]:

- 11,2 % dla godziny szczytu porannego,
- 9,2 % dla godziny szczytu popołudniowego.

Szczegółowe obliczenia błędów dla poszczególnych modeli oraz gmin zamieszczono w Załączniku 3. W kolejnych tabelach przedstawiono średni błąd względny, liczony według wzoru:

$$\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_{pi} - x_{mi}}{x_{pi}}, \quad (5.12)$$

gdzie:  $x_{pi}$  – wartość potencjału uzyskana z pomiarów dla gminy „i” [jazd/godzinę szczytu],  
 $x_{mi}$  – wartość potencjału uzyskana z modelu dla gminy „i” [jazd/godzinę szczytu],  
 $n$  – liczba gmin.

W kolejnych tabelach pokazano wartości średnich błędów względnych dla różnych modeli potencjałów ruchotwórczych i dwóch grup gmin:

- dla gmin Czernichów i Michałowice ( $n=2$ ) w kolumnie o nazwie A,
- dla gmin powiatu miechowskiego ( $n=7$ ) w kolumnie o nazwie B.

Wyniki weryfikacji modeli wskaźników generacji ruchu przedstawiono w tab. 5.29. Biorąc pod uwagę wszystkie gminy najlepsze wyniki uzyskano dla zmiennej liczba podmiotów REGON w przemyśle (REGP). W przypadku gmin Czernichów i Michałowice, dla obu typów samochodów ciężarowych, najmniejszych błędy uzyskano dla modeli opartych o zmienne: liczba podmiotów REGON ogółem (REG) i liczba podmiotów REGON w usługach (REGU). Dziwią wysokie błędy dla zmiennych: liczba pracujących ogółem (LP), w przemyśle (LPP) i w usługach (LPU). Zaskakujące są natomiast dość dobre wyniki dla liczby podmiotów REGON w rolnictwie (REGR) dla gmin Czernichów i Michałowice.

Tab. 5.29. Wyniki weryfikacji modelu wskaźników generacji ruchu (opracowanie własne)

Zmienna objaśniająca	Średni błąd względny [%] (lekkie samochody ciężarowe)				Średni błąd względny [%] (ciężkie samochody ciężarowe)			
	Potencjał wytwarzający		Potencjał absorbujący		Potencjał wytwarzający		Potencjał absorbujący	
	A	B	A	B	A	B	A	B
LM ( $X_1$ )	35	105	43	123	37	126	32	129
REG ( $X_2$ )	29	47	36	62	32	59	29	60
REGR ( $X_3$ )	36	386	42	434	42	477	36	469
REGP ( $X_4$ )	36	37	43	49	38	54	33	48
REGU ( $X_5$ )	26	46	34	60	29	52	29	54
REGT ( $X_6$ )	21	64	32	76	31	72	38	65
LP ( $X_7$ )	77	52	78	48	76	56	80	43
LPR ( $X_8$ )	81	64	85	65	82	81	86	70
LPP ( $X_9$ )	91	77	91	77	91	82	93	78
LPU ( $X_{10}$ )	63	47	65	47	63	57	70	51

A – gminy Czernichów i Michałowice, B – gminy powiatu miechowskiego

Wyniki weryfikacji modeli regresji wielorakiej przedstawiono w tab. 5.30. W modelach regresji wielorakiej uzyskano generalnie większe wartości średnich błędów względnych niż w przypadku modeli wskaźników generacji ruchu. Wprowadzenie podziały na typy gmin (miejsko-wiejskie i wiejskie) spowodowało poprawę wyników dla gmin Czernichów i Michałowice, natomiast pogorszenie dla gmin powiatu miechowskiego. W przypadku gmin

Czernichów i Michałowice mniejsze błędy uzyskano dla modeli opartych o zmienne: liczba mieszkańców (LM), liczba pracujących w przemyśle (LPP) i liczba pracujących w usługach (LPU) niż o zmienne: liczba pracujących w rolnictwie (LPR), przemyśle (LPP) i usługach (LPU). Dla gmin powiatu miechowskiego sytuacja jest odwrotna.

Tab. 5.30. Wyniki weryfikacji modelu regresji wielorakiej (opracowanie własne)

Model	Średni błąd względny [%] (lekkie samochody ciężarowe)				Średni błąd względny [%] (ciężkie samochody ciężarowe)			
	Potencjał wytwarzający		Potencjał absorbujący		Potencjał wytwarzający		Potencjał absorbujący	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Regresja wieloraka w oparciu o zmienne LPR, LPP i LPU, bez podziału na typy gmin (Tab. 5.13)	62	46	64	47	66	53	73	42
Regresja wieloraka w oparciu o zmienne LPR, LPP i LPU, w podziale na typy gmin (Tab. 5.14)	47	50	50	55	46	61	56	56
Regresja wieloraka w oparciu o zmienne LM, LPP i LPU, bez podziału na typy gmin (Tab. 5.15)	32	87	39	107	67	56	73	49
Regresja wieloraka w oparciu o zmienne LM, LPP i LPU, w podziale na typy gmin (Tab. 5.15)	39	119	46	135	38	85	42	89

A – gminy Czernichów i Michałowice, B – gminy powiatu miechowskiego

Wyniki weryfikacji modeli nieliniowych jednej zmiennej przedstawiono w tab. 5.31.

Tab. 5.31. Wyniki weryfikacji dla modelu nieliniowego jednej zmiennej, wszystkie gminy (opracowanie własne)

Zmienna objaśniająca	Średni błąd względny [%] (lekkie samochody ciężarowe)				Średni błąd względny [%] (ciężkie samochody ciężarowe)			
	Potencjał wytwarzający		Potencjał absorbujący		Potencjał wytwarzający		Potencjał absorbujący	
	A	B	A	B	A	B	A	B
LM ( $X_1$ )	32	124	32	124	45	209	40	202
REG ( $X_2$ )	23	129	23	129	38	166	35	161
REGR ( $X_3$ )	34	308	34	308	49	497	43	483
REGP ( $X_4$ )	25	128	25	128	44	135	39	129
REGU ( $X_5$ )	23	128	23	128	35	178	32	172
REGT ( $X_6$ )	34	308	40	353	34	170	46	148
LP ( $X_7$ )	38	96	47	110	40	120	54	118
LPR ( $X_8$ )	10	325	10	364	8	349	21	315
LPP ( $X_9$ )	50	77	57	82	40	129	54	134
LPU ( $X_{10}$ )	31	116	41	133	42	153	46	148

A – gminy Czernichów i Michałowice, B – gminy powiatu miechowskiego

W analizie regresji nieliniowej zaskakuje bardzo mały błąd dla zmiennej liczba pracujących w rolnictwie (LPR). Jest to dziwny wynik zważając na niską korelację, wyrażoną współczynnikiem korelacji Spearmana, pomiędzy LPR a potencjałem ruchotwórczym. Dla gmin powiatu miechowskiego uzyskano bardzo wysokie średnie błędy oszacowania dla wszystkich analizowanych zmiennych objaśniających. W przypadku gmin Czernichów i Michałowice średnie błędy względne wahają się od 8 % do 57 % w zależności od zmiennej objaśniającej.

Bardzo dobre wyniki uzyskano w analizie sztucznych sieci neuronowych dla gmin Czernichów i Michałowice. Jedynie w trzech przypadkach średni błąd względny jest większy od 40%. Zaskakują bardzo duże błędy dla gmin powiatu miechowskiego. Należy zwrócić uwagę, że dla gminy Miechów uzyskane błędy są porównywalne z błędami uzyskanymi dla gmin Czernichów i Michałowice. Stąd główną przyczyną tak dużych błędów dla jest znaczne przeszacowanie potencjału ruchotwórczego przez model w przypadku pozostałych gmin powiatu miechowskiego.

W przypadku lekkich samochodów ciężarowych mniejsze błędy względne uzyskano dla sieci wykorzystujących zmienne: liczba pracujących w rolnictwie (LPR), liczba pracujących w przemyśle (LPP) i liczba pracujących w usługach (LPU). Dla ciężkich samochodów ciężarowych lepszy, pod względem średniego błędu względnego, okazał się model oparty o liczbę pracujących w przemyśle (LPP) i usługach (LPU).

Porównując różne typy sieci między sobą można zauważyć, że najlepsze wyniki uzyskano dla sieci perceptron wielowarstwowy (MLP) i uogólnionej regresji (GRNN).

Tab. 5.32. Wyniki weryfikacji modelu sztucznych sieci neuronowych (SSN) dla zmiennych LPR LPP i LPU, wszystkie gminy, lekkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

Model (Tab. 5.22)	Średni błąd względny [%] (lekkie samochody ciężarowe)			
	Potencjał wytwarzający		Potencjał absorbujący	
	A	B	A	B
Liniowa 2:2-1:1	21	233	32	263
MLP 2:2-1-1:1	15	361	25	410
RBF 3:3-3-1:1	20	318	28	358
GRNN 3:3-26-2-1:1	22	302	30	342

A – gminy Czernichów i Michałowice, B – gminy powiatu miechowskiego

Tab. 5.33. Wyniki weryfikacji modelu sztucznych sieci neuronowych (SSN) dla zmiennych LM i LPU, wszystkie gminy, lekkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

Model (Tab. 5.24)	Średni błąd względny [%] (lekkie samochody ciężarowe)			
	Potencjał wytwarzający		Potencjał absorbujący	
	A	B	A	B
Liniowa 2:2-1:1	32	168	39	191
MLP 2:2-2-1:1	27	221	34	251
RBF 2:2-10-1:1	42	140	48	156
GRNN 2:2-26-2-1:1	22	298	30	338

A – gminy Czernichów i Michałowice, B – gminy powiatu miechowskiego

Tab. 5.34. Wyniki weryfikacji modelu sztucznych sieci neuronowych (SSN) dla zmiennych LPR LPP i LPU, wszystkie gminy, ciężkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

Model (Tab. 5.23)	Średni błąd względny [%] (ciężkie samochody ciężarowe)			
	Potencjał wytwarzający		Potencjał absorbujący	
	A	B	A	B
Liniowa 3:3-1:1	41	128	52	120
MLP 2:2-4-1:1	24	343	32	317
RBF 3:3-4-1:1	36	290	43	272
GRNN 3:3-26-2-1:1	24	351	33	326

A – gminy Czernichów i Michałowice, B – gminy powiatu miechowskiego

Tab. 5.35. Wyniki weryfikacji modelu sztucznych sieci neuronowych (SSN) dla zmiennych LPP i LPU, wszystkie gminy, ciężkie samochody ciężarowe (opracowanie własne)

Model (Tab. 5.25)	Średni błąd względny [%] (ciężkie samochody ciężarowe)			
	Potencjał wytwarzający		Potencjał absorbujący	
	A	B	A	B
Liniowa 2:2-1:1	28	291	32	273
MLP 2:2-1-1:1	24	395	23	369
RBF 2:2-3-1:1	28	308	31	288
GRNN 2:2-26-2-1:1	25	460	23	428

A – gminy Czernichów i Michałowice, B – gminy powiatu miechowskiego

Najbliższe rzeczywistym pomiarom uzyskano wyniki z modelu sztucznych sieci neuronowych dla gmin Czernichów i Michałowice. Dla tych samych gmin satysfakcjonujące wyniki uzyskano dla modelu wskaźników generacji ruchu, za wyjątkiem zmiennych liczba pracujących ogółem (LP) i w podziale na sektory (LPR, LPP, LPU).

W przypadku wskaźników generacji ruchu, biorąc pod uwagę wszystkie gminy, najlepszą zmienną jest liczba podmiotów REGON w sektorze przemysłowym (REGP). W przypadku braku tych danych możliwe jest wykorzystanie liczby podmiotów REGON ogółem (REG), dla której uzyskano niewiele gorszy model.

W przypadku regresji wielorakiej zalecane jest wykorzystanie modeli opartych o zmienne: liczba mieszkańców (LM), liczba pracujących w przemyśle (LPP) i liczba pracujących w usługach (LPU), zgodnie ze wzorami podanymi w tab. 5.15, w podziale na typy gmin. Niestety, w tym przypadku istnieje ryzyko przeszacowania potencjału ruchotwórczego dla słabiej rozwiniętych gmin.

Reasumując etap weryfikacji modeli można stwierdzić, że modelowane potencjały ruchotwórcze różnią się od obserwowanych nawet kilkakrotnie. Wynikać to może z kilku aspektów. Po pierwsze pomiary do weryfikacji prowadzone były w innym okresie (miesiąc roku, dzień) niż badania ankietowe w strefie podmiejskiej Krakowa, powiecie poznańskim oraz pomiary na sieci dróg krajowych i wojewódzkich. Inną kwestią jest, że model potencjałów ruchotwórczych dla gmin tworzony był dla doby, natomiast pomiary własne wykonano w godzinach szczytu (porannego i popołudniowego). Stąd przeliczenie dobowych potencjałów na godzinowe może być obciążone pewnym błędem. W końcu drogowy transport ładunków charakteryzuje się dużą zmiennością (por. p. 5.6.3). Wykonanie jednodniowego pomiaru jest obciążone zmiennością losową. Niemniej wyniki weryfikacji dają podstawę do wnioskowania o czynnikach wpływu na potencjał ruchotwórczy oraz propozycji modelu do wykorzystania w analizach ruchu, co zostało przedstawione w dalszej części pracy.

## 5.6. Budowa obiektowego modelu potencjałów ruchotwórczych

### 5.6.1. Wprowadzenie

W zasadzie każdy obiekt kubaturowy jest generatorem ruchu ciężarowego. Kwestią do rozwiązania jest odpowiedź na pytanie o wielkość ruchu wytwarzanego i absorbowanego przez dany obiekt oraz jego zmienność (dobowa, tygodniowa, roczna). Zwykle potencjał ruchotwórczy obiektu wyrażany jest w liczbie podróży rozpoczynanych i kończonych na 1000 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej lub zabudowy bądź na 1 pracownika.

Badania nad ruchotwórczością różnego typu obiektów w Polsce nadal są bardzo ograniczone. Można wymienić badania przeprowadzone we Wrocławiu [181], w Krakowie [52] i w Gdańsku [78]. W przypadku badań w Krakowie i Gdańsku analizowano ruch generowany przez klientów centrów handlowych. Pomimo małej liczby badań wiedza o ruchotwórczości obiektów jest bardzo istotna i prowadzenie tego typu badań jest konieczne. Potwierdza to chociażby przegląd literatury.

Obiektowy model potencjałów ruchotwórczych ma dwojake zastosowanie. Z jednej strony możliwe jest określenie ruchu generowanego przez dany obiekt na etapie planowania. Z drugiej strony potencjał ruchotwórczy dużych generatorów ruchu ciężarowego (np. zakłady produkcyjne, centra logistyczne) może służyć do szacowania o ile zwiększy się potencjał gminy w wyniku lokalizacji danego obiektu w gminie. Zatem obiektowe generatory ruchu współtworzą potencjał ruchotwórczy gminy.

W dalszej części przedstawiono metodykę oraz wyniki pomiarów ruchu wykonanych w celu identyfikacji ruchu związanego w pojedynczymi generatorami ruchu. Z uwagi na ograniczone środki finansowe na badania starano się pozyskać dane dla różnych typów obiektów zlokalizowanych w różnych częściach Krakowa i powiatu krakowskiego. Dodatkowo wykonano pomiar na dwóch obiektach w Olkuszu. Przytoczono wyniki badań przeprowadzonych w ramach prac dyplomowych, których konsultantem był autor. Główny nacisk położono na analizę danych uzyskanych z pomiarów własnych

### 5.6.2. Opis wykonanych pomiarów

Zakres zadania objął w pierwszej kolejności wystąpienie do administratorów 24 obiektów z oficjalną prośbą o udostępnienie danych o liczbie wjazdów i wyjazdów samochodów ciężarowych bądź umożliwienie wykonania pomiarów ruchu. W dwóch przypadkach wyrażona została zgoda na udostępnienie danych, która jednak została cofnięta po ok. 2 miesiącach. W przypadku nieudostępnienia danych a wyrażonej zgodzie na wykonanie pomiarów zostały one wykonane w porozumieniu z administratorem obiektu. Taka sytuacja miała miejsce w jednym przypadku (skład budowlany Melle). W przypadku odmowy udostępnienia danych i wykonania pomiarów, braku odpowiedzi lub sytuacji nie występowania o taką zgodę pomiar został zrealizowany poprzez pomiar wjazdów i wyjazdów do obiektu. Łącznie wykonano pomiary na 25 obiektach o różnym charakterze. W dwóch przypadkach powtórzono pomiar po tygodniu. W jednym przypadku wykonano pomiary od poniedziałku do piątku. Uzyskano w ten sposób próbę 30 obserwacji (tab. 5.36). Lokalizację obiektów na terenie Krakowa pokazano w Załączniku 4.



Tab. 5.36. Zestawienie obiektów dla których wykonano pomiary wjazdowego i wyjazdowego ruchu ciężarowego (opracowanie własne)

Lp.	Nazwa obiektu	Typ obiektu*	Liczba dni pomiarowych	Powierzchnia zabudowy (użytkowa) [m <sup>2</sup> ]	Powierzchnia terenu [ar]
1	Wytwórnia betonu CEMBET, Kraków, ul. Domagały	B	1	b.d.	270
2	Centrum Handlowe M1, Kraków, ul. Nowohucka	CH	2	(53700)	1500
3	Futura Park, Modlniczka	CH	1	(44000)	b.d.
4	MK Logistic, Kraków, ul. Półhanki	CL	1	27000	590
5	Panattoni Park, Skawina	CL	1	18000	388
6	MIX Electronics, Skawina	CL	1	11000	350
7	CL IDC Polonia S.A., Kraków, ul. Półhanki	CL	1	12100	219
8	MARR Business Park, Kraków, ul. Nad Drwinią	CL	1	38080	1500
9	CL Raben, Cholerzyn	CL	1	5000	400
10	CL Półhanki 82, Kraków, ul. Półhanki	CL	2	4474	228
11	Hurtownia spożywcza WIGO, Kraków, ul. Tomickiego	H	1	1691	34
12	Phillip Morris International, Kraków, Al. Jana Pawła II	ZP	1	52619	27
13	Pilkington, Kraków, ul. Półhanki	ZP	1	6100	210
14	SABAJ, Kraków, ul. Domagały	ZP	1	27770	1300
15	EMALIA S.A., Olkusz	ZP	1	44900	1100
16	Owent, Olkusz	ZP	1	1400	190
17	Frapol, Kraków, ul. Mierzeja Wiślana	ZP	1	6550	135
18	Castorama, Kraków, ul. Walerego Sławka	WSB	1	8550	143
19	Obi, Kraków, ul. Bora-Komorowskiego	WSB	1	10800	200
20	Leroy Merlin, Modlniczka	WSB	1	16000	341
21	Skład budowlany, Skawina	SB	1	b.d.	117
22	Skład budowlany, Kraków, ul. Tyniecka	SB	1	b.d.	91
23	Melle, Kraków, ul. Radzikowskiego	SB	5	b.d.	47
24	Van Gansewinkel, Kraków, ul. Półhanki	SOZ	1	2500	92
25	Scania Polska, Kraków, ul. Tyniecka	SC	1	1550	132

\* oznaczenia w kolumnie „Typ obiektu”: B – wytwórnia betonu, CL – centrum logistyczne, H – hurtownia, ZP – zakład produkcyjny, WSB – wielkopowierzchniowy sklep budowlany, SB – skład budowlany, SOZ – sortownia odpadów zmieszanych, SC – serwis samochodów ciężarowych

Pomiary ruchu ciężarowego związanego z funkcjonowaniem obiektów produkcyjnych, handlowych i magazynowych zostały przeprowadzone w ciągu kilku dni roboczych (wtorki, środy i czwartki) w październiku 2011 roku. Swoim zakresem objęły obiekty o różnej charakterystyce i lokalizacji. W większości przypadków (26 obserwacji) pomiar trwał 12 godzin (od 6:00 do 18:00). Przyjęty czas pomiaru wynikał z godzin funkcjonowania obiektów (okresów realizacji dostaw), które w większości przypadków mieściły się w założonym okresie. W trzech przypadkach (3 obserwacje obejmujące dwa centra logistyczne i zakład produkcyjny) przeprowadzono pomiary całodobowe. Dla dwóch obiektów (wielkopowierzchniowe centrum handlowe oraz centrum logistyczne) wykonano dwukrotny pomiar w odstępie tygodnia. Dla składu budowlanego, którego administrator wyraził zgodę na wykonanie pomiaru, przeprowadzono tygodniowe badania (od poniedziałku do piątku) w godzinach jego funkcjonowania (od 7:00 do 17:00).

### 5.6.3. Analiza wyników

Na podstawie wyników przeprowadzonych pomiarów w pierwszej kolejności obliczono wskaźniki generacji ruchu dla poszczególnych grup obiektów. Wskaźniki generacji ruchu wyrażają liczbę rozpoczynanych (potencjał wytwarzający) lub kończonych (potencjał absorbujący) jazd samochodów ciężarowych na terenie zajmowanym przez dany obiekt i zostały wyrażone w jazdach na 1 ar powierzchni terenu lub na 1000 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej lub zabudowy. Jeśli nie była dostępna informacja o powierzchni użytkowej wykorzystano łatwą do oszacowania powierzchnię zabudowy.

Średnie wskaźniki generacji ruchu zostały przedstawione w tab. 5.37. Dla wielkopowierzchniowych centrów handlowych i sklepów budowlanych podano wskaźniki generacji ruchu tylko dla samochodów ciężarowych realizujących dostawy.

Przedstawione w tab. 5.37 wskaźniki generacji ruchu różnią się znacznie od siebie dla różnych rodzajów obiektów, co jest kwestią oczywistą. W poszczególnych grupach obiektów wskaźniki dla potencjału wytwarzającego i absorbującego są do siebie zbliżone (np. składy budowlane, centra handlowe, wielkopowierzchniowe sklepy budowlane). Jest to zrozumiałe, gdyż obiekty te zwykle nie oferują możliwości parkowania dla dostawców i konieczny jest wyjazd po rozładunku lub załadunku. W przypadku centrów logistycznych lub zakładów produkcyjnych nierówne wartości wskaźników generacji ruchu dla potencjału wytwarzającego i absorbującego wynikają z charakterystyki obiektu i zasięgu transportu. Zakłady produkcyjne, zarówno te, które posiadają jak i te, które nie posiadają własnego transportu, wysyłają produkty do odbiorców w całej Polsce i Europie. Nie jest możliwe, aby pojazd jadący z ładunkiem na odległość rzędu 500 km był w stanie powrócić w tym samym dniu. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku centrów logistycznych, które przyjmują ładunki transportowane przede wszystkim przez ciężkie samochody ciężarowe z bardzo odległych miejsc. Tu jednak można zauważyć zbliżone wartości wskaźników generacji ruchu dla potencjału wytwarzającego i absorbującego w przypadku samochodów dostawczych, które zwykle wykonują krótkie jazdy w pobliżu obiektu, często realizując ostatni etap transportu ładunków do odbiorców końcowych (zwany w literaturze amerykańskiej „last mile” czyli „ostatnia mila”).

Tab. 5.37. Wskaźniki generacji ruchu dla poszczególnych grup obiektów w okresie 6:00 – 18:00 [jazd/12 godzin] (opracowanie własne)

Lp	Grupa obiektów	Liczebność próby* (liczba pomiarów)	Wskaźniki generacji ruchu [jazd/jednostkę powierzchni/12 godzin]						
			Jednostka powierzchni	Potencjał wytwarzający			Potencjał absorbujący		
				SD	SC	SCP	SD	SC	SCP
1	Wytwórnia betonu	1 (1)	1 ar powierzchni terenu	0,011	0,074	0,207	0,011	0,081	0,196
2	Wielko-powierzchniowe centrum handlowe	2 (3)	1000 m <sup>2</sup> powierzchni użytkowej	1,145	0,314	0,225	0,853	0,269	0,205
3	Centrum logistyczne	7 (8)	1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy	3,721	2,381	2,348	3,501	3,227	2,055
4	Hurtownia spożywcza	1 (1)	1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy	2,957	8,279	3,548	4,140	8,279	2,957
5	Zakład produkcyjny	6 (6)	1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy	2,007	0,973	0,519	2,506	1,346	0,561
7	Wielko-powierzchniowy sklep budowlany	3 (3)	1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy	1,826	0,925	0,336	1,826	0,925	0,224
8	Skład budowlany	3 (7)	1 ar powierzchni terenu	0,645	0,154	0,031	0,673	0,174	0,054
9	Sortownia śmieci	1 (1)	1 ar powierzchni terenu	0,033	0,543	0,033	0,054	0,435	0,011
10	Serwis samochodów ciężarowych	1 (1)	1 ar powierzchni terenu	0,076	0,023	0,121	0,061	0,038	0,091

\* dla obiektów o liczebności próby  $\geq 2$  podano wartości średnie

### ***Centra logistyczne***

Biorąc pod uwagę specyfikę centrów logistycznych dla dwóch tego typu obiektów, różniących się od siebie formą użytkowania, przeprowadzono pomiar dobowy. W CL1 (Panattoni Park, Skawina) powierzchnie magazynowe wynajmowane są przez różne firmy, natomiast CL2 (MIX Electronics, Skawina) wykorzystywane są tylko przez jedną firmę zajmującą się sprzedażą produktów gospodarstwa domowego.

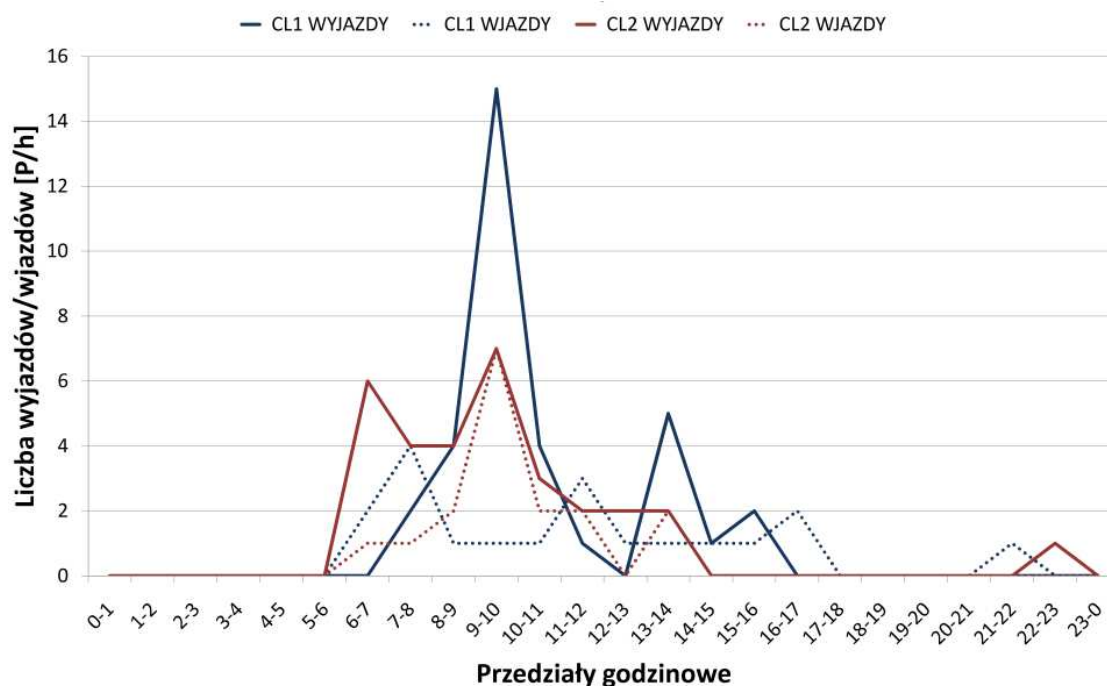
Uzyskane z pomiarów potencjały ruchotwórcze zostały przedstawione w tab. 5.38 w wierszach nazwanych A. W kolejnych wierszach (B i C) przedstawiono odpowiednio wskaźniki generacji ruchu na 1000 m<sup>2</sup> powierzchni zabudowy oraz wskaźniki generacji ruchu na 1 ar powierzchni terenu.

Tab. 5.38. Porównanie wskaźników generacji ruchu dla dwóch centrów logistycznych, pomiar dobowy, [jazd/dobę] (opracowanie własne)

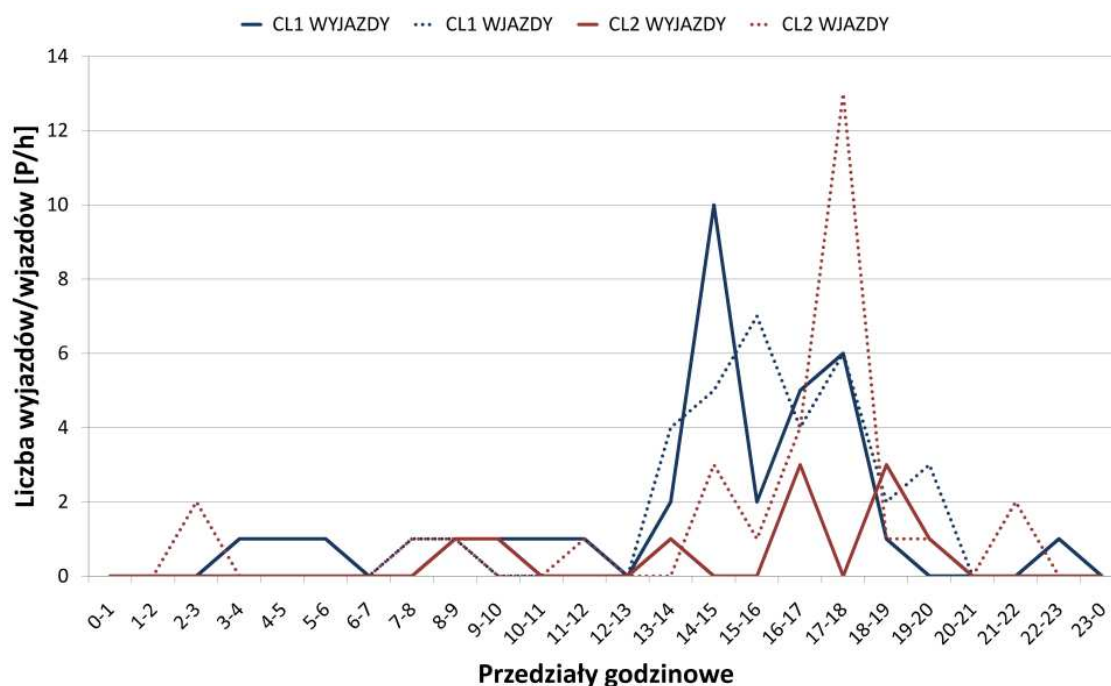
Centrum logistyczne	Dobowa liczbajazd samochodów ciężarowych (A) Dobowy wskaźnik generacji ruchu na 1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy (B) Dobowy wskaźnik generacji ruchu na 1 ar powierzchni terenu (C)						
		Potencjał wytwarzający			Potencjał absorbujący		
		SD	SC	SCP	SD	SC	SCP
CL1	A	19	34	33	34	45	42
	B	1,056	1,889	1,833	1,889	2,5	2,333
	C	0,049	0,088	0,085	0,088	0,116	0,108
CL2	A	17	31	30	10	18	27
	B	1,545	2,818	2,727	0,909	1,636	2,455
	C	0,049	0,089	0,086	0,029	0,051	0,077

Wyniki dobowych pomiarów ruchu potwierdzają wstępne wnioski o zróżnicowaniu wartości wskaźników generacji ruchu dla potencjału wytwarzającego i absorbującego. Nierówności te występują dla wszystkich typów pojazdów, czego przyczyną może być daleki transport (międzynarodowy, krajowy) związany z obiektem. Potwierdzenie tej tezy możliwe byłoby po wykonaniu badań ankietowych wśród kierowców lub uzyskaniu bazy danych od administratora obiektu. Zauważalne jest również zróżnicowanie wskaźników generacji ruchu pomiędzy centrami logistycznymi CL1 i CL2. Wynika to głównie z innego charakteru obu obiektów.

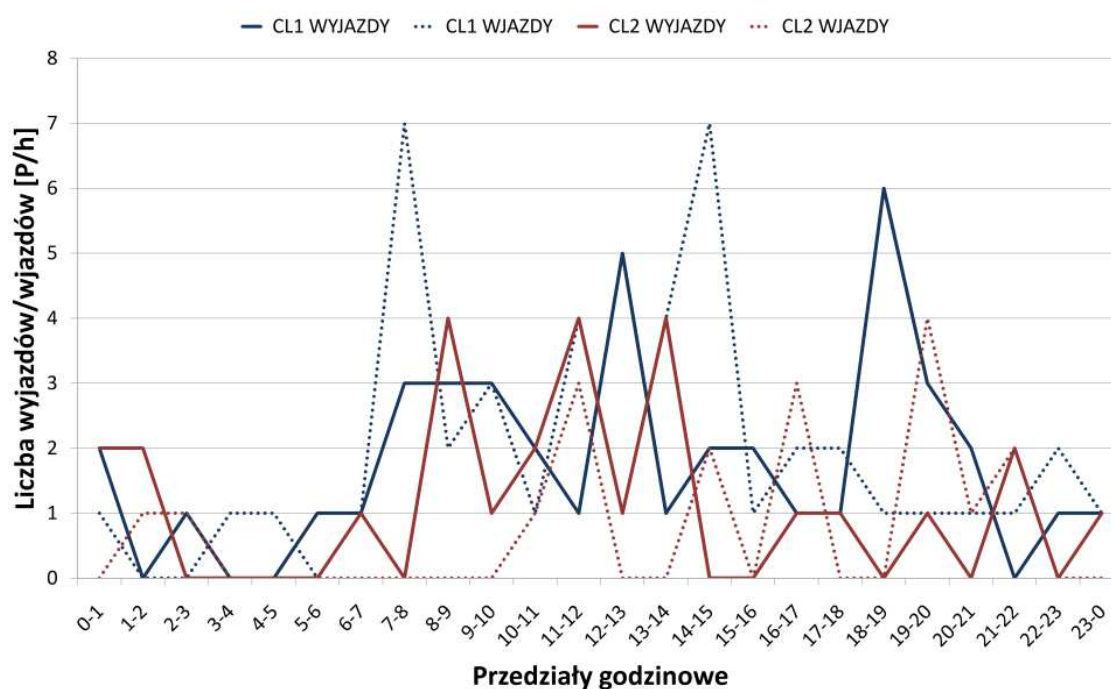
Badane centra logistyczne charakteryzuje ich funkcjonowanie przez całą dobę. Dlatego określono dobową zmienność ruchu dla obu obiektów. Zmienność dobową liczby jazd odpowiednio samochodów dostawczych, samochodów ciężarowych bez przyczep oraz samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami zostały przedstawione na rysunkach 5.14 – 5.16.



Rys. 5.14. Dobowa zmienność liczby wyjazdów i wjazdów dla dwóch badanych centrów logistycznych CL1 i CL2 – samochody dostawcze (SD) (opracowanie własne)



Rys. 5.15. Dobowa zmienność liczby wyjazdów i wjazdów dla dwóch badanych centrów logistycznych CL1 i CL2 – samochody ciężarowe bez przyczep (SC) (opracowanie własne)



Rys. 5.16. Dobowa zmienność liczby wyjazdów i wjazdów dla dwóch badanych centrów logistycznych CL1 i CL2 – samochody ciężarowe z przyczepami, ciągniki siodłowe z naczepami (SCP) (opracowanie własne)

Na rys. 5.14, rys. 5.15 i rys. 5.16 zauważalna jest bardzo duża zmienność dobową liczby rozpoczynanych i kończonych jazd samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami (rys. 5.16). Trudno określić okresy szczytowe, niemniej dla CL1 zauważalne są 2 godziny szczytu, porannego i popołudniowego, odpowiednio między 7:00 i 8:00 oraz między 14:00 i 15:00. W przypadku samochodów dostawczych godziny szczytu przypadają na okres poranny, pomiędzy godzinami 7:00 i 10:00 (rys. 5.14). Natomiast

w przypadku samochodów ciężarowych bez przyczep wyraźnie rysuje się szczyt popołudniowy, pomiędzy 14:00 i 18:00, zarówno dla wyjazdów jak i wjazdów (rys. 5.15).

Należy zauważyć, że zmienność w czasie ma charakter losowy i jednorazowy pomiar nie jest w stanie tego ujawnić.

Udział ruchu poza standardowym okresem pomiarów dla innych obiektów, tj. dla okresu 18:00 – 6:00, w przypadku CL1 i CL2 wynosi:

- dla samochodów dostawczych (SD) – 2 % dla CL1 i 2 % dla CL2,
- dla samochodów ciężarowych bez przyczep (SC) – 15 % dla CL1 i 25 % dla CL2,
- dla samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami – 31 % dla CL1 i 38 % dla CL2.

Analizując dalej specyfikę centrów logistycznych przeprowadzono badanie na tym samym obiekcie (CL Półnanki 82 w Krakowie) w ciągu dwóch dni w odstępie tygodnia. Wyniki pomiarów oraz obliczone na ich podstawie wskaźniki generacji ruchu przedstawiono w tab. 5.39. Badane centrum logistyczne funkcjonuje w godzinach 6:00 – 18:00.

Tab. 5.39. Porównanie wskaźników generacji ruchu dla jednego centrum logistycznego dla dwóch dni pomiarowych, okres pomiaru 6:00 – 18:00, [jazd/12 godzin] (opracowanie własne)

Nr pomiaru	Data pomiaru	Liczbajazd samochodów ciężarowych					
		Wskaźnik generacji ruchu na 1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy			Potencjał absorbujący		
		Potencjał wytwarzający		SCP	Potencjał absorbujący		SCP
		SD	SC	SCP	SD	SC	SCP
1	20-10-2011 (czwartek)	<u>23</u>	<u>11</u>	<u>8</u>	<u>31</u>	<u>15</u>	<u>9</u>
		5,1	2,5	1,8	6,9	3,4	2,0
2	27-10-2011 (czwartek)	<u>18</u>	<u>5</u>	<u>13</u>	<u>23</u>	<u>11</u>	<u>14</u>
		4,0	1,1	2,9	5,1	2,5	3,1

Również w tym przypadku zauważalna jest spora różnica pomiędzy wskaźnikami generacji ruchu dla potencjału wytwarzającego i absorbującego. Poza tym zauważyć można zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi dniami pomiarowymi, co potwierdza dużą losową zmienność ruchu ciężarowego.

### Składy i sklepy budowlane

Kolejną grupą obiektów są składy budowlane. W jednym ze składów (MELLE, Kraków) uzyskano zgodę na przeprowadzenie tygodniowego pomiaru ruchu ciężarowego związanego z funkcjonowaniem obiektu. Wyniki pomiarów przedstawiono w tab. 5.40.

Tab. 5.40. Ruch generowany przez skład budowlany w ciągu tygodnia, pomiar w godzinach pracy składu 7:00 – 17:00 (opracowanie własne)

Dzień pomiaru	Transport	Liczbajazd samochodów ciężarowych [jazd/dobę]					
		SD		SC		SCP	
		P*	A**	P	A	P	A
Poniedziałek	Własny	3	3	4	4	2	2
	Obcy	43	43	13	13	1	1
	<b>Łącznie</b>	<b>46</b>	<b>46</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Wtorek	Własny	4	4	5	5	0	0
	Obcy	42	42	2	2	0	0
	<b>Łącznie</b>	<b>46</b>	<b>46</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Środa	Własny	5	5	3	3	0	0
	Obcy	45	45	3	3	3	3
	<b>Łącznie</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Czwartek	Własny	3	3	1	0	0	0
	Obcy	41	41	3	3	0	0
	<b>Łącznie</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Piątek	Własny	2	2	2	3	0	0
	Obcy	26	26	13	13	1	1
	<b>Łącznie</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

\* P – potencjał wytwarzający

\*\* A – potencjał absorbujący

W tab. 5.40 wprowadzono rozróżnienie na transport własny i obcy. Transport własny to realizacja zamówień klientów przez pojazdy będące własnością składu budowlanego. Jako transport obcy należy rozumieć dostawy lub odbiór towaru realizowane przez inne firmy jak również ruch generowany przez klientów indywidualnych lub małe przedsiębiorstwa budowlane (głównie z użyciem samochodów dostawczych). W tab. 5.40 widoczne jest nasilenie obcego transportu realizowanego samochodami ciężarowymi bez przyczep w poniedziałek i piątek. Zapewne ma na to wpływ realizacja dostaw od producentów materiałów budowlanych oraz większe zakupy na początku i końcu tygodnia realizowane przez firmy budowlane. Wyraźny jest spadek ruchu samochodów dostawczych w piątek.

W pracy dyplomowej [85], której konsultantem był autor niniejszej dysertacji, dyplomant miał do dyspozycji zapis wjazdów i wyjazdów samochodów realizujących dostawy do jednego z wielkopowierzchniowych sklepów budowlanych w Krakowie (sklep OBI przy ul. Wielickiej) z 75 kolejnych dni. Niestety, formularz nie zawierał podziału na typy samochodów ciężarowych (SD, SC i SCP). Na podstawie wpisanej w arkuszu marki pojazdów oraz czasów rozładunku zostały one sklasyfikowane do dwóch grup: samochody lekkie (o DMC do 3,5 tony, czyli samochody dostawcze) oraz samochody ciężkie (o DMC powyżej 3,5 tony, czyli SC i SCP). Zauważono wyraźne zróżnicowanie w liczbie dostaw pomiędzy grupami dni: poniedziałek, środa i piątek oraz wtorek i czwartek, co zostało potwierdzone analizą wariancji i testami istotności dla dwóch wartości średnich [85]. W okresie 9:00 – 12:00 realizowanych było przeszło 50 % przyjęć towaru. Dostawy odbierane były przez obsługę sklepu tylko w godzinach 8:00 – 16:00. Wskaźniki generacji ruchu opracowane w ramach [85] na podstawie danych uzyskanych od administracji sklepu zostały przedstawione w tab. 5.41 w wierszu 4 i 5. W wierszach 1, 2 i 3 zamieszczono

wskaźniki generacji ruchu uzyskane w ramach badań własnych dla trzech różnych wielkopowierzchniowych sklepów budowlanych.

Tab. 5.41. Wskaźniki generacji ruchu dla wielkopowierzchniowych sklepów budowlanych – tylko dostawy (opracowanie własne)

Obiekt	Data pomiaru	Wskaźnik generacji ruchu na 1000 m <sup>2</sup> powierzchni zabudowy [jazd/dobę]			
		Potencjał wytwarzający i absorbujący			
		SD	SC	SCP	Łącznie
Leroy-Merlin, Modlniczka	27-10-2011 (czwartek)	1,3	0,56	0,44	2,3
OBI, Kraków, ul. Bora-Komorowskiego	27-10-2011 (czwartek)	0,93	0,65	0,19	1,8
Castorama, Kraków, ul. Sławka	28-10-2011 (piątek)	2,3	1,3	0,23	3,9
OBI, Kraków, ul. Wielicka	02-11-2009÷15-01-2010, łącznie 75 dni (poniedziałki, środy, piątki)	1,6	1,2		2,8
	02-11-2009÷15-01-2010, łącznie 75 dni (wtorki, czwartki)	1,9	1,3		3,2

Nadal zauważalne są różnice pomiędzy wskaźnikami generacji dla poszczególnych obiektów. Rozbieżności są mniejsze dla SC oraz SCP traktowanych łącznie i sięgają kilkunastu procent. Nieco większe rozbieżności zauważalne są dla samochodów dostawczych, co przekłada się na różnice w sumarycznym wskaźniku generacji ruchu. Niemniej uzyskane wyniki można uznać za obiecujące i potwierdzające słuszność przyjętego kierunku badań. Należy przypomnieć, że w tab. 5.41 przedstawiono wskaźniki generacji ruchu tylko dla realizacji dostaw towarów do sklepów. Nie są tu ujęci klienci sklepów dojeżdżający np. samochodami dostawczymi.

### ***Centra handlowe***

Badania ruchotwórczości centrów handlowych w Krakowie prowadzone były w 2001 roku [52]. Dotyczyły one ruchu generowanego przez klientów tych obiektów. W niniejszej dysertacji podjęto próbę oszacowania wielkości ruchu związanego z dostawami do centrów handlowych.

W ramach pracy dyplomowej [125], której konsultantem był autor niniejszej dysertacji, stworzono model potencjałów ruchotwórczych dla dostaw do dużych centrów handlowych w Krakowie. Pomiary ruchu wykonane zostały w godzinach 8:00 – 16:00 i obejmowały rejestrację godziny wjazdu i wyjazdu samochodów realizujących dostawy w podziale na trzy grupy: samochody dostawcze (SD), samochody ciężarowe bez przyczep (SC) oraz samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami (SCP).



Tab. 5.42. Wskaźniki generacji ruchu dla centrów handlowych w Krakowie (opracowanie własne)

Lp.	Obiekt	Powierzchnia użytkowa obiektu [1000 m <sup>2</sup> ] <sup>***</sup>	Wskaźnik generacji ruchu [jazd/1000 m <sup>2</sup> powierzchni użytkowej/8 godzin] ([jazd/1000 m <sup>2</sup> /dobę] <sup>**</sup> )		
			SD	SC	SCP
1	CH Bonarka (Kraków)	91,0	0,47 (0,94)	0,52 (1,04)	0,16 (0,32)
2	CH Galeria Krakowska	60,0	1,30 (2,60)	0,85 (1,70)	0,23 (0,46)
3	CH Galeria Kazimierz (Kraków)	36,2	1,33 (2,66)	0,94 (1,88)	0,17 (0,34)
4	CH Plaza (Kraków)	30,4	1,09 (2,18)	0,53 (1,06)	0,07 (0,14)
5	CH M1 (Kraków) (pomiar 20-10-2011)	53,7	0,52 (1,04)	0,22 (0,44)	0,26 (0,52)
6	CH M1 (Kraków) (pomiar 27-10-2011)	53,7	0,69 (1,38)	0,52 (1,04)	0,24 (0,48)
7	Carrefour (Wrocław)	36,7	2,23*	1,63*	0,33*
8	CH Korona (Wrocław)	58,0	3,14*	1,69*	0,76*

\* – wskaźniki dobowe cytowane za [181]

\*\* – wskaźniki dobowe rozszerzone na podstawie badań wrocławskich [181], współczynnik rozszerzenia z pomiaru 8-godzinnego do doby wynosi 2,00

\*\*\* – dane pozyskane ze stron internetowych centrów handlowych (pozycje 1÷6) oraz z [181] (pozycje 7 i 8)

Z uwagi na krótszy, w stosunku do godzin funkcjonowania centrum handlowego, okres pomiaru, wskaźniki generacji ruchu dla badań wykonanych w Krakowie rozszerzono na okres doby, wykorzystując udziały dostaw w poszczególnych okresach doby z badań we Wrocławiu [181]. Po obliczeniu dobowych wskaźników dla Krakowa można zauważyć, że są one przeważnie niższe niż dla Wrocławia. Zauważalne są różnice pomiędzy wskaźnikami generacji ruchu dla CH M1 w Krakowie dla dwóch dni pomiarowych. W przypadku samochodów ciężarowych bez przyczep (SC) jest to różnica ponad dwukrotna. Również dla poszczególnych obiektów wskaźniki generacji ruchu różnią się od siebie, w ekstremalnym przypadku nawet pięciokrotnie (różnica pomiędzy CH Korona we Wrocławiu i CH Plaza w Krakowie dla SCP).

#### 5.6.4. Obiektowy model potencjałów ruchotwórczych

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów podjęto próbę stworzenia modelu potencjałów ruchotwórczych dla centrów logistycznych, zakładów produkcyjnych, wielkopowierzchniowych sklepów budowlanych i wielkopowierzchniowych centrów handlowych.

Przyjęto postać zależności:

$$G = a \cdot X, \quad (5.13)$$

gdzie: G – potencjał wytwarzający lub absorbujący ruch, a – parametr modelu, X – zmienna objaśniająca.

Jako zmienną objaśniającą przyjęto powierzchnię zabudowy lub powierzchnię użytkową. W przypadku centrów logistycznych, zakładów produkcyjnych i wielkopowierzchniowych sklepów budowlanych powierzchnia zabudowy jest bardzo łatwa do oszacowania (np. na podstawie map dostępnych w internecie) i często jest zbliżona do powierzchni użytkowej. Na wstępie należy zaznaczyć, że uzyskane liczebności prób są bardzo małe.

Wyniki analizy regresji dla centrów logistycznych przedstawiono w tab. 5.43. Liczebność próby wynosi 8. Uzyskano współczynniki determinacji z przedziału od 0,62 do 0,94. We wszystkich przypadkach współczynnik regresji jest istotny statystycznie. Współczynniki regresji dla potencjału wytwarzającego i absorbującego są zbliżone do siebie.

Tab. 5.43. Wyniki analizy regresji dla centrów logistycznych (opracowanie własne)

Typ pojazdu	Potencjał wytwarzający [jazd/12 godzin/1000 m <sup>2</sup> pow. zabudowy]		Potencjał absorbujący [jazd/12 godzin/1000 m <sup>2</sup> pow. zabudowy]	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
SD	<b>2,6</b>	0,94	<b>2,4</b>	0,89
SC	<b>1,5</b>	0,76	<b>1,5</b>	0,62
SCP	<b>1,5</b>	0,83	<b>1,3</b>	0,81

Model dla zakładów produkcyjnych został opracowany na podstawie 6 obiektów. Jedynie dla samochodów ciężarowych bez przyczep parametr modelu jest statystycznie istotny. Dla pozostałych typów pojazdów uzyskano niskie wartości współczynnika determinacji, co sugeruje ostrożne przyjmowanie uzyskanych wyników.

Tab. 5.44. Wyniki analizy regresji dla zakładów produkcyjnych (opracowanie własne)

Typ pojazdu	Potencjał wytwarzający [jazd/12 godzin/1000 m <sup>2</sup> pow. zabudowy]		Potencjał absorbujący [jazd/12 godzin/1000 m <sup>2</sup> pow. zabudowy]	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
SD	0,65	0,41	0,56	0,44
SC	<b>0,33</b>	0,97	<b>0,35</b>	0,89
SCP	0,51	0,63	0,61	0,65

Dla wielkopowierzchniowych sklepów budowlanych jako wynikowe przyjęto wskaźniki generacji ruchu opracowane w ramach [85] (liczebność próby wynosi 75 dni pomiarowych). Udział samochodów ciężarowych bez przyczep (SC) i samochodów ciężarowych z przyczepami lub ciągników siodłowych z naczepami (SCP) oszacowano na podstawie pomiarów własnych wykonanych na 3 wielkopowierzchniowych sklepach budowlanych i wynosi on odpowiednio 75 % i 25 %.

Tab. 5.45. Wynikowe wskaźniki generacji ruchu dla wielkopowierzchniowych sklepów budowlanych w podziale na grupy dni (opracowanie własne)

Typ pojazdu	Potencjał wytwarzający [jazd/dobę/1000 m <sup>2</sup> pow. zabudowy]	
	poniedziałki, środy, piątki	wtorki, czwartki
SD	1,60	1,94
SC	0,88	0,96
SCP	0,30	0,32

Wskaźniki generacji ruchu dla wielkopowierzchniowych centrów handlowych obliczono na podstawie wyników uzyskanych w ramach pracy dyplomowej (n=4), badań wrocławskich (n=2) oraz badań własnych (n=2). Wskaźniki dla krótszego okresu pomiarowego rozszerzono na dobę wykorzystując wyniki badań wrocławskich, gdzie wykonano dwa pomiary dobowe. W tab. 5.46 przedstawiono wartości średnie wskaźników generacji ruchu.

Tab. 5.46. Wynikowe wskaźniki generacji ruchu dla wielkopowierzchniowych centrów handlowych (opracowanie własne)

Typ pojazdu	Średnie wskaźniki generacji ruchu, potencjał wytwarzający i absorbujący [jazd/dobę/1000 m <sup>2</sup> pow. użytkową]
SD	2,02
SC	1,31
SCP	0,42

### 5.6.5. Wynikowe wskaźniki generacji ruchu dla obiektów

W przypadku modelu obiektowego liczba dostępnych zmiennych objaśniających jest często ograniczona. Zwykle do dyspozycji pozostają powierzchnia zabudowy lub powierzchnia użytkowa, rzadziej liczba pracowników. Powierzchnia zabudowy jest łatwa do oszacowania (np. na podstawie zdjęć satelitarnych) i w przypadku centrów logistycznych oraz zakładów produkcyjnych jest zbliżona do magazynowej powierzchni użytkowej. Z uwagi na częste występowanie kilku kondygnacji w centrach handlowych powierzchnia użytkowa jest lepszą zmienną i dość łatwo osiągalną na stronach internetowych tych obiektów. Natomiast liczba pracowników może niezbyt dobrze estymować potencjał ruchotwórczy chociażby z uwagi na zaawansowane linie produkcyjne bądź procesy logistyczne nie wymagające dużego zaangażowania ludzi. Stąd zmienne objaśniające w modelu obiektowych ograniczono do powierzchni zabudowy i powierzchni użytkowej.

Tab. 5.47. Proponowane do wykorzystania wskaźniki generacji ruchu dla różnych typów obiektów (opracowanie własne)

Obiekt	Powierzchnia	Potencjał wytwarzający i absorbujący [jazd/1000 m <sup>2</sup> powierzchni/dobę]		
		SD	SC	SCP
Centra logistyczne (n=8)*	zabudowy	2,6	1,9	2,2
Zakłady produkcyjne (n=6)	zabudowy	0,7	0,4	0,9
Wielkopowierzchniowe sklepy budowlane (n=75)	zabudowy	1,8	0,9	0,3
Wielkopowierzchniowe centra handlowe (n=8)	użytkowa	2,0	1,3	0,5

\* n oznacza liczbę obserwacji

### 5.7. Wnioski z rozdziału 5

W pierwszej części rozdziału przedstawiono metodykę wyznaczenia empirycznych wartości potencjałów ruchotwórczych na podstawie ruchliwości i liczby zarejestrowanych samochodów ciężarowych. Pomimo przyjęcia założeń upraszczających zaproponowane podejście może być wykorzystane do szacowania wielkości potencjału ruchotwórczego gminy lub powiatu.

W kolejnej części rozdziału stworzono modele potencjałów ruchotwórczych w oparciu o różne metody obliczeniowe. Następnie dokonano weryfikacji opracowanych modeli na podstawie wyników pomiarów własnych. Na podstawie weryfikacji modeli można było sformułować wnioski dotyczące stworzonych modeli.

Dla większości modeli uzyskano wysokie współczynniki determinacji (powyżej 0,8), co oznacza że nie ma przesłanek aby model odrzucić. Niemniej uzyskane wysokie średnie błędy oszacowania w wielu przypadkach sugerują ostrożne stosowanie modelu.

Na podstawie oceny uzyskanych modeli modelem ogólnym, dla obu typów samochodów ciężarowych, można nazwać model wskaźników generacji ruchu wykorzystujący jako zmienną objaśniającą liczbę podmiotów REGON ogółem (REG) lub liczbę podmiotów REGON w sektorze przemysłowym (REGP). Dla tych dwóch modeli uzyskano najmniejsze średnie błędy względne dla wszystkich gmin wykorzystanych w weryfikacji (Czernichów, Michałowice i gminy powiatu miechowskiego). Dobrą jakość modelu potwierdza również uzyskany wysoki współczynnik determinacji. W tab. 5.48 zestawiono średnie wartości resztowych dla obu modeli w zależności od typu samochodu ciężarowego (lekkie i ciężkie) oraz rodzaju potencjału (wytwarzający i absorbujący). Jedynie dla lekkich samochodów ciężarowych dla modelu wskaźników generacji ruchu z wykorzystaniem liczby podmiotów REGON ogółem uzyskano dodatnie wartości. Oznacza to, że model zawyża wyniki w stosunku do obserwacji. W pozostałych przypadkach uzyskane wartości ujemne świadczą o tym, że model daje niższe niż obserwowane wartości potencjałów ruchotwórczych.

Tab. 5.48. Średnie wartości resztkowych dla modeli wskaźników generacji ruchu (opracowanie własne)

Model wskaźników generacji ruchu z wykorzystaniem zmiennej	Lekkie samochody ciężarowy		Ciężkie samochody ciężarowe	
	P	A	P	A
Liczba podmiotów REGON ogółem (REG)	11	4	-7	-11
Liczba podmiotów REGON w przemyśle (REGP)	-1	-9	-14	-17

Zaskakujące są wyniki uzyskane dla modelu regresji wielorakiej dla zmiennych: liczba pracujących w rolnictwie (LPR), przemyśle (LPP) i usługach (LPU). Nie wszystkie parametry modelu są statystycznie istotne, a niektóre mają ujemne wartości, co wydaje się nieuzasadnione. Pomimo wysokich współczynników determinacji w procesie weryfikacji uzyskano wysokie wartości błędów. Niemniej w podziale na typy gmin model ten daje średnie błędy względne rzędu 50 % dla wszystkich gmin uwzględnionych w weryfikacji i obu typów pojazdów. W przypadku gmin Czernichów i Michałowice lepsze wyniki uzyskano dla modelu regresji wielorakiej opartego o zmienne: liczba mieszkańców (LM), liczba pracujących w przemyśle (LPP) i usługach (LPU).

Modele regresji nieliniowej jednej zmiennej dobrze opisują potencjał ruchotwórczy gmin Czernichów i Michałowice, znacznie gorzej natomiast gmin powiatu miechowskiego. Stąd uznanie tych modeli za ogólne nie ma uzasadnienia. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku modeli tworzonych z wykorzystaniem sieci sztucznych neuronowych.

Podsumowując etap tworzenia modeli potencjałów ruchotwórczych dla gminy można stwierdzić, że istotny i kwantyfikowalny wpływ na wielkość potencjału mają zmienne: liczba mieszkańców (LM), liczba podmiotów REGON ogółem (REG), liczba podmiotów REGON w sektorze przemysłowym (REGP) oraz liczba pracujących w usługach (LPU).

Zaprezentowane w p. 5.6 badania były drugimi tego typu w Polsce w ostatnich kilkunastu latach. Pomimo, że zakres badań sugeruje wyniki traktować jako wstępne, możliwe jest wykorzystanie uzyskanych wyników do predykcji potencjałów ruchotwórczych.

Głównym wnioskiem płynącym z przeprowadzonych badań jest duża zmienność ruchu ciężarowego. Nawet w przypadku tych samych obiektów potencjały ruchotwórcze mogą być różnić się nawet dwukrotnie. Jednocześnie występuje silne zróżnicowanie ruchu generowanego przez obiekty w poszczególne dni tygodnia, co zostało przedstawione na przykładzie składu budowlanego. W efekcie średnie wskaźniki generacji ruchu mogą być obarczone błędem, wynikającym z dużej, w tym losowej, zmienności ruchu ciężarowego. Jednakże w opracowaniach przytoczonych w przeglądzie literatury używane są średnie wskaźniki, często obliczone z małych prób. Ponadto w zestawieniu wskaźników generacji

ruchu w instrukcji QRFM [128] można zauważyć różnice w wartościach tych wskaźników dla tego samego typu obiektów zlokalizowanych w różnych częściach kraju nawet o rząd wielkości.

Zmienne objaśniające, które można wykorzystać w modelach obiektowych ograniczają się do powierzchni użytkowej, powierzchni zabudowy lub liczby pracujących. W przypadku centrów logistycznych zmienną objaśniającą powinna być faktycznie wykorzystywana powierzchnia użytkowa, jednak dotarcie do tej informacji jest trudne z uwagi na jej nieujawnianie przez administratorów.

Ciekawe rezultaty uzyskano dla wielkopowierzchnowych centrów handlowych. Można zauważyć, że większa powierzchnia użytkowa niekoniecznie powoduje większą generację ruchu. Wśród krakowskich centrów handlowych przykładem takiego zjawiska są CH Bonarka i CH Galeria Krakowska. Pomimo większej powierzchni użytkowej CH Bonarka, większy ruch generowany jest przez CH Galeria Krakowska. Wynika to z większej atrakcyjności drugiego centrum handlowego z uwagi na lokalizację.

Podane w tab. 5.47 wskaźniki odnoszą się do doby i wyrażają zarówno potencjał absorbujący i wytwarzający. Należy pamiętać, że zmienność ruchu w ciągu doby, udział i umiejscowienie w dobie godziny szczytu jak również sezonowe wahania ruchu będą zależne od typu i lokalizacji obiektu. Niemniej zaproponowane wskaźniki ruchu mogą służyć do szacowania wpływu danej inwestycji na warunki ruchu w przyległej sieci ulic na etapie planowania jego lokalizacji.

Z punktu widzenia budowy regionalnego modelu ruchu model obiektowy może zostać wykorzystany do szacowania potencjału ruchotwórczego gminy. Poprzez zsumowanie potencjałów ruchotwórczych poszczególnych typów obiektów znajdujących się w danej gminie można uzyskać sumaryczny potencjał ruchotwórczy gminy.

## 6. Zastosowanie formuł przepływów międzygminnych do tworzenia modelu dla województwa dolnośląskiego

W niniejszym rozdziale zostaną przedstawione dwa przykłady uwzględnienia drogowego transportu ładunków w regionalnych modelach ruchu.

W pierwszym przypadku podejście będzie bazowało na wykorzystaniu modelu krajowego do oszacowania ruchu zewnętrznego w stosunku do województwa i zmodyfikowanej metody Vomberga w celu wyznaczenia ruchu wewnętrznego w stosunku do województwa (ruch międzygminny).

W drugim przykładzie zostanie zastosowane klasyczne, czterostadiowe podejście z wykorzystaniem wybranego modelu z przedstawionych w p. 5.4.

### 6.1. Wyznaczenie więźby ruchu wewnętrznego metodą bezpośrednią dla województwa dolnośląskiego

#### 6.1.1. Wprowadzenie

W 2006 roku stworzony został krajowy model ruchu [154]. Podział na wewnętrzne rejony komunikacyjne odpowiadał administracyjnemu podziałowi kraju na powiaty. Zewnętrzne rejony komunikacyjne odpowiadały przejściom granicznym. W efekcie model zawiera 335 rejonów wewnętrznych i 85 zewnętrznych. W modelu krajowym więźby ruchu ciężarowego opracowano dla roku 2005 w podziale na 4 typy pojazdów: samochody osobowe (SO), lekkie samochody ciężarowe (SD), samochody ciężarowe bez przyczep (SC) oraz samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami (SCP). W analizach ruchowych nie jest wymagane uwzględnianie autobusów, głównie z uwagi na znikomy udział w średnim dobowym ruchu (SDR). W budowie modelu krajowego wykorzystano kilkadziesiąt tysięcy ankiet typu źródło-cel wykonanych w przekrojach dróg krajowych i wojewódzkich. Były to ostatnie tego typu badania przeprowadzone w Polsce. Wykonano kalibrację modelu do wyników GPR 2005, uzyskując satysfakcjonujące wyniki.

Model krajowy posłużył jako punkt wyjścia do stworzenia przez autora niniejszej dysertacji modelu dla województwa dolnośląskiego. W analizach wykorzystano pakiet oprogramowania do makrosymulacji ruchu w sieci VISUM [174]. Model sieci drogowej został stworzony poprzez „wycięcie” z modelu krajowego fragmentu odpowiadającego województwu dolnośląskiemu. Uwzględnione zostały wszystkie drogi krajowe i wojewódzkie na analizowanym obszarze. W stworzonym modelu sieci uszczegółowienie polegało na podziale obszaru na rejony komunikacyjne odpowiadające gminom. Łącznie wyznaczono 157 rejonów wewnętrznych i 44 rejony zewnętrzne. Więzyby ruchu dla poszczególnych typów pojazdów (lekkie samochody ciężarowe (dostawcze) (SD), samochody ciężarowe bez przyczep (SC), samochody ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami (SCP)) pozyskano z modelu krajowego. Dla każdego z typów pojazdów były to więźby ruchu krajowego (międzypowiatowego) i międzynarodowego (pomiędzy przejściami granicznymi i powiatami). Model dotyczył również samochodów osobowych, jednak z uwagi na zakres dysertacji przedstawiono założenia i wyniki dotyczące samochodów ciężarowych. Ponadto rozkład więźb samochodów ciężarowych na sieć wykonuje się przed rozkładem ruchu samochodów osobowych, stąd brak tych ostatnich w modelu nie wpływa na wyniki dla samochodów ciężarowych.



Rys. 6.1. Zasięg obszaru analizy dla zastosowania metody bezpośredniej wyznaczania więzby ruchu, województwo dolnośląskie (opracowanie własne)

Wieżby ruchu tranzytowego (krajowego i międzynarodowego) w stosunku do obszaru analizy pozostały bez zmian. Dokonano dezagregacji więzby ruchu docelowego (wzór 6.1) i źródłowego (wzór 6.2), zarówno krajowego jak i międzynarodowego, w stosunku do obszaru analizy, z poziomu powiatów na poziom gmin, proporcjonalnie do liczby mieszkańców (LM) dla samochodów dostawczych (SD) oraz proporcjonalnie do liczby podmiotów REGON w sekcji przemysł (REGP) dla samochodów ciężarowych bez przyczep (SC) oraz samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami (SCP).

$$T_{ik}^D = T_{ij}^D \cdot \frac{X_k^j}{\sum_{k=1}^n X_k^j} \quad (6.1)$$

gdzie:  $T_{ik}^D$  – element więzby ruchu docelowego między rejonem zewnętrznym „i” a gminą „k”,  $T_{ij}^D$  – element więzby ruchu docelowego między rejonem zewnętrznym „i” a powiatem „j”,  $X_k^j$  – liczba mieszkańców (LM) lub podmiotów REGON w przemyśle (REGP) w gminie „k” zlokalizowanej w powiecie „j”, n – liczba gmin w powiecie „j”.

$$T_{kj}^Z = T_{ij}^Z \cdot \frac{X_k^i}{\sum_{k=1}^n X_k^i} \quad (6.2)$$

gdzie:  $T_{kj}^Z$  – element więzby ruchu źródłowego między gminą „k” a rejonem zewnętrznym „j”,  $T_{ij}^Z$  – element więzby ruchu źródłowego powiatem „i” a rejonem zewnętrznym „j”,  $X_k^i$  – liczba mieszkańców (LM) lub podmiotów REGON w przemyśle (REGP) w gminie „k” zlokalizowanej w powiecie „i”,  $n$  – liczba gmin w powiecie „i”.

Wiązby ruchu wewnętrznego, tj. międzygminnego, obliczono za pomocą zmodyfikowanej (opisanej dalej) metody Vomberga, wykorzystując formułę 6.7 z parametrami podanymi w tab. 6.1 i wykorzystując jako zmienną objaśniającą liczbę podmiotów gospodarczych w rejestrze REGON ogółem (REG). Następnie dodano do siebie więzby ruchu wewnętrznego, źródłowego, docelowego i tranzytowego. W kolejnym kroku dokonano rozkładu obliczonych więzby ruchu na sieć dla każdego z typów pojazdów.

### 6.1.2. Opis oryginalnej metody Vomberga

W literaturze można znaleźć przykłady estymacji więzby ruchu przy użyciu modeli ekonomicznych typu I-O (Input-Output). W tego typu modelach szacuje się macierz między- i wewnątrzsektorowych przepływów ładunków ([2], [17], [37], [41], [45], [51]). Wadą tych metod jest wymóg posiadania dokładnej i rozbudowanej bazy danych. Często źródłem danych są krajowe badania przepływu ładunków, np. CFS realizowane w USA. Można znaleźć także metody pozwalające szacować więzby ruchu na podstawie cząstkowych informacji, takich jak pomiary ekranowe, kordonowe lub cząstkowe więzby ruchu ([64], [101]). Jeszcze w innych badaniach testowano możliwości estymacji więzby ruchu na podstawie automatycznego rozpoznawania numerów tablic rejestracyjnych (systemy ANPR), skanerów bluetooth oraz stacji automatycznego ważenia pojazdów (Weight-in-motion) [103].

Natomiast wśród metod o relatywnie niskim zapotrzebowaniu na dane wejściowe można wskazać opracowaną w latach 70-tych ubiegłego wieku w Niemczech bezpośrednią metodę wyznaczania więzby ruchu, nazwaną od nazwiska autora metodą Vomberga. Autor metody wykazał, że istnieje statystyczna zależność pomiędzy potokiem ruchu wszystkich pojazdów między dwoma miastami a liczbą samochodów zarejestrowanych w tych miastach i odległością między nimi [156].

Powyższa zależność wyrażona została wzorem:

$$V_{ij} = K_{ij} \sqrt{Z_i} \sqrt{Z_j}, \quad (6.3)$$

gdzie:  $V_{ij}$  – potok ruchu między miastami „i” i „j”,  $Z_i$ ,  $Z_j$  – liczby pojazdów zarejestrowanych w miastach „i” i „j”,  $K_{ij}$  – funkcja odległości między miastami „i” i „j”.

Funkcja odległości wyrażona jest wzorem empirycznym:

$$K_{ij} = \frac{\lg(D_{ij} + 1,3)}{D_{ij}^2} \cdot \left(188,8 - \frac{1416}{D_{ij} + 7,13}\right), \quad (6.4)$$

gdzie:  $D_{ij}$  – odległość między miastami mierzona po sieci drogowej [km].

Zastosowanie metody Vomberga w warunkach polskich pokazało, że nietrafnie estymuje wielkość ruchu, co ujawniało się zwłaszcza w odniesieniu do ruchu samochodów



ciężarowych. W latach 80-tych ubiegłego stulecia podjęto próbę dostosowania modelu do warunków polskich [155], czego wynikiem było oszacowanie parametru skalującego  $m$  ( $m = 0,41$ ), przez który mnożono potoki ruchu otrzymane według oryginalnej metody. Pozwoliło to zmniejszyć średni błąd oszacowań, jednak nie do satysfakcjonującego poziomu.

### 6.1.3. Adaptacja metody Vomberga

W adaptacji metody Vomberga [96] wykorzystane zostały wyniki badań ankietowych typu źródło-cel w 23 punktach pomiarowych na sieci dróg krajowych [154] (wykonawca Politechnika Warszawska) oraz 29 punktach na drogach krajowych i wojewódzkich wykonanych w ramach studium korytarzowego autostrady A1 (wykonawca DHV Polska). W analizie wzięto pod uwagę tylko takie pary gmin, między którymi jedno z istniejących połączeń przejmuje cały ruch między tymi gminami i przebiega przez jeden z punktów pomiarowych. W poszczególnych punktach pomiarowych badania ankietowe prowadzone były w różnych godzinach. Dla okresu badania ankietowego (szczyt poranny i popołudniowy, por. p. 4.1.4) obliczono wielkości ruchu dla samochodów dostawczych (SD) ciężarowych bez przyczep (SC) oraz samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami (SCP). Obliczenie ruchu między parą gmin A i B przebiegającego przez dany punkt pomiarowy polegało na wyodrębnieniu z wszystkich ankiet tych, w których źródłem podróży jest gmina A, natomiast celem gmina B. Następnie mnożono uzyskaną liczbę pojazdów jadących z gminy A do gminy B przez iloraz dobowego natężenia ruchu i natężenia ruchu w okresie badania ankietowego. W ten sposób rozszerzono wyniki dla godzin szczytu na dobę. Uzyskano w ten sposób dobowe potoki ruchu pomiędzy 121 parami gmin.

Wykorzystując dostępne dane o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych oraz odległości między centrami gmin liczone po sieci drogowej obliczono wzorem 6.3 sumaryczne wielkości międzygminnego ruchu samochodów dostawczych (SD), ciężarowych bez przyczep (SC) oraz samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami (SCP). Jako liczbę pojazdów zarejestrowanych w poszczególnych gminach ( $Z_i, Z_j$ ) przyjęto liczbę zarejestrowanych samochodów ciężarowych (łącznie z tzw. samochodami dostawczymi, ciężarowo-osobowymi i ciągnikami samochodowymi). Uzyskane wyniki zostały porównane z wielkością ruchu międzygminnego uzyskanego z ankiety. Okazało się, że oryginalna metoda Vomberga daje znacznie wyższe wartości potoków ruchu niż występują w rzeczywistości w warunkach polskich. Wykazano, że wprowadzając do oryginalnej formuły współczynnik korygujący  $m=0,10$  zgodnie ze wzorem 6.5 uzyskano zgodność z potokami ruchu uzyskanymi z pomiarów na poziomie  $R^2=0,62$ .

$$V_{ij} = m \cdot K_{ij} \sqrt{Z_i} \sqrt{Z_j} \quad (6.5)$$

gdzie:  $m = 0,10$  – współczynnik korygujący, pozostałe oznaczenia jak we wzorze 6.3.

Powyższa formuła pozwala obliczyć sumaryczny potok samochodów ciężarowych pomiędzy dwoma gminami. W celu wydzielenia potoków poszczególnych typów w sumarycznym potoku samochodów ciężarowych można użyć przeciętnych udziałów określonych na podstawie GPR2010:

- SD – 30 %,
- SC – 15 %,
- SCP – 55%.

Uzyskana wartość współczynnika korygującego może dziwić. Wyjaśnienia można szukać w kilku przyczynach. Po pierwsze potoki pomiędzy gminami były szacowane na podstawie badań ankietowych w przekrojach dróg krajowych i wojewódzkich. Stąd obliczony według

wzoru 6.5 potok ruchu między gminami nie uwzględniajazd wykonywanych po drogach powiatowych i gminnych. Pomimo wyboru par gmin o potencjalnie jednym połączeniu mogły się zdarzyć sytuacje wykorzystania tras alternatywnych. Po drugie nie wszystkie samochody ciężarowe były ankietowane, stąd próba mogła być niereprezentatywna. Skutkiem może być zaniżenie pewnych relacji.

#### 6.1.4. Estymacja modelem grawitacyjnym

W modelu własnym założono postać funkcji poprzez analogię do prawa powszechnego ciężenia, które mówi, że dwa punkty materialne o masach  $m_1$  i  $m_2$  przyciągają się wzajemnie siłą proporcjonalną do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu ich odległości. Prawo to wyrażone jest wzorem:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \quad (6.6)$$

gdzie:  $G$  – stała grawitacji,  $m_1$ ,  $m_2$  – masy punktów materialnych,  $r$  – odległość między punktami.

Przekształcając wzór 6.6 po przeanalizowaniu wielu postaci funkcji otrzymano następującą:

$$V_{ij} = a \cdot \frac{X_i^c \cdot X_j^c}{ODL^b}, \quad (6.7)$$

gdzie:  $V_{ij}$  – sumaryczny potok samochodów ciężarowych [P/dobę] pomiędzy gminami „i” i „j”,  $ODL$  – odległość pomiędzy gminami mierzona po sieci,  $X_i$ ,  $X_j$  – zmienne charakteryzujące gminy „i” i „j”,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – parametry modelu.

Rozważano zmienne objaśniające podane w p. 5.3.2. Dodatkowo rozważano liczbę samochodów ciężarowych zarejestrowanych w gminach (LSC). Wartości parametrów modelu wraz z oceną modeli przedstawiono w tab. 6.1. Liczebność próby wynosiła 121.

Tab. 6.1. Parametry modelu grawitacyjnego (wzór 6.7) międzygminnego potoku samochodów ciężarowych (opracowanie własne)

Zmienna objaśniająca X	a	b	c	R <sup>2</sup>	RMSE*	MAPE** [%]
Liczba mieszkańców (LM)	0,096	<b>0,69</b>	<b>0,387</b>	0,41	27	77
Liczba podmiotów REGON ogółem (REG)	1,05	<b>0,77</b>	<b>0,370</b>	0,45	26	72
Liczba podmiotów REGON w rolnictwie (REGR)	<b>16,8</b>	<b>0,60</b>	<b>0,357</b>	0,22	32	97
Liczba podmiotów REGON w przemyśle (REGP)	<b>3,91</b>	<b>0,69</b>	<b>0,343</b>	0,41	27	77
Liczba podmiotów REGON w usługach (REGU)	<b>1,10</b>	<b>0,81</b>	<b>0,385</b>	0,50	25	68
Liczba podmiotów REGON w transporcie (REGT)	<b>7,98</b>	<b>0,753</b>	<b>0,360</b>	0,49	25	69
Liczba pracujących ogółem (LP)	2,59	<b>0,552</b>	<b>0,251</b>	0,29	28	86
Liczba zarejestrowanych samochodów ciężarowych (LSC)	0,868	<b>0,788</b>	<b>0,409</b>	0,45	26	74

\* Średni błąd oszacowania

\*\* Średni błąd względny

Uzyskane wyniki bazują na założeniu, że ankiety typu źródło-cel przeprowadzone w przekrojach dróg są reprezentatywne. Jednak z uwagi na wspomnianą już dużą zmienność ruchu ciężarowego jednodniowa ankieta, uwzględniająca nawet wszystkie pojazdy, będzie obciążona zmiennością. Jednocześnie uzyskane wartości współczynnika determinacji oraz średniego błędu względnego sugerują ostrożne przyjmowanie powyższych modeli, lub wręcz ich odrzucenie, co niektóre badania sugerują przy  $R^2$  poniżej 0,6.

Oczywiście może pojawić się zarzut niskiej wiarygodności uzyskanych modeli. Jednakże w przypadku braku dokładniejszych badań możliwe jest zastosowanie powyższego modelu do wyznaczenia wyjściowej więźby ruchu wewnętrznego w stosunku do obszaru analizy (województwa) w modelach regionalnych. W kolejnym kroku, bazując na wynikach przekrojowych pomiarów ruchu, możliwa jest kalibracja wyjściowych więźb ruchu. Przykład takiego zastosowania został przedstawiony w dalszej części pracy.

### 6.1.5. Kalibracja modelu dla województwa dolnośląskiego

Uzyskane w modelu województwa dolnośląskiego natężenia ruchu porównano z natężeniami ruchu z GPR 2005. Następnie skalibrowano więźby ruchu krajowego dla poszczególnych typów pojazdów.

Proces kalibracji z wykorzystaniem pakietu VISUM dla poszczególnych typów pojazdów przebiegał następująco:

- rozkład więźb ruchu krajowego (częściowo pozyskany z modelu krajowego, częściowo z modelu własnego) i międzynarodowego (w całości pozyskany z modelu krajowego) na sieć drogową,
- odjęcie od natężeń ruchu uzyskanych z GPR2005 natężeń ruchu międzynarodowego uzyskanych z modelu; w ten sposób uzyskuje się natężenie ruchu krajowego,
- kalibracja więźby ruchu krajowego do natężeń ruchu krajowego.

Wyniki procesu kalibracji oceniono na podstawie wskaźnika GEH (wzór 6.8).

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (6.8)$$

gdzie:  $M$  – natężenia ruchu w przekroju drogi uzyskane z modelu,  $C$  – natężenia ruchu uzyskane z GPR 2005.

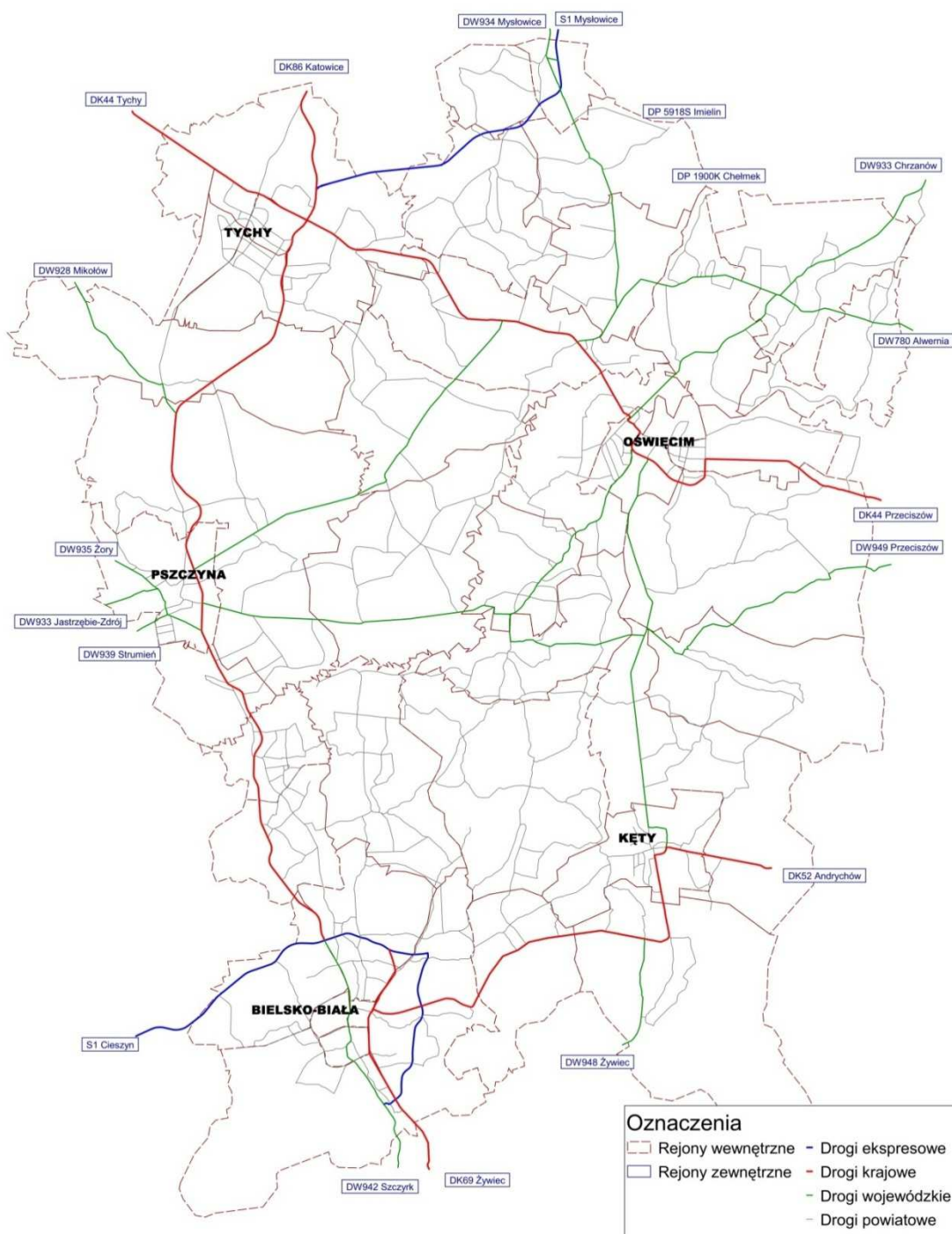
Jeśli wartość wskaźnika GEH jest mniejsza od 5 na co najmniej 85% procentach łącznej liczby analizowanych odcinków model można uznać za dobrze skalibrowany [35]. Procent odcinków sieci drogowej województwa dolnośląskiego, dla których dostępne były wyniki generalnego pomiaru ruchu z roku 2005 i spełniających warunek  $GEH < 5$  wynoszą:

- 95 % biorąc pod uwagę natężenia ruchu samochodów dostawczych (SD),
- 94 % biorąc pod uwagę natężenia ruchu samochodów ciężarowych bez przyczep (SC),
- 90 % biorąc pod uwagę natężenia ruchu samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami (SCP).

## 6.2. Zastosowanie 4-stadiowego modelu dla obszaru subregionu

### 6.2.1. Model sieci

Na podstawie dostępnych baz GIS opracowano model sieci drogowej obejmujący obszar wpływu analizowanej inwestycji. Model sieciowy uwzględnia drogi: DK Nr 1 na odcinku Tychy – Bielsko-Biała oraz DW Nr 948, będące alternatywnymi przebiegami w stosunku do planowanej drogi ekspresowej S1 (rys. 6.2). Planowana inwestycja istotnie wpłynie na rozkłady ruchu na wymienionych wyżej odcinkach istniejących dróg.



Rys. 6.2. Zasięg obszaru analizy użytego do kalibracji modelu potencjałów ruchotwórczych dla gmin (opracowanie własne)

Model sieci drogowej obejmuje wszystkie drogi krajowe, wojewódzkie i powiatowe w analizowanym obszarze. Dla poszczególnych klas dróg wprowadzono dodatkowe podziały, uwzględniające charakterystykę drogi. Zastosowane w modelu typy odcinków wraz z parametrami przedstawiono w tab. 6.2. W celu odwzorowania w modelu atrakcyjności poszczególnych połączeń przypisano im odpowiednie wartości prędkości w ruchu swobodnym oraz przepustowości. Parametry funkcji oporu odcinka (wzór 6.9), przepustowości odcinków i prędkości w ruchu swobodnym przyjęto na podstawie: [17], [135] i [154]. Przepustowość rozumiana jest jako natężenie ruchu przy którym czas przejazdu odcinka wzrasta zgodnie z formułą zaproponowaną przez U.S. Bureau of Public Roads [166] opisującej opór odcinka:

$$t = t_0 \cdot \left(1 + a \cdot \left(\frac{Q}{Q_{max} \cdot c}\right)^b\right), \quad (6.9)$$

gdzie:  $t$  – czas przejazdu odcinka w sieci obciążonej ruchem,  $t_0$  – czas przejazdu odcinka w sieci nie obciążonej ruchem,  $Q$  – natężenie ruchu [P/h],  $Q_{max}$  – przepustowość odcinka [P/h],  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – parametry modelu wynoszące:  $a=1$ ,  $b=3$ ,  $c=1$ .

Tab. 6.2. Typy odcinków (opracowanie własne)

Lp.	Klas drogi	Przepustowość obliczeniowa* [P/h/kierunek]	Prędkość w ruchu swobodnym [km/h] SO i SD / SC i SCP
1	S (przekrój 2x2 zamiejski)	3000	120 / 90
2	DK (przekrój 2x2 zamiejski)	2500	110 / 90
3	DK (przekrój 2x2 miejski)	2000	80 / 64
4	DK (przekrój 1x2 zamiejski)	1500	95 / 90
5	DK (przekrój 1x2 miejski)	1100	70 / 56
6	DW (przekrój 2x2 miejski)	1200	70 / 56
7	DW (przekrój 1x2 zamiejski)	1000	80 / 64
8	DW (przekrój 1x2 miejski)	800	60 / 48
9	DP (typ 1)	600	50 / 40
10	DP (typ 2)	450	40 / 40
11	DP (typ 3)	300	30 / 30

Zróznicowanie na 3 typy dróg powiatowych wynikało z przekroju poprzecznego tych dróg oraz funkcji w sieci. Drogi typu 1 mają dłuższy przebieg i łączą ze sobą siedziby powiatów i gmin. Drogi powiatowe typu 2 są to drogi wewnątrz powiatowe realizujące połączenia międzygminne. Drogi powiatowe typu 3 to drogi o charakterze lokalnym.

Przy tworzeniu modelu sieci przyjęto ogólne założenie, że rejon komunikacyjny będzie odpowiadał gminie. W przypadku większych miast wprowadzono dodatkowy podział na mniejsze rejony komunikacyjne odpowiadające dzielnicom. Dla mniejszych gmin łączono gminę miejską i wiejską w jeden rejon komunikacyjny. Łącznie wyznaczono 44 rejony wewnętrzne. W modelu sieci wyznaczono również wloty zewnętrzne do obszaru analizy, reprezentowane przez zewnętrzne rejony komunikacyjne. Łącznie wydzielono 19 rejonów zewnętrznych odpowiadających drogom krajowym, wojewódzkim i powiatowym. Rejony komunikacyjne przedstawiono na rys. 6.2.

### 6.2.2. Obliczenie potencjałów ruchotwórczych i więźb ruchu

W odniesieniu do więźb ruchu, przyjęto podział na samochody: osobowe (SO), ciężarowe lekkie (tzw. dostawcze, SD), ciężarowe bez przyczep (SC) oraz ciężarowe z przyczepami i ciągniki siodłowe z naczepami (SCP). Z uwagi na zakres pracy w niniejszym rozdziale przytoczono analizy dla samochodów ciężarowych.

Więźby ruchu wyznaczono dla poszczególnych typów pojazdów. Sumaryczna więźba ruchu, dla poszczególnych typów pojazdów składa się z:

- więźby ruchu wewnętrznego (podróże rozpoczęte i zakończone wewnątrz analizowanego obszaru),
- więźby ruchu źródłowego (podróże rozpoczęte wewnątrz analizowanego obszaru i zakończone poza nim),
- więźby ruchu docelowego (podróże rozpoczęte poza analizowanym obszarem i zakończone wewnątrz niego),
- więźby ruchu tranzytowego (podróże rozpoczęte i zakończone poza analizowanym obszarem).

Przyjęto różne metody wyznaczenia poszczególnych więźb ruchu. Więźby ruchu tranzytowego zostały wyznaczone na podstawie pomiarów, identyfikujących przepływy pomiędzy poszczególnymi wlotami do obszaru analizy. Po określeniu procentowego udziału sumarycznego ruchu tranzytowego na poszczególnych wlotach pozostałe natężenie ruchu podzielono po połowie na ruch źródłowy i docelowy. Przyjęto, że potencjały ruchotwórcze w ruchu źródłowym i docelowym są równe co do wartości odpowiadającym im natężeniom ruchu na wlotach. Więźby ruchu źródłowego i docelowego wyznaczono korzystając z modelu proporcjonalnego. Zastosowanie modelu grawitacyjnego mogłoby spowodować przeszacowanie przejazdów z rejonów zewnętrznych do najbliższych rejonów wewnętrznych. Potencjały ruchotwórcze w ruchu źródłowym i docelowym rozkładano proporcjonalnie do liczby podmiotów REGON według wzorów 6.10 i 6.11.

$$T_{ij}^D = P_i^D \frac{REG_j}{\sum_{j=1}^n REG_j} \quad (6.10)$$

gdzie:  $T_{ij}^D$  – element więźby ruchu docelowego między rejonem zewnętrznym „i” i rejonem wewnętrznym „j”,  $P_i^D$  – potencjał wytwarzający rejonu zewnętrznego „i” w ruchu docelowym,  $REG_j$  – liczba podmiotów REGON ogółem (REG) dla rejonu wewnętrznego „j”,  $n$  – liczba rejonów wewnętrznych.

$$T_{ij}^Z = A_j^Z \frac{REG_i}{\sum_{i=1}^n REG_i} \quad (6.11)$$

gdzie:  $T_{ij}^Z$  – element więźby ruchu źródłowego między rejonem wewnętrznym „i” i rejonem zewnętrznym „j”,  $A_j^Z$  – potencjał absorbujący rejonu zewnętrznego „j” w ruchu źródłowym,  $REG_i$  – liczba podmiotów REGON ogółem (REG) dla rejonu wewnętrznego „i”,  $n$  – liczba rejonów wewnętrznych.

Uzyskane sumy potencjałów ruchotwórczych (dla ruchu źródłowego, docelowego i tranzytowego) na poszczególnych wlotach zewnętrznych do obszaru są co do wartości równe natężeniom ruchu uzyskanym w ramach GPR 2010.

Odmienne podejście zastosowano dla wyznaczenia więźb ruchu wewnętrznego. Zastosowano w tym przypadku klasyczny czterostadiowy model podróży. Dla każdego typu samochodów ciężarowych wyznaczono potencjały ruchotwórcze rejonów komunikacyjnych, tj. gmin, korzystając ze wskaźników generacji ruchu opracowanych w p. 5.4.1 w tab. 5.11.

Dla poszczególnych typów samochodów ciężarowych równania regresyjne do wyznaczenia dobowych potencjałów ruchotwórczych w ruchu wewnętrznym w stosunku do obszaru są następujące:

- dla SD:  $P=A=1,032 \cdot \text{REG}$ ,
- dla SC:  $P=A=0,021 \cdot \text{REG}$ ,
- dla SCP:  $P=A=0,021 \cdot \text{REG}$ .

Założenie prostego modelu potencjałów ruchotwórczych, opartego tylko na liczbie podmiotów REGON ogółem (REG) podyktowane było ograniczoną liczbą dostępnych danych. Ponadto w przypadku rejonów komunikacyjnych, które odpowiadały zasięgiem przestrzennym fragmentowi gminy zmienne objaśniające (liczba mieszkańców i liczba podmiotów REGON ogółem) były szacowane na podstawie zagospodarowania przestrzennego. W przypadku SC i SCP uwzględniono udział poszczególnych typów pojazdów zgodnie z tab. 5.26, czyli po 50 %.

Obliczone potencjały ruchotwórcze odnoszą się do okresu doby. W celu obliczenia potencjałów ruchotwórczych dla godziny szczytu porannego przemnożono uzyskane wartości przez udział godziny szczytu porannego, który przyjęto na poziomie 11% (zgodnie z wynikami KBR w strefie podmiejskiej Krakowa). Udział godziny szczytu dotyczy potencjałów ruchotwórczych stąd jest większy niż udział godziny szczytu w natężeniach ruchu na odcinkach. Tak obliczone potencjały ruchotwórcze stanowiły punkt wyjścia do obliczenia więźb ruchu wewnętrznego. Jednocześnie, obliczając potencjały ruchotwórcze dla poszczególnych typów pojazdów zastosowano pierwotny podział zadań przewozowych.

Więźba ruchu wewnętrznego dla wszystkich typów pojazdów została wyznaczona za pomocą modelu grawitacyjnego. Elementy więźby ruchu obliczono według równania:

$$T_{ij} = P_i \cdot A_j \cdot F(t_{ij}) \quad (6.12)$$

gdzie:  $T_{ij}$  – element więźby ruchu wewnętrznego między rejonami „i” i „j”,  $P_i$  – potencjał wytwarzający rejonu „i”,  $A_j$  – potencjał absorbujący rejonu „j”,  $F(t_{ij})$  – funkcja oporu przestrzeni.

Przyjęto złożoną funkcję oporu przestrzeni  $F(t_{ij})$  w postaci:

$$F(t_{ij}) = a \cdot t_{ij}^b \cdot e^{c \cdot t_{ij}} \quad (6.13)$$

gdzie:  $t_{ij}$  – czas przejazdu między rejonami w sieci nieobciążonej,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – parametry funkcji oporu.

Dla wyjściowych więźb ruchu przyjęto parametry funkcji oporu przedstawione w tab. 6.3 na podstawie [154].

Tab. 6.3. Założone początkowe parametry funkcji oporu (opracowanie własne)

Lp.	Typ pojazdu	a	b	c
1	SD	3,0	1,5	- 0,30
2	SC	3,0	1,5	- 0,30
3	SCP	3,0	2,0	- 0,25

Opracowane według powyższego opisu więźby ruchu zostały rozłożone na istniejącą sieć drogową z wykorzystaniem programu VISUM. Więźby ruchu rozkładane były według kolejności: SCP, SC i SD. Następnie przeprowadzono proces kalibracji, opisany w punkcie 6.2.3.

### 6.2.3. Proces kalibracji

Kalibrując opracowane więźby ruchu wykorzystano wyniki GPR 2010 oraz wyniki pomiarów własnych. Ponieważ przeprowadzone analizy odnoszą się do ruchu godzinowego, wartości natężeń ruchu z GPR 2010 przeliczono na godzinę szczytu, korzystając z udziałów godzin szczytu określonych na podstawie danych źródłowych GPR 2010. Wyniki pozostałych pomiarów, wykonanych na drogach powiatowych przez wykonawcę zlecenia, które również były wykorzystane do kalibracji, zostały przeliczone na rok 2010, z wykorzystaniem wskaźników wzrostu ruchu zalecanych przez GDDKiA.

Proces kalibracji więźby ruchu prowadzony był dla godziny szczytu porannego z wykorzystaniem funkcji pakietu VISUM według schematu:

- rozkład więźby ruchu na sieć,
- wyznaczenie potoków ruchu (Flow Bundle) na odcinku, na którym różnica pomiędzy modelowanym a rzeczywistym natężeniem ruchu jest powyżej 10 %,
- odfiltrowanie z więźby ruchu podróży realizowanych przez dany odcinek (tzw. macierz przepływu, Flow Matrix),
- zapisanie macierzy pozostałych podróży (tzw. macierz pozostająca, Remain Matrix),
- zmniejszenie lub zwiększenie elementów więźby ruchu, rozkładanych na dany odcinek w macierzy przepływu,
- zsumowanie więźb ruchu: skorygowanej macierzy przepływu i macierzy pozostającej,
- ponowny rozkład ruchu i porównanie wyników.

Przyjęta metodyka kalibracji więźby ruchu była pracochłonna, jednak w przeciwieństwie do automatycznych procedur dawała nieco lepszą kontrolę nad zmianami wprowadzanymi w więźbach ruchu. Niemniej zbliżone podejście stosowane jest w automatycznych procedurach kalibracji więźby ruchu pakietu VISUM.

Po zrealizowaniu ostatniego punktu uzyskane natężenia ruchu na danym odcinku porównywane były z wynikami pomiarów ruchu. Jeśli błąd był mniejszy od 10% przerywano iterację, natomiast jeśli błąd przekraczał 10% procedura była powtarzana. Założony błąd o wartości 10% dotyczył dróg krajowych i wojewódzkich dla których dostępne były wyniki GPR 2010.

Dla pozostałych dróg (zwłaszcza powiatowych) błędy mogą przekraczać 10% z uwagi chociażby na krótki okres pomiaru (jednodniowy pomiar w godzinie szczytu). W wyniku kalibracji więźb ruchu zmianie uległy założone wyjściowe parametry modelu potencjałów ruchotwórczych oraz rozkładu przestrzennego podróży.

Analiza uzyskanych wyników pod kątem wartości wskaźnika GEH (wyznaczonego według wzoru 6.8) pokazuje, że uzyskany model jest bardzo bliski rzeczywistości. Procent odcinków dróg krajowych, wojewódzkich i powiatowych spełniających warunek  $GEH < 5$  wynoszą:

- 90 % biorąc pod uwagę natężenia ruchu samochodów dostawczych,
- 95 % biorąc pod uwagę natężenia ruchu samochodów ciężarowych bez przyczep,
- 94 % biorąc pod uwagę natężenia ruchu samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami.



### 6.3. Wnioski z rozdziału 6

W rozdziale 6 przedstawiono dwa różniące się od siebie podejścia do uwzględnienia drogowego transportu ładunków w regionalnych modelach ruchu. W pierwszym przykładzie regionem był obszar województwa, w drugim zwarty obszar z 24 gminami zlokalizowanymi w kilku powiatach.

W przypadku województwa dolnośląskiego wykorzystano krajowy model ruchu do wygenerowania modelu sieci, który obejmował tylko drogi krajowe i wojewódzkie oraz więźb ruchu zewnętrznego w stosunku do obszaru analizy. W przypadku analizy korytarzowej drogi ekspresowej S1 sieć drogowa, uwzględniająca drogi krajowe, wojewódzkie i powiatowe, została pozyskana z baz GIS, natomiast ruch zewnętrzny został obliczony na podstawie kordonowych pomiarów ruchu.

Stworzone w ramach dysertacji modele zastosowano do obliczenia więźb ruchu wewnętrznego (w przypadku województwa dolnośląskiego) oraz potencjałów ruchotwórczych (w przypadku analizy obszaru oddziaływania planowanej drogi ekspresowej S1).

W obu analizowanych przypadkach konieczna była kalibracja więźb ruchu do dostępnych pomiarów ruchu. Zastosowanie każdego z modeli bez procesu kalibracji dawało niezadowolające wyniki.

W wyniku przeprowadzonych analiz można sformułować następujące wnioski:

- w modelach regionalnych podział na rejony komunikacyjne powinien odpowiadać co najmniej podziałowi na gminy lub być gęstszy w przypadku gmin miejskich,
- przekrojowe pomiary natężenia ruchu do weryfikacji modelu muszą być wykonywane na granicach rejonów komunikacyjnych; wynika to z faktu, że ruch wewnątrzrejonowy nie jest rozkładany na sieć i kalibracja dotyczy ruchu międzyrejonowego,
- zastosowanie jednego z podanych przykładów zależy od dostępnych danych; jeśli dostępne są wyniki pomiarów ruchu tranzytowego zaleca się zastosowanie 4-stadiowego modelu podróży, w przypadku ich braku – zastosowanie formuł przepływów międzygminnych,
- pożądane jest wyróżnienie trzech więźb ruchu dla samochodów ciężarowych:
  - dla lekkich samochodów ciężarowych (SD),
  - samochodów ciężarowych bez przyczep (SC),
  - samochodów ciężarowych z przyczepami i ciągników siodłowych z naczepami (SCP).
- w modelu sieci należy uwzględnić wszystkie drogi krajowe i wojewódzkie oraz wybrane drogi powiatowe,
- model należy kalibrować do natężeń ruchu (z pomiarów własnych lub GPR) na granicach rejonów komunikacyjnych oraz wlotach zewnętrznych do obszaru analizy.

## 7. Podsumowanie

### 7.1. Spełnienie założonych celów

Drogowy transport ładunków ma dominujące znaczenie w ogóle transportu ładunków. Wysoki udział drogowego transportu ładunków w odniesieniu do tonokilometrów (70,4 % ogółu transportu ładunków w roku 2010), a zwłaszcza tonażu ładunków (84,4 % ogółu transportu ładunków w roku 2010), utrzymuje się i nie należy spodziewać się zmiany obecnego trendu. Prognozowany jest dalszy wzrost masy ładunków przewożonych przez samochody ciężarowe. Scharakteryzowano czynniki wpływu na drogowy transport ładunków w skali makro oraz określono wpływ wybranych z nich. Występuje silna zależność pomiędzy wzrostem PKB a wzrostem masy przewożonych ładunków w Polsce i innych krajach europejskich.

W szerokim przeglądzie literatury przedstawiono zróżnicowanie modeli transportu ładunków. Na tle badań zagranicznych pokazano braki w dotychczasowych badaniach krajowych, które powinny być sukcesywnie uzupełniane. Z przeglądu literatury wyraźnie przebiega się podział na modele ładunkowe i pojazdowe. Ponadto w zależności od zasięgu przestrzennego modelu stosowane są różne podejścia do modelowania transportu ładunków. Zasięg przestrzenny modelu narzuca metodykę. Stąd kryterium zasięgu przestrzennego posłużyło do sklasyfikowania i scharakteryzowania modeli transportu ładunków. Wnioski z przeglądu literatury posłużyły jako punkt wyjścia do analiz własnych, w których przyjęto model pojazdowy o zasięgu regionalnym, w którym rejon komunikacyjny odpowiada gminie. Przyjęcie takich założeń podyktowane było dostępnością danych, zarówno do budowy jak i do weryfikacji modelu oraz możliwości praktycznego zastosowania.

Przedstawiono miejsce drogowego transportu ładunków w regionalnych modelach podróży i ruchu oraz możliwości jego zastosowania. Scharakteryzowano dostępne bazy danych oraz oceniono ich przydatność pod kątem modelowania transportu ładunków dostępnych baz danych. Trudnością, z którą musiał uporać się autor niniejszej dysertacji był brak danych oraz często ich niska wiarygodność. W kwestii tej autor nie jest osamotniony, gdyż na problem braku i niskiej wiarygodności danych zwracają uwagę również inni autorzy. Najlepiej obrazuje to tytuł jednego z artykułów umieszczonych w bibliografii, który w języku polskim brzmi: „*Modelowanie transportu ładunków: Co zrobić gdy brakuje danych?*”<sup>19</sup>.

Przedstawiono metody uzupełniania danych oraz dokonano oceny tych metod. Zostały one wykorzystane do uzupełnienia danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych w powiatach, niezbędne do adaptacji metody Vomberga. Pokazano, że metody uzupełniania danych mogą być pomocne, gdy dostępne bazy zawierają braki.

Wykorzystano różne metody obliczeniowe do tworzenia modeli potencjałów ruchotwórczych. Pokazano przydatność regresji liniowej i nieliniowej oraz sztucznych sieci neuronowych w tworzeniu modeli potencjałów ruchotwórczych. Przeanalizowano oraz skwantyfikowano wpływ wielu zmiennych na potencjał ruchotwórczy gminy. W efekcie uzyskano zestaw formuł regresyjnych oraz wskaźników generacji ruchu, wykorzystujących różne zmienne objaśniające, które wpływają na potencjał ruchotwórczy gminy. Osiągnięto zatem główny cel dysertacji.

Stworzone zostały modele obiektowe potencjałów ruchotwórczych dla różnego typu punktowych generatorów ruchu. W zależności od typu obiektu zaproponowano wskaźniki generacji ruchu wyrażone liczbą jazd na 1000 m<sup>2</sup> powierzchni zabudowy lub użytkowej. W ten sposób zrealizowano jeden z pobocznych celów pracy.

---

<sup>19</sup> tłumaczenie własne

W rozdziale dotyczącym weryfikacji modeli autor pokazał możliwość wykorzystania pomiarów ruchu wlotowego i wylotowego do szacowania potencjału ruchotwórczego gminy. Jest to niewątpliwa zaleta tego typu pomiarów, gdyż oprócz informacji o ruchu tranzytowym można zidentyfikować ruch docelowy i źródłowy, równy co do wartości potencjałowi absorbującemu i wytwarzającemu.

W ostatnim rozdziale zaprezentowano dwa podejścia uwzględnienia ruchu ciężarowego w regionalnych modelach ruchu, różniące się od siebie. W pierwszym wykorzystano zmodyfikowaną metodę Vomberga do obliczenia więźb ruchu samochodów ciężarowych dla relacji międzygminnych. W drugim zastosowano klasyczne czterostadiowe podejście wyznaczając potencjały ruchotwórcze na podstawie opracowanych wcześniej formuł regresyjnych. Pokazano możliwości zastosowania metod symulacyjnych (pakiet VISUM) w modelowaniu drogowego transportu ładunków. Stanowi to wkład w rozwój metodyki tworzenia regionalnych modeli transportu ładunków, co było jednym z celów pobocznych pracy.

Podsumowując niniejszą dysertację można potwierdzić, być może trywialne stwierdzenie, że modelowanie transportu ładunków okazało się zagadnieniem trudnym. Jednak trudność ta nie wynika z braku metod obliczeniowych, które są dobrze zalgorytmizowane. Trudne, niekiedy wręcz niemożliwe, jest pozyskanie danych wejściowych do tworzonych modeli. Autor pracy starał się te trudności przełamać, szukając niekiedy alternatywnych metod pozyskania danych wejściowych.

## 7.2. Weryfikacja postawionych tez

### *Teza ogólna*

Zaprezentowano różne modele potencjałów ruchotwórczych dla dwóch typów samochodów ciężarowych. Obliczone na podstawie tych modeli wartości potencjałów ruchotwórczych porównano z wartościami uzyskanymi z pomiarów. Dla prostego modelu wskaźnikowego opartego o liczbę podmiotów REGON ogółem lub liczbę podmiotów REGON w sektorze przemysłowym uzyskano zadowalające wyniki, tj. najmniejsze błędy względne, nie tylko dla gmin, które były uwzględnione w budowie modelu (Czernichów i Michałowice) ale również dla gmin powiatu miechowskiego, które wykorzystano do weryfikacji modelu. Daje to podstawę do potwierdzenia postawionej tezy, że możliwe jest stworzenie modelu ważnego dla ogółu gmin.

### *Teza naukowa*

W rozdziale dotyczącym modelowania potencjałów ruchotwórczych wykorzystano wiele zmiennych objaśniających, które mogłyby mieć wpływ na potencjał ruchotwórczy. Wykazano, że kilka z nich istotnie wpływa na potencjał ruchotwórczy gminy, a jednocześnie opracowane na ich podstawie modele dają zadowalające wyniki biorąc pod uwagę różnice pomiędzy modelowanymi a obserwowanymi wartościami potencjałów. Zmiennymi tymi są:

- liczba podmiotów gospodarczych wpisanych do rejestru REGON ogółem,
- liczba podmiotów gospodarczych wpisanych do rejestru REGON w sektorze przemysłowym,
- liczba mieszkańców,
- liczba pracujących w usługach.

Dla modeli wykorzystujących powyższe zmienne uzyskano wysokie współczynniki determinacji. Ponadto pokazano, że wartość potencjału ruchotwórczego zależy od typu

gminy: gmina miejsko-wiejska i gmina wiejska. Dla tych dwóch typów gmin opracowano wzory regresji i pokazano, że jakość modelu może ulec poprawie w wyniku wprowadzenia takiego podziału.

Wpływ poszczególnych zmiennych oraz typu gminy został skwantyfikowany poprzez wartości współczynników regresji oraz wykazano ich statystyczną istotność, a w przypadku sztucznych sieci neuronowych przez iloraz błędu z analizy wrażliwości.

Zatem tezę naukową, mówiącą że potencjał ruchotwórczy gminy, w drogowym transporcie ładunków, wyrażony liczbą rozpoczętych i skończonych jazd samochodów ciężarowych, zależy od typu gminy, czynników demograficznych, zatrudnienia oraz podaży przedsiębiorstw i wpływ ten jest kwantyfikowalny należy uznać za wykazaną.

### ***Teza metodyczna***

Przedstawione w pracy procedury tworzenia modeli potencjałów ruchotwórczych potwierdzają użyteczność regresji pojedynczej i wieloczynnikowej oraz sztucznych sieci neuronowych. Jednocześnie w rozdziale przedstawiającym zastosowanie opracowanych modeli pokazano użyteczność metod makrosymulacyjnych ruchu w sieci drogowej do kalibracji stworzonego modelu. Użyteczność i skuteczność metod uzupełniania danych przedstawiono na przykładzie uzupełniania informacji o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych.

## **7.3. Wnioski generalne**

1. Stan badań zagranicznych, zwłaszcza amerykańskich, należy uznać za zaawansowany. Prowadzone są badania transportu ładunków, których wyniki są publicznie dostępne (np. Commodity Flow Study, CFS w USA). Również mnogość tworzonych modeli i ich stała ewolucja zasługuje na uznanie. Podejście zastosowane w modelach zagranicznych możliwe jest do przeniesienia do warunków polskich. Nie jest możliwe bezpośrednie wykorzystanie tych wyników w tym modelu z uwagi na inne uwarunkowania. Na tym tle badania polskie wypadają skromnie. Badania drogowego transportu ładunków w Polsce wykonywane są „przy okazji” kompleksowych badań ruchu pasażerskiego i rzadko występują samodzielnie. Kilka badań polskich i stworzone w ich ramach modele, zwłaszcza dotyczące obiektowych generatorów ruchu, wpisują się w trendy badań ruchu ciężarowego. Część badań nie skończyła się stworzeniem modeli potencjałów ruchotwórczych, a w dwóch przypadkach były to tylko modele uproszczone.

2. Można stwierdzić, że z jednej strony dostępnych jest wiele baz danych, z drugiej jednak często są one mało wiarygodne lub nieprzydatne. Ze względu na tendencję tworzenia ogromnych baz danych konieczne jest odfiltrowanie tych, które są faktycznie użyteczne. W przypadku niekompletnych baz danych istnieje możliwość uzupełniania brakujących danych z wykorzystaniem prostych i złożonych metod matematycznych. Użyteczne okazało się wykorzystanie tych metod do uzupełniania brakujących danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych w gminach.

3. Badania wykazały wpływ następujących czynników na potencjał ruchotwórczy w drogowych przewozach ładunków: liczba mieszkańców, liczba pracujących w sektorze przemysłowym i usługowym, liczba podmiotów gospodarczych wpisanych do rejestru REGON ogółem, w sektorze przemysłowym i usługowym oraz w sekcji transport. Siła wpływu danego czynnika na potencjał ruchotwórczy jest zależna od typu modelu i rodzaju gminy. We wszystkich modelach regresji wielorakiej zauważalny jest statystycznie istotny wpływ liczby pracujących w usługach, podczas gdy liczba pracujących w rolnictwie

i przemyśle ma słabszy wpływ. Wyjątek stanowi model z wykorzystaniem liczby mieszkańców i liczby pracujących w usługach dla lekkich samochodów ciężarowych bez podziału na gminy, w którym silniejszy wpływ ma liczba mieszkańców. Wraz ze wzrostem wartości czynników wpływu wzrasta wartość potencjału ruchotwórczego gminy.

**4.** Jako zalecany do stosowania można przyjmować ogólny model wskaźnikowy wykorzystujący liczbę podmiotów REGON ogółem lub liczbę podmiotów REGON w sektorze przemysłowym. Wykorzystanie tego modelu jest konieczne w przypadku braku modelu lokalnego, tj. o parametrach skalibrowanych do warunków określonego regionu lub subregionu, i jest on wtedy szczególnie rekomendowany. Często liczba pracujących w podziale na sektory gospodarki (rolnictwo, przemysł, usługi) nie jest dostępna na poziomie gminy. W takich przypadkach ujawnia się wyższość modelu wskaźnikowego i jest on sugerowany do wykorzystania. Autor nie wyklucza zastosowania innych modeli niż zalecany ogólny, sugerując zawsze przeanalizowanie dostępnych baz danych oraz pomiarów weryfikacyjnych, które mogą pomóc w decyzji o wyborze modelu. Zdecydowanie nie zaleca się stosowania modelu uwzględniającego odległość od centrum województwa. Modele z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych mogą poprawić jakość modelu, jednak jego użyteczność jest ograniczona z uwagi na brak łatwych do zastosowania formuł regresyjnych oraz małą liczebność danych.

**5.** Alternatywą do pełnego czterostadiowego modelu, w którym niezbędne jest wyznaczenie potencjałów ruchotwórczych, jest metoda pośrednia wyznaczająca elementy więzby ruchu na podstawie modeli. Jest to metoda szczególnie użyteczna do wyznaczenia więzby ruchu wewnętrznego dla dowolnego obszaru, przy czym niezbędne są pomiary ruchu wlotowego i wylotowego w celu oszacowania więzby ruchu źródłowego, docelowego i tranzytowego. Podejście to nie daje w wyniku modelu potencjałów ruchotwórczych. Może prowadzić do wyznaczenia wartości potencjałów ruchotwórczych poprzez zsumowanie wierszy i kolumn obliczonej więzby ruchu.

**6.** Wyniki weryfikacji pokazały rozbieżności w wartościach błędów względnych dla modelu ogólnego, tj. wskaźnikowego z wykorzystaniem liczby podmiotów REGON ogółem i liczby podmiotów REGON w sektorze przemysłowym. Generalnie modele ogólne dają nieco niższe wyniki niż obserwowane wartości potencjałów ruchotwórczych. Średnie wartości resztowych potencjałów ruchotwórczych dla modeli przyjętych za ogólne wahają się od -17 do 11, przy czym przeważają wartości ujemne. Zatem model ogólny generalnie zaniża wartości potencjałów ruchotwórczych w stosunku do obserwowanych.

**7.** Ruch ciężarowy związany z pojedynczymi generatorami ruchu charakteryzuje się dużą zmiennością losową. Wykonanie jednodniowego pomiaru daje niemiernodajne wyniki. Pełna ocena tej zmienności wymaga wielokrotnie powtarzanych pomiarów. Uzyskane wyniki sugerują, że wskaźniki generacji ruchu powinny być obliczane nie tylko dla grup obiektów o tym samym charakterze, ale nawet dla poszczególnych obiektów. Wielu administratorów obiektów generujących ruch ciężarowy ma informacje o liczbie wjazdów i wyjazdów samochodów ciężarowych lub wielkości nadawanych i odbieranych ładunków, jednak są to dane objęte tajemnicą handlową. Modele obiektowe są przydatne do oceny wpływu planowanej inwestycji (np. centrum logistycznego) na przyległą sieć drogową. Wyniki analiz mogą być podstawą do negocjacji pomiędzy gminą a inwestorem na temat partycypacji w kosztach budowy lub przebudowy przyległej infrastruktury przez inwestora. Ponadto potencjał ruchotwórczych obiektów zlokalizowanych w danej gminie współtworzy jej potencjał ruchotwórczy.

8. Z przeglądu i oceny sposobów pomiarów i badań ruchu dla potrzeb budowy modeli transportu ładunków wynika, że oprócz wykorzystania sprawdzonych metod (np. pomiary ruchu wjazdowego i wyjazdowego do obiektów lub obszarów) należy dążyć do jak największego wykorzystania systemów: GPS (odbiorniki w samochodach ciężarowych), ITS (Inteligentne Systemy Transportowe, np. systemy sterowania ruchem ulicznym), elektronicznego poboru opłat (np. Via-TOLL w Polsce) oraz automatycznego rozpoznawania tablic rejestracyjnych. Podkreślić należy, że przeprowadzenie ankietowania z zatrzymywaniem pojazdów typu źródło-cel w przekrojach drogowych jest obecnie niemożliwe stąd konieczność pozyskiwania danych w sposób nie zaburzający ruchu pojazdów.

9. Zastosowanie nawet bardzo wyrafinowanej metody będzie obarczone błędem szacowania wartości zmiennych z uwagi na ich ograniczoną dostępność. Ponadto, patrząc również na doświadczenie projektowe autora, rzadko kiedy po rozłożeniu więźb ruchu samochodów ciężarowych dostajemy zadowalającą zgodność modelowanych natężeń ruchu z pomierzonymi. Powinno się przeprowadzić proces kalibracji, w którym korygowane są wartości potencjałów ruchotwórczych.

Potencjały ruchotwórcze uzyskane z estymowanych modeli należy przyjmować za wyjściowe. Jest to analogia do amerykańskiej instrukcji Quick Response Freight Manual (QRFM), gdzie w przypadku braku innych danych (np. modeli lokalnych) zaleca się stosowanie modelu ze standardowymi parametrami, czyli ogólnego.

#### 7.4. Kierunki dalszych badań

Jako kontynuację prowadzonych badań proponuje się:

- przeprowadzenie badań w celu stworzenia pełnego modelu dla regionu,
- estymację parametrów modelu grawitacyjnego do wyznaczania więźby ruchu jako kolejnego etapu modelu czterostadiowego,
- stworzenie modelu potencjału ruchotwórczego wyrażonego w jazdach samochodów ciężarowych dla gmin miejskich,
- pozyskanie większej bazy danych (kolejne pomiary) dla obiektowych generatorów ruchu,
- analizę transportu ładunków w podziale na sekcje PKD/sektory gospodarki oraz uwzględnieniem transporty kolejowego i ewentualnie wodnego,
- szacowanie średniej masy przewożonych ładunków oraz pustych przebiegów,
- uwzględnienie w modelach ruchu procesów logistycznych oraz łańcuchów dostaw,
- określenie wpływu opłat za korzystanie z infrastruktury na rozkład ruchu ciężarowego,
- określenie zmienności ruchu ciężarowego w czasie (dobowej, tygodniowej, sezonowej),
- pogłębienie aspektów ujęcia stochastycznego transportu ładunków.

## 8. Bibliografia

- [1] Acock, A. C., Working with missing Values, *Journal of Marriage and Family* 67 (November 2005): 10121028.
- [2] Al-Battaineh O., Kaysi I. A., Commodity-Based Truck O-D Matrix Estimation Using Input-Output Data and Genetic Algorithms, 84th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 9-13, 2005.
- [3] Al-Deek, H. M., A comparison between neural networks and multiple regression approaches for developing freight planning models with specific applications to seaports, 80th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C., January 2001.
- [4] Al-Deek, H. M., et al., Evaluation of two modeling methods for generating heavy truck trips at an intermodal facility using vessel freight data, 84th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C., January 2005.
- [5] Allen, Jr., W.G., Development of Truck Models, Prepared for Baltimore Metropolitan Council, Baltimore, Maryland, June 2002.
- [6] Ambroziak T, Jacyna M., System logistyczny Polski a komodalność transportu, *Logistyka* 4/2011, str. 25-32.
- [7] Anater P., Wall B., White W., Development of the Pennsylvania Statewide Commodity-Based Freight Model, 11th TRB National Transportation Planning Applications Conference, May 7, 2007.
- [8] Balbach P., Tadi R. R., Truck trip generation characteristics of nonresidential land uses, *ITE Journal*, July, 1994, pp. 43–47.
- [9] Balke I. Badania koniunktury w transporcie samochodowym, *Przegląd komunikacyjny*, 2009, nr 4, s. 11–15.
- [10] Baker, M., Bostrom, R., Nashville Freight Model, Nashville Metropolitan Planning Organization, 2008.
- [11] Bassok, Alon; McCormack, Edward D.; Outwater, Maren L.; Ta, Chilan, Use of truck GPS data for freight forecasting, 90th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 23-27, 2011.
- [12] Bastida, C., Holguin-Veras, J., Freight generation models: Comparative analysis of regression models and multiple classification analysis, 88th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 11–15, 2009.
- [13] Ben-Akiva M., Jong G. de, The Aggregate-Disaggregate-Aggregate (ADA) Freight model System, *Recent Developments in Transport Modelling: Lessons for the freight sector*, Emerald Group Publishing Limited, 2008 pp. 117–134.
- [14] Bernacki D., Wzrost gospodarczy a popyt na przewozy towarowe w Polsce, *Konferencja Euro-Trans 2009*, Szczecin, 17 – 18 września 2009.
- [15] Bickel, D., et al., The Lower Mainland (Vancouver) Truck Freight Study, 82nd TRB Annual Meeting, Washington, D.C., January, 2003.
- [16] Bluszcz M., Jacyna M., Koncepcja modelu obsługi logistycznej miasta, *Logistyka*, 2009, nr 4.
- [17] Brzeziński A., Waltz A., Budowa hierarchicznych modeli ruchu w sieciach drogowych, Politechnika Warszawska, Praca doktorska, 1998.
- [18] Bujanda, Arturo; Villa, Juan Carlos; Williams, Jon, Development of Statewide Freight Flow Assignment Using Freight Analysis Framework (FAF), 91st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 22-26, 2012
- [19] Burnewicz J., Prognoza zapotrzebowania na usługi transportowe w Polsce do 2020 roku, *Przegląd komunikacyjny*, 2005, nr 12, s 17–26.

- [20] Campbell, Shama; Jaller Martelo, Miguel; Sanchez-Diaz, Ivan; Holguin-Veras, Jose; Lawson, Catherine Theresa, Comparison between industrial classification systems in freight trip generation modeling, 91st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 22-26, 2012.
- [21] Cantillo, Victor, Development of national freight demand model with limited data and resources, 91st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 22-26, 2012.
- [22] Casavant K. L., Jessup E., Lawson C. T., "Truck trip data collection methods", Final Report, February 2004.
- [23] Cascetta E., Transportation Systems Engineering: Theory and methods, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [24] Cascetta E., Marzano V., Papola N., Multi-Regional Input-Output Models for Freight Demand Simulation at a National Level, Recent Developments in Transport Modelling: Lessons for the freight sector, Emerald Group Publishing Limited, 2008 pp. 93–116.
- [25] Celik H.M., Modeling freight distribution using artificial neural networks, Journal of Transport Geography 12 (2004) 141–148.
- [26] Chen, C.-H. P., Naylor, G. A., Development of a Regional Truck Model for the Santa Clara Valley Transportation Authority, 88th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 11–15, 2009.
- [27] Chin S.-M., Hwang H.-L., Converting freight flow information to truck volumes, 85th TRB Annual Meeting, Washington, D.C., 2006.
- [28] Chin S.-M., Hwang H.-L., National freight demand modeling – Bridging the gap between freight flow statistics and U.S. economic patterns, 86th TRB Annual Meeting, Washington, D.C., 2007.
- [29] Chow, Joseph Y.J.; Ritchie, Stephen G., A freight transshipment network model for forecasting commodity and cyclic commercial vehicle flows, 91st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 22-26, 2012.
- [30] Ciudad Juarez Heavy-Duty Vehicle Survey Vol. I and Vol. II, Prepared for the Texas Commission on Environmental Quality. UACJ, February, 2002.
- [31] Combes, Francois; Leurent, Fabien M., Improving roadside surveys for better knowledge of road freight transport, 90th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 23-27, 2011.
- [32] Conklin J.H., Scherer W.T, Data Imputation Strategies for Transportation Management Systems. Research Report No. UVACTS-13-0-80 May, 2003.
- [33] COST 323 „Weight-in-Motion of Road Vehicles”, Final Report, Appendix 1 „European WIM Specification”, Version 3.0, August 1999.
- [34] Davydenko, I. Y., Tavasszy, L. A., Meijeren, J. J., Ivanova, O., Estimation of freight flow and trip generation according to transport purpose in urban and regional logistics networks, METRANS Urban Freight Conference, Long Beach, Ca, October 14, 2011.
- [35] Design Manual for Roads and Bridges (DMRB), UK Highways Agency, Volume 12, Section 2, 1996.
- [36] Dhingra S.L., Modeling for Urban Goods Movement – A case study of Indian cities, International Transportation Seminar, 22nd October 2009, Poznań.
- [37] Dixit, Shweta; Venigalla, Mohan M.; Bronzini, Michael S, Methodology for disaggregation of freight origin-destination data for metropolitan and regional planning, 90th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 23-27, 2011.
- [38] Dobosz M.: Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań. Warszawa, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT 2004.
- [39] Dorosiewicz S., Gis W., Menes E., Waśkiewicz J., Prognoza rozwoju ciężarowego transportu samochodowego do 2020 r., Transport samochodowy, 2006, Zeszyt 4.
- [40] Dorosiewicz A., Potoki ładunków w sieciach transportowych, ITS 2010.



- [41] Duanmu, Jun; Foytik, Peter; Khattak, Asad J.; Robinson, Robert Michael, Distribution analysis of freight transportation using gravity model and genetic algorithm, 91st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 22-26, 2012.
- [42] Elaurant, S., Ashley, D., Bates, J., Future directions for freight and commercial vehicle modelling, 30th Australasian Transport Research Forum (ATRF), 2007.
- [43] Faris J. M., Ismart D., „Freight modeling techniques for small and medium-sized areas, Proceedings of the Sixth National Conference on Transportation Planning for Small and Medium-Sized Communities, Spokane, WA, USA, 1998.
- [44] Feng, G., Aultman-Hall, L., Alternative nationwide freight generation models, 84th TRB Annual Meeting, January 9-13, 2005.
- [45] Fernández L., J. E., J. de Cea Ch., and A. Soto O., A Multi-modal Supply-Demand Equilibrium Model for Predicting Intercity Freight Flows, *Transportation Research Part B*, 37 (7), pp. 615–640, 2003.
- [46] Fiedorowicz J., Fiedorowicz K., Prognoza przewozów w Polsce do 2035 r., *Przegląd Komunikacyjny*, 2009, nr 6, s 26-34.
- [47] Fischer, Michael, Recognition of important aspects of short-haul and long-haul freight forecasting, 91st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 22-26, 2012.
- [48] Fosgerau M., Nielsen O. A., Design of a Danish National Freight Model. Conference National and Interenational Freight Transport Models, 2003.
- [49] French, L.J., Eck R.W., Trip generation characteristics of poultry-related facilities, July 1999.
- [50] Friedrich, M., Haupt, T., Noekel, K., Freight modelling: data issues, survey methods, demand and network models, Proceedings of 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, 2003.
- [51] Friesz, T.L., Z.-G. Suo, and D.H. Bernstein (1998). A dynamic disequilibrium interregional commodity flow model. *Transportation Research*, 32B(7), 467-483.
- [52] Gaca, S., Tracz, M. Wpływ supermarketów na funkcjonowanie przyległej sieci ulic, *Transport Miejski, cz.I - nr 1/2001 s.2-5, cz. II, nr.2/2001 s. 7-11.*
- [53] Garber, J. H., Hoel, L. A., *Traffic & Highway Engineering*, Third Edition, 2001.
- [54] Garrido R. A., Mahmassani H. S., Forecasting Short Term Freight Transportation Demand: The Poisson STARMA Model, 77th Annual TRB Meeting, Washington D.C., January 1998.
- [55] Garrido R. A., Mahmassani H. S., Forecasting freight transportation demand with the space-time multinomial probit model, *Transportation Research Part B* 34 (2000) 403-418.
- [56] Garrido R. A., Insights on freight and commercial vehicle data needs, International Conference on Transport Survey Quality and Innovation, Kruger National Park, South Africa, 2001.
- [57] Garrido, R. A., Cisternas, M. S., Freight transportation demand modeling: What do we do with no data?, 2005.
- [58] Gentile G., Vigo D., Movement generation and trip distribution for freight demand modelling applied to city logistics, Technical Report DEIS OR.INGCE 2007/3, March 2007.
- [59] Giuliano, G., et al., Estimating freight flows for metropolitan area highway networks using secondary data sources, National Urban Freight Conference Long Beach, CA, February 2006.
- [60] Guan, C.Q., Liu, R., Container volume and truck trip generation at marine container terminals. A behavioral analysis, 87nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C., January 2008.

- [61] Hensher, David A., Button, Keneth J., Handbook in Transport, Volume 1, Handbook of Transport Modelling, Pergamon, 2005.
- [62] Holguín-Veras J., López-Genao Y., Salam, A.; Truck Trip Generation at Container Terminals: Results from a Nationwide Survey, Transportation Research Board No 1790, Freight Transportation 2002, p. 89-96.
- [63] Holguín-Veras J., et al., An assessment of methodological alternatives for a region freight model in the NYMTC region, Report prepared for New York Metropolitan Transportation Council (NYMTC), March, 2001.
- [64] Holguín-Veras J., Patil, G. R., A Multicommodity Integrated Freight Origin–destination Synthesis Model, Networks and Spatial Economics (2008) 8:309–326.
- [65] Holguin-Veras, Jose; et al., Freight generarion, freight trip generation and persils using constant trip rates, Journal of Transportation Research Board, No. 2224, Freight Systems 2011, Modeling and performance measures.
- [66] Holguin-Veras, Jose; et al., Estimted generation of freight trips based on land use, Journal of Transportation Research Board, No. 2269, Freight Systems 2012, Modeling and logistics.
- [67] Holguin-Veras, Jose, Understanding the reasons for using advanced methods in freight forecastng, 91st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 22-26, 2012.
- [68] Holguin-Veras, Jose; Jaller Martelo, Miguel, Comprehensive freight demand data colleciton framework for large urban areas, 91st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 22-26, 2012.
- [69] Horowitz, A. J., Farmer, D. D., A critical review of statewide travel forecasting practice, Transportation Research Record No. 1685, Transportation Planning, Programming, Public Participation, and Land Use, 1999.
- [70] Hovi I. B., Vold A., An overview over the national freight model for Norway, Conference on National and International Freight Transport Models, September 8th - 9th, 2003, Helsingør.
- [71] Hwang S.K. Freight Demand Analysis and Data Collections in Korea, The Second Workshop on Statistics of Asian Traffic and Transportation, 23th October 2008, Tokoname City, Japan.
- [72] Hwang R., Freight modeling in Oregon, Oregon Department of Transportation (ODOT), 2005.
- [73] Iddink, Ute, Improving freight transport models by integration of logistics and procurement figures, 90th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 23—27, 2011.
- [74] Iding, Mirjam H.E., Meester, Wilhelm J., Tavasszy, Lóri A., Freight trip generation by firms, Paper for the 42nd European Congress of the Regional Science Association, Dortmund, 2002.
- [75] Input and Output Freight Generation within South East Queensland, Final Report, Queensland Transport Freight Demand Study, August 2004.
- [76] Jacyna M., Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [77] Jacyna M., Wybrane aspekty koncepcji modelu systemu logistycznego Polski za względu na komodalność transportu, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, Z. 75, 2010, str. 37-54.
- [78] Jamroz K., Romanowska A., Ruchotwórczość wielkopowierzchniowych obiektów handlowych trzeciej generacji na przykładzie Trójmiasta, Konferencja „Modelowanie podróży o prognozowanie ruchu”, Modelling 2012, Kraków.
- [79] Janecki R., Wybrane aspekty gospodarczego znaczenia transportu w regionach w świetle badań, Transport Miejski i Regionalny, 2006, nr 9, s. 10–21.

- [80] Jeff Ban, Xuegang; Jaller, Miguel; Destro, Lisa; Holguin-Veras, Jose; Lawson, Catherine; Levinson, Herbert, Freight generation, freight trip generation and the perils of using constant trip rates, 90th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 23-27, 2011.
- [81] Jones C., Perspective on Freight Congestion, Public Roads, July/August 2007, p. 36–41.
- [82] Jones E.G., Sharma, A., Development of statewide freight trip forecasting model for Nebraska, 82nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C., January 2003.
- [83] Jurare A.S., Sarvareddy P.R., “Travel Demand Modeling for Seaports”, IIT Bombay Golden Jubilee International Conference and 8th International Workshop on Transportation Planning and Implementation Methodologies For Developing Countries, Mumbai 2008.
- [84] Kawamura K., Shin H. S., Data need for truck trip generation analysis: qualitative analysis of the survey of retail stores, Transport Chicago 2005, Illinois Institute of Technology, June 3 2005.
- [85] Kędroń, K.: Badanie wielkości ruchu ciężarowego związanego z funkcjonowaniem wielkopowierzchniowych sklepów budowlanych w Krakowie, Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, 2010, promotor: Andrzej Szarata, konsultant: Tomasz Kulpa.
- [86] Kienzler, H.P., Ulfsson S., Modelling freight transport in the Rhine superior area, European Transport Conference 2003.
- [87] Kompleksowe Badania Ruchu – Poznań 2000. Diagnoza i wnioski. Miasto i Powiat Poznań.
- [88] Kompleksowe Badania Ruchu dla Miasta Krakowa. Przetwarzanie wyników. Moduł: Modelowanie ruchu. Pracownia Badań Społecznych, Sopot, 2003.
- [89] Kompleksowe badania ruchu w strefie podmiejskiej Krakowa 2007, Raport końcowy, Tom B, Modelowanie podróży. Sopot – Warszawa, 2007.
- [90] Konwencja celna dotycząca międzynarodowego przewozu towarów z zastosowaniem karnetów TIR (Konwencja TIR) sporządzona w Genewie dnia 14 listopada 1975 r., Dz.U. 1984 nr 17 poz. 76, z późniejszymi zmianami.
- [91] Kossak A., Lkw-Maut in Europa, Straße und Autobahn, 2007, nr 8, seite 444–449.
- [92] Kulpa, T., Modelowanie ruchu ciężarowego – przegląd metod, Transport Miejski i Regionalny, nr 05/2007.
- [93] Kulpa, T., Modelowanie podróży samochodów ciężarowych na przykładzie instrukcji amerykańskiej QRFM, VI konferencja naukowo-techniczna z cyklu: „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego” pt. Wspomaganie decyzji w projektowaniu i zarządzaniu transportem, Poznań-Rosnówko, 23-25 maja 2007.
- [94] Kulpa, T., Review of freight transport modelling techniques in Poland, I International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists, Poznań, 17-18 April 2008.
- [95] Kulpa, T., Modelowanie ruchu samochodów ciężarowych w obszarach urbanizowanych, LIV Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB Krynica 2008, Białystok – Krynica, 21 – 26 września 2008.
- [96] Kulpa, T., Adaptacja metody Vomberga do warunków polskich dla prognozowaniu ruchu samochodów ciężarowych, VII konferencja naukowo-techniczna z cyklu: „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego” pt. Skuteczne zmniejszanie zatłoczenia miast, Poznań-Rosnówko, 24-26 czerwca 2009.
- [97] Kulpa, T., Transport ładunków: Klasyfikacja i przegląd modeli podróży, Ogólnopolska konferencja naukowo – techniczna: „Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu”, Kraków, 25 – 26 listopada 2009 r.

- [98] Kulpa, T., Specyfika badań i pomiarów ruchu w drogowych przewozach ładunków, Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna Kompleksowe Badania Ruchu, Teoria i praktyka, Doświadczenia miast polskich, Gdańsk, 24-25 maja 2010.
- [99] Kulpa, T., Drogowy transport ciężarowy w regionalnych modelach podróży i ruchu, II ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu, Kraków, 18-19 listopada 2010.
- [100] Link H., Acceptability of the German Charging Scheme for Heavy Goods Vehicles: empirical Evidence from a Freight Company Survey, *Transport Reviews*, Vol 28, No. 2, 141–158, March 2008.
- [101] List, G. F., Konieczny L. A., Durnford C. L., and Papayanoulis V., Best-Practice Truck-Flow Estimation Model for the New York City Region, *Transportation Research Record* 1790, pp 97-103, August, 2002.
- [102] Lynch S. M., SOC504 Course Website, Missing Data Notes, <http://www.princeton.edu/~slynch/soc504/soc504index.html> (odczyt z dn. 28 listopada 2012 r.).
- [103] Ma, Yinyi; van Zuylen, Henk J.; van Dalen, Jan, Freight Origin-Destination Matrix Estimation Based on Multiple Data Sources: Methodological Study, 91st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 22-26, 2012.
- [104] Macejka, P., Road transport modelling of Zlín region, Proceedings of 11th International Scientific Conference MOBILITA' 11, Bratislava, 26 – 27 May 2011.
- [105] Maejima T., An application of continous spatial models to freight movements in Greater London, *Transportation* 8 (1979) 51–63.
- [106] Marker, Jr. J. T., Truck Traffic Prediction Using the Quick Response Manual Freight Model Under Different Degrees of geographic resolution: A GIS applicatiob in Pennsylvania. 77th TRB Annual Meeting, Washington D.C., 1998.
- [107] McCornack, E., et al., Truck trip generation by grocery stores, Research Project Agreement No. 61-7170, Final Report, August, 2010.
- [108] Meersman H., Voorde E. Van de, The Relationship between Economic Activity and Freight Transport, Chapter in book *Recent Developments in Transport Modelling: Lessons for the freight sector*, Emerald Group Publishing Limited, 2008, pp 69–92.
- [109] Menes E., Szwajcarska droga do zrównoważonego rozwoju transportu, *Przegląd komunikacyjny*, 2003, nr 1, s. 6–10.
- [110] Menes E., Stan i perspektywy polskiego transportu samochodowego, *Przegląd Komunikacyjny* Nr 3/2003, s 1–8.
- [111] Menes E., Lądowy transport towarowy w USA i w UE. *Przegląd Komunikacyjny*, 2003, nr 11, s. 13–16.
- [112] Metoda prognozowania emisji zanieczyszczeń od pojazdów – model i program komputerowy COPERT III, Praca zbiorowa pod redakcją dr inż. Janusza Bohatkiewicza, EKKOM Sp. z o.o. na zlecenie GDDKiA, 2008.
- [113] Mindur M., Związki i zależności między transportem a gospodarką, *Przegląd Komunikacyjny* 12/2005 s. 10–13.
- [114] Mori M., Ishida H., Mohri Y., Okamoto N, Demand Forecasting for road transportation in Japan, 89st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 10-14, 2010.
- [115] Mulinazzi, Thomas; Schrock, Steven; Wang, Ming-Heng, Freight data collection technique and algorithm using cellular phone and GIS data, 90th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 23—27, 2011.
- [116] NCFRP Report 14, Guidebook for Understanding Urban Goods Movement, Washington D.C., 2012.
- [117] NCHRP Synthesis 298, Truck Trip Generation Data, Washington, D.C. 2001.
- [118] NCHRP Synthesis 358, Statewide travel forecasting models, Washington, DC, 2006.

- [119] NCHRP Report 384, Forecasting Metropolitan Commercial and Freight Travel, Washington D.C., 2008.
- [120] NCHRP Report 606, Forecasting Statewide Freight Tool, Washington D.C., 2008.
- [121] Nguyen, L.N., Scherer, W.T., Imputation Techniques to Account for Missing Data in Support of Intelligent Transportation Systems Applications, Research Report No. UVACTS-13-0-78, May, 2003.
- [122] Novak D.C., Hodgdon C., Guo F., Aultman-Hall L., Nationwide Freight Generation Models: A Spatial Regression Approach, Networks and Spatial Economics, 2008.
- [123] Oliveira Neto, Francisco Moraes; Chin, Shih-Miao; Hwang, Ho-Ling, Aggregate Freight Generation Modeling: Assessing Temporal Effect of Economic Activity on Freight Volumes Using Two-Period Cross-Sectional Data, 91st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 22-26, 2012.
- [124] Ortúzar J. de D., Willumsen L.G., Modelling Transport, 3rd ed., Chichester (UK): John Wiley & Sons, 2001.
- [125] Pigoń, A.: Wielkość ruchu ciężarowego związana z funkcjonowaniem wybranych obiektów handlowych, Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, 2011, promotor: Andrzej Szarata, konsultant: Tomasz Kulpa.
- [126] Poradnik matematyczny, Praca zbiorowa pod redakcją I. Dziubińskiego i T. Świątkowskiego, PWN, 1980.
- [127] Pyza D., Modelowanie systemów przewozowych w zastosowaniu do projektowania obsługi transportowej podmiotów gospodarczych, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Z. 85, 2012.
- [128] Quick Response Freight Manual, Final Report, Federal Highway Administration, Washington D.C., September 1996.
- [129] Quick Response Freight Manual II, Final Report, Federal Highway Administration, Washington D.C., September 2007.
- [130] Raathanachonkun, P., Sano, K., Wisetjindawat, W., Matsumoto, S., Truck Trips Origin Destination Using Commodity Based Model Combined with an Empty Trip Model, 86th TRB Annual meeting, Washington, D.C., 2007.
- [131] Review of Freight Modelling, Report B1 – Review of GB Freight Modelling and Report B2 – Review of Models in Continental Europe and Elsewhere, Rand Europe, June 2002
- [132] Rockcliffe N., Wigan M., Freight survey requirements for urban areas, 77th Annual TRB Meeting, Washington D.C., 1998.
- [133] Roczniki statystyczne oraz Bank Danych Lokalnych, Główny Urząd Statystyczny, <http://www.stat.gov.pl>.
- [134] Roorda, M., Insights on data limitation and knowledge of freight surveys used to estimate models, 91st TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 22-26, 2012.
- [135] Rosik P. z zespołem, Narzędzie ewaluacyjno-badawcze dostępności transportowej gmin w podukładach wojewódzkich, Raport końcowy, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, 2012.
- [136] Rozporządzenie (WE) nr 561/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 marca 2006 r. w sprawie harmonizacji niektórych przepisów socjalnych odnoszących się do transportu drogowego oraz zmieniające rozporządzenia Rady (EWG) nr 3821/85 i (WE) 2135/98, jak również uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 3820/85.
- [137] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz.U. 2003 nr 32 poz. 262 z późn. zm.).
- [138] Rozporządzenie Ministra Transportu z dnia 31 lipca 2007 r. w sprawie okresowych ograniczeń oraz zakazu ruchu niektórych pojazdów na drogach (Dz.U. 2007 nr 147 poz. 1040 z późn. zm.).

- [139] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 listopada 2007 r. w sprawie wprowadzenia Nomenklatury Jednostek Terytorialnych do Celów Statystycznych (NTS) (Dz.U. 2007 nr 214 poz. 1573 z późn. zm.).
- [140] Rubin D.B., *Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys*, J. Wiley & Sons, New York, 1987.
- [141] Ruiter, Earl R.; *Development of an Urban Truck Travel Model for the Phoenix Metropolitan Area, Final Report*. Arizona Department of Transportation, Prepared by Cambridge Systematics, Inc., February 1992.
- [142] SCENES European Transport Scenarios, Final Report, April 2002.
- [143] Schafer, J.L., *J. Analysis of Incomplete Multivariate Data*. Chapman & Hall, London, 1997.
- [144] Schneider, W.; *The German national freight transport model*, Conference on National and International Freight Transport Models, September 8th - 9th, 2003, Helsingør
- [145] Shar, H., Anderson, M., Harris, G., Schroer, B., *A statewide freight transportation model*, Proceedings 2005 Summer Computer Simulation Conference.
- [146] Sharman, Bryce; Roorda, Matthew J., *Analysis of freight GPS data: Clustering approach for identifying trip destinations*, 90th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 23-27, 2011.
- [147] Shin, H-S, Kawamura, K., *Business and site specific trip generation model for truck trips*, Midwest Regional University Transportation Center, September, 2005.
- [148] SOLAS Imputation Manual, SOLAS<sup>TM</sup> Version 4.0, 2011.
- [149] Stanisław, A., *Podstawy statystyki dla prowadzących badania naukowe Odcinek 21: Analiza korelacji*, Medycyna Praktyczna 2000/10, str. 176-181.
- [150] Statgraphics Centurion XV User Manual, StatPoint, Inc. 2005.
- [151] Statistica 8 User Manual, StatSoft, 2007.
- [152] *Studium komunikacyjne dla miasta Łodzi*, BPRW S.A., Warszawa – Łódź, 2002.
- [153] *Studium transportowe dla miasta Leszna*, Instytut Rozwoju Miast, Kraków, sierpień 2006.
- [154] *Studium układu dróg szybkiego ruchu w Polsce*, Politechnika Warszawska, Instytut Dróg i Mostów, Warszawa, 2007.
- [155] Suwara T.: *Model potokowego rozkładu ruchu w sieci dróg zamiejskich*, Praca doktorska, Kraków, Politechnika Krakowska 1983.
- [156] Suwara T.: *Analiza ruchu zamiejskiego*, Warszawa, WKiŁ 1988.
- [157] Szczuraszek T., Bebyn G., Chmielewski J., Kempa J., *Kompleksowe badania i analizy niezbędne do wyznaczenia kierunków rozwoju sieci drogowej miasta*, Transport miejski i regionalny, 2007, nr 10, s. 9–16.
- [158] Szydło A., Wardęga R., Mackiewicz P., Kowalski K. J., *Wykorzystanie wag HS-WIM na polskich drogach*. Drogownictwo, 4/2007, s. 117-121.
- [159] Tadeusiewicz, R. *Odkrywanie własności sieci neuronowych*, PAU, Kraków 2007.
- [160] Tavasszy, L.A., Vlist van der, M.J.M., Ruijgrok, C.J. *Scenario-wise analysis of transport and logistics systems with a SMILE*, Conference on National and International Freight Transport Models, September 8th - 9th, 2003, Helsingør.
- [161] Tavasszy, L.A., *Freight Modelling – An overview of international experiences*, TRB Conference on Freight Demand Modelling: Tools for Public Sector Decision Making, September 25-27, 2006, Washington DC.
- [162] *The Swedish model system for goods transport – SAMGODS. A brief introductory overview*. SAMPLAN Report 2001:1, Stockholm, February 2001.
- [163] Tolliver, D., Dybing, A., Mitra, S., *Trip Generation Rates for Large Elevators: A North Dakota Case Study*, December 2006.
















- [164] Tok, Yeow Chern Andre; Zhao, Miyuan; Chow, Joseph Y.J.; Ritchie, Stephen G.; Arkhipov, Dmitri, Online data repository for statewide freight planning analysis, 90th TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 23-27, 2011.
- [165] Tortum A., Yayla N., Gökdağ M., The modeling of mode choices of intercity freight transportation with the artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system, *Expert Systems with Application* 36 (2009) 6199–6217.
- [166] Traffic Assignment. US Department of Transportation, Washington, 1973.
- [167] Turnquist, M.A., Characteristics of effective freight models, TRB Conference Freight Demand Modeling: Tools for Public-Sector Decision Making, Washington D.C. 2006.
- [168] Urban highway freight modeling including intermodal connectors for Florida, Final Report, Florida Department of Transportation, 2002.
- [169] Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych (Dz. U. 1985 Nr 14 poz. 60, z późn. zm.).
- [170] Ustawa z dnia 27 października 1994 r. o autostradach płatnych oraz o Krajowym Funduszu Drogowym (Dz. U. 1994 Nr 127 poz. 627, z późn. zm.).
- [171] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym, Dz. U. 1997 Nr 98 poz. 602, z późniejszymi zmianami.
- [172] Ustawa z dnia 6 września 2001 r. o transporcie drogowym, Dz. U. 2001 Nr 125 poz. 1371, z późniejszymi zmianami.
- [173] Ustawa o publicznym transporcie zbiorowym, Dz. U. 2011 Nr 5 poz. 13.
- [174] VISUM 12 User Manual, PTV AG.
- [175] Wang H., Jang K., Chan C.-Y., Analysis and multi-level modeling of truck freight demand, Strategic Highway Research Program 2 (SHRP2) Freight Modeling and Data Symposium, Washington D.C., 2010.
- [176] Warszawskie Badania Ruchu 2005 wraz z opracowaniem modelu ruchu, BPRW S.A., Warszawa, grudzień 2005.
- [177] Waśkiewicz J., Ciężarowy tabor samochodowy w Polsce – stan i prognoza, *Przegląd komunikacyjny*, 2004, nr 4, s. 5–10.
- [178] West, R., Rubin, D., Villa, J.C., Identification and evaluation of freight demand factors, Contractor’s Final Report for NCFRP Project 11, National Cooperative Freight Research Program (NCFRP), September 2011.
- [179] Wigan, M.R., Southworth, F., What’s wrong with freight models, and what should we do about it?, 85th TRB Annual Meeting, Washington D.C., 2006.
- [180] Yang, C. H., Regan A. C., Son Y.T., Another View of Freight Forecasting Modeling Trends, *KSCE Journal of Civil Engineering* (2010) 14(2):237-242.
- [181] Zipsler T. z zespołem, „Analiza badań komunikacyjnych ruchu samochodów ciężarowych na obszarze miasta Wrocławia”, Wrocław 2000.
- [182] Zrównoważony rozwój ciężarowego transportu samochodowego w Polsce, ITS, Warszawa 2006.
- [183] Żądło M., Wpływ gęstości podziału na rejony komunikacyjne na wyniki prognozy ruchu, *Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu 2012*, Materiały konferencyjne, s. 243255.
- [184] Žura, M., Lep, M., Mesarec, B., How to bridge the gap between strategic and local transport models?, Proceedings of 11th International Scientific Conference MOBILITA’ 11, Bratislava, 26 – 27 May 2011.

## **ZAŁĄCZNIKI**



**Załącznik 1 – Klasyfikacja pojazdów według FHWA**

Figure 1  
**FHWA VEHICLE CLASSIFICATION**

CLASS GROUP		DESCRIPTION	NO. OF AXLES	
1		MOTORCYCLES	2	
2		ALL CARS CARS	2	
		CARS W/ 1-AXLE TRAILER	3	
		CARS W/ 2-AXLE TRAILER	4	
3		PICK-UPS & VANS 1 & 2 AXLE TRAILERS	2, 3, & 4	
4		BUSES	2 & 3	
5		2-AXLE, SINGLE UNIT	2	
6		3-AXLE, SINGLE UNIT	3	
7		4-AXLE, SINGLE UNIT	4	
HEAVY TRUCKS		2-AXLE, TRACTOR, 1-AXLE TRAILER (2&1)	3	
		2-AXLE, TRACTOR, 2-AXLE TRAILER (2&2)	4	
		3-AXLE, TRACTOR, 1-AXLE TRAILER (3&1)	4	
		3-AXLE, TRACTOR, 2-AXLE TRAILER (3&2)	5	
			3-AXLE, TRUCK W/ 2-AXLE TRAILER	5
		TRACTOR W/ SINGLE TRAILER	6 & 7	
		5-AXLE MULTI-TRAILER	5	
		6-AXLE MULTI-TRAILER	6	
	13	ANY 7 OR MORE AXLE		7 or more
	14	NOT USED		
15	UNKNOWN VEHICLE TYPE			

### Załącznik 2 – Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych

W tab. Z.2.1. użyto następujących oznaczeń:

- **Typ** – typ powiatu, 1 – miasto na prawach powiatu, 0 – pozostałe powiaty,
- **L<sub>SC</sub>** – liczba samochodów ciężarowych zarejestrowanych w powiecie dla roku 2011,
- **Średnia** – wyniki uzupełniania brakujących danych poprzez zastępowanie wartością średnią,
- **HD** – wyniki uzupełniania brakujących danych na podstawie podobnych rekordów (Hot-Decking, Pattern Matching).
- **Regresja** – wyniki uzupełniania brakujących danych na podstawie regresji opartej o liczbę mieszkańców (LM) lub liczbę podmiotów REGON w transporcie (REGT),
- **PMBM** – wyniki uzupełniania brakujących danych metodą wielokrotnego wstawiania na podstawie regresji (Predictive Model Based Method),
- **PSM** – wyniki uzupełniania danych metodą wielokrotnego wstawiania na podstawie analizy skłonności (Propensity Score Method),
- **MM** – wyniki uzupełniania danych metodą wielokrotnego wstawiania na podstawie odległości Mahalanobisa (Mahalanobis Method).

W tab. Z.2.1. czcionką pogrubioną wyróżniono dane o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych, które zostały uzupełnione. Dla roku 2011 dla wszystkich powiatów dostępne były liczby zarejestrowanych samochodów ciężarowych, jednak w celu zastosowania i oceny metod uzupełniania danych część została usunięta. Dla roku 2011 usunięto dane o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych, które były niedostępne w roku 2006.

Tab. Z.2.1. Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych (opracowanie własne) c.d.

Nazwa powiatu	Typ	L <sub>SC</sub>	Średnia	HD	Regresja		PMBM	PSM	MM
					LM	REGT			
łódzki wschodni	0	6894	6894	6894	6894	6894	6894	6894	6894
pabianicki	0	9520	9520	9520	9520	9520	9520	9520	9520
zgierski	0	14327	14327	14327	14327	14327	14327	14327	14327
brzeziński	0	3339	3339	3339	3339	3339	3339	3339	3339
m. Łódź	1	50065	50065	50065	50065	50065	50065	50065	50065
bełchatowski	0	6611	6611	6611	6611	6611	6611	6611	6611
opoczyński	0	4765	4765	4765	4765	4765	4765	4765	4765
piotrkowski	0	6111	6111	6111	6111	6111	6111	6111	6111
radomszczański	0	10122	10122	10122	10122	10122	10122	10122	10122
tomaszowski	0	9156	9156	9156	9156	9156	9156	9156	9156
m. Piotrków Trybunalski	1	5931	5931	5931	5931	5931	5931	5931	5931
łaski	0	4231	4231	4231	4231	4231	4231	4231	4231
pajęczański	0	4351	4351	4351	4351	4351	4351	4351	4351
poddębicki	0	4329	4329	4329	4329	4329	4329	4329	4329
sieradzki	0	11892	11892	11892	11892	11892	11892	11892	11892
wieluński	0	7571	7571	7571	7571	7571	7571	7571	7571
wieruszowski	0	3542	3542	3542	3542	3542	3542	3542	3542
zduńskowolski	0	5156	5156	5156	5156	5156	5156	5156	5156
kutnowski	0	8277	8277	8277	8277	8277	8277	8277	8277

Tab. Z.2.1. Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych (opracowanie własne) c.d.

Nazwa powiatu	Typ	L <sub>sc</sub>	Średnia	HD	Regresja		PMBM	PSM	MM
					LM	REGT			
łęczycki	0	7557	7557	7557	7557	7557	7557	7557	7557
łowicki	0	7692	7692	7692	7692	7692	7692	7692	7692
rawski	0	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605
skierniewicki	0	3372	3372	3372	3372	3372	3372	3372	3372
m. Skierniewice	1	3453	3453	3453	3453	3453	3453	3453	3453
ciechanowski	0	6828	<b>5538</b>	<b>3778</b>	<b>6580</b>	<b>5153</b>	<b>4464</b>	<b>7729</b>	<b>4863</b>
gostyniński	0	4114	<b>5538</b>	<b>2378</b>	<b>3372</b>	<b>1927</b>	<b>2942</b>	<b>3601</b>	<b>2402</b>
mławski	0	5369	<b>5538</b>	<b>4163</b>	<b>5379</b>	<b>3374</b>	<b>4258</b>	<b>5147</b>	<b>4839</b>
płocki	0	11039	<b>5538</b>	<b>8782</b>	<b>7950</b>	<b>5358</b>	<b>6428</b>	<b>11561</b>	<b>7214</b>
płoński	0	8896	<b>5538</b>	<b>5242</b>	<b>6421</b>	<b>4013</b>	<b>4669</b>	<b>6827</b>	<b>5899</b>
sierpecki	0	4363	<b>5538</b>	<b>2281</b>	<b>3872</b>	<b>1311</b>	<b>2386</b>	<b>4655</b>	<b>4063</b>
żuromiński	0	3002	<b>5538</b>	<b>3047</b>	<b>2909</b>	<b>650</b>	<b>2200</b>	<b>2890</b>	<b>2828</b>
m. Płock	1	11565	<b>17606</b>	<b>8292</b>	<b>10691</b>	<b>10800</b>	<b>11534</b>	<b>6486</b>	<b>5992</b>
łosicki	0	2679	<b>5538</b>	<b>1082</b>	<b>2346</b>	<b>1801</b>	<b>3843</b>	<b>3004</b>	<b>3370</b>
makowski	0	3532	<b>5538</b>	<b>4332</b>	<b>3384</b>	<b>3055</b>	<b>4685</b>	<b>2630</b>	<b>3313</b>
ostrołęcki	0	5205	<b>5538</b>	<b>5569</b>	<b>6309</b>	<b>3181</b>	<b>5578</b>	<b>7315</b>	<b>7069</b>
ostrowski (mazowieckie)	0	5229	<b>5538</b>	<b>5765</b>	<b>5430</b>	<b>6316</b>	<b>7683</b>	<b>5503</b>	<b>5687</b>
przasnyski	0	3377	<b>5538</b>	<b>3306</b>	<b>3888</b>	<b>2896</b>	<b>2891</b>	<b>5071</b>	<b>3483</b>
pułtowski	0	4689	<b>5538</b>	<b>3306</b>	<b>3696</b>	<b>2291</b>	<b>2670</b>	<b>4526</b>	<b>4118</b>
siedlecki	0	6000	<b>5538</b>	<b>9309</b>	<b>5890</b>	<b>4161</b>	<b>4892</b>	<b>6168</b>	<b>5306</b>
sokołowski	0	4686	<b>5538</b>	<b>2471</b>	<b>4076</b>	<b>3295</b>	<b>4432</b>	<b>4210</b>	<b>3054</b>
węgrowski	0	6066	<b>5538</b>	<b>4163</b>	<b>4897</b>	<b>2941</b>	<b>3790</b>	<b>5506</b>	<b>4611</b>
wyszkowski	0	6390	<b>5538</b>	<b>4376</b>	<b>5309</b>	<b>5905</b>	<b>5034</b>	<b>4055</b>	<b>6173</b>
m. Ostrołęka	1	3303	<b>17606</b>	<b>3024</b>	<b>4596</b>	<b>5165</b>	<b>3671</b>	<b>3871</b>	<b>2893</b>
m. Siedlce	1	6430	<b>17606</b>	<b>4376</b>	<b>6577</b>	<b>5376</b>	<b>6760</b>	<b>3896</b>	<b>6034</b>
białobrzeski	0	6071	<b>5538</b>	<b>3372</b>	<b>2437</b>	<b>1436</b>	<b>3522</b>	<b>2844</b>	<b>2661</b>
kozienicki	0	6470	<b>5538</b>	<b>4163</b>	<b>4499</b>	<b>3317</b>	<b>5566</b>	<b>4672</b>	<b>3715</b>
lipski	0	3515	<b>5538</b>	<b>2105</b>	<b>2607</b>	<b>1505</b>	<b>3209</b>	<b>4263</b>	<b>2718</b>
przysuski	0	5698	<b>5538</b>	<b>2281</b>	<b>3132</b>	<b>1824</b>	<b>2335</b>	<b>3934</b>	<b>2709</b>
radomski	0	10856	<b>5538</b>	<b>10486</b>	<b>10801</b>	<b>6829</b>	<b>7428</b>	<b>23545</b>	<b>10939</b>
szydłowiecki	0	3098	<b>5538</b>	<b>2461</b>	<b>2936</b>	<b>1562</b>	<b>1674</b>	<b>3612</b>	<b>2804</b>
zwoleński	0	3357	<b>5538</b>	<b>2557</b>	<b>2676</b>	<b>1300</b>	<b>2162</b>	<b>2411</b>	<b>2875</b>
m. Radom	1	16141	<b>17606</b>	<b>5235</b>	<b>18972</b>	<b>15706</b>	<b>18590</b>	<b>40429</b>	<b>11661</b>
m. st. Warszawa	1	173215	<b>17606</b>	<b>4137</b>	<b>146930</b>	<b>207946</b>	<b>183355</b>	<b>29406</b>	<b>40299</b>
garwoliński	0	7760	<b>5538</b>	<b>10122</b>	<b>7814</b>	<b>4640</b>	<b>6521</b>	<b>19910</b>	<b>8763</b>
legionowski	0	9864	<b>5538</b>	<b>5396</b>	<b>7802</b>	<b>11514</b>	<b>10771</b>	<b>4306</b>	<b>4823</b>
miński	0	13530	<b>5538</b>	<b>10486</b>	<b>10664</b>	<b>9747</b>	<b>10109</b>	<b>31971</b>	<b>8597</b>
nowodworski	0	10683	<b>5538</b>	<b>6481</b>	<b>5620</b>	<b>5096</b>	<b>6313</b>	<b>4695</b>	<b>5558</b>
otwocki	0	13050	<b>5538</b>	<b>11243</b>	<b>8726</b>	<b>9234</b>	<b>9058</b>	<b>8123</b>	<b>6248</b>
wołomiński	0	20800	<b>5538</b>	<b>5235</b>	<b>16019</b>	<b>23780</b>	<b>21839</b>	<b>12818</b>	<b>12016</b>
grodziski	0	11595	<b>5538</b>	<b>7448</b>	<b>6225</b>	<b>8710</b>	<b>8253</b>	<b>3639</b>	<b>4887</b>
grójecki	0	21454	<b>5538</b>	<b>7314</b>	<b>7099</b>	<b>7376</b>	<b>6321</b>	<b>4537</b>	<b>6112</b>

Tab. Z.2.1. Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych (opracowanie własne) c.d.

Nazwa powiatu	Typ	L <sub>sc</sub>	Średnia	HD	Regresja		PMBM	PSM	MM
					LM	REGT			
piaseczyński	0	12954	5538	11784	11966	16462	15517	7936	9580
pruskowski	0	16842	5538	10486	11196	20486	15463	3892	6206
sochaczewski	0	10323	5538	6593	6127	12586	10455	3335	7958
warszawski zachodni	0	19112	5538	10956	7795	13646	10536	2951	7618
żyrardowski	0	7313	5538	4376	5514	6977	6624	3207	5472
bocheński	0	6067	5538	5396	7479	4457	6794	12332	7676
krakowski	0	27430	5538	5242	18854	22595	21126	25796	12995
miechowski	0	5709	5538	3118	3624	4503	3936	2883	3864
myślenicki	0	10326	5538	9520	8827	7866	7820	23940	8499
proszowicki	0	7351	5538	4332	3168	2565	3442	3453	3299
wielicki	0	9749	5538	6336	8306	10796	9977	5246	7429
m. Kraków	1	62133	17606	2378	65286	74054	69696	13490	39443
gorlicki	0	4930	5538	5396	7864	3625	5095	14644	10476
limanowski	0	10363	5538	11892	9172	5278	7749	13077	10145
nowosądecki	0	10910	5538	15995	15027	8732	11336	25607	11145
nowotarski	0	10008	5538	6481	13579	10830	12183	24470	12473
tatrzański	0	3921	5538	4137	4870	9622	7796	3011	3176
m. Nowy Sącz	1	7135	17606	6489	7252	5808	6544	5725	6153
chrzanowski	0	7240	5538	11243	9205	9679	8313	7803	8992
olkuski	0	8841	5538	6336	8258	10682	10808	5443	5867
oświęcimski	0	7475	5538	10486	11166	9941	10963	22003	11921
suski	0	5464	5538	5242	6049	4549	4711	8591	6235
wadowicki	0	10551	5538	10486	11401	8276	9353	30671	12679
brzeski	0	5553	5538	5242	6653	3933	6026	5190	7389
dąbrowski	0	3492	5538	2378	4284	1927	4249	5727	4665
tarnowski	0	9928	5538	6481	14276	8653	10876	10929	12923
m. Tarnów	1	7521	17606	5396	9769	6614	6922	6791	5497
bielski (śląskie)	0	11042	5538	10486	11391	12540	10937	11885	11278
cieszyński	0	10419	5538	14327	12714	12380	12142	13664	10128
żywiecki	0	10200	5538	10486	11026	8573	8446	23099	11097
m. Bielsko-Biała	1	16424	17606	11784	15007	14045	14139	34152	13033
lubliniecki	0	4873	5538	4643	5566	4024	5117	5549	6560
tarnogórski	0	8262	5538	11243	9965	10830	10920	6520	8663
m. Bytom	1	6898	17606	14327	15145	9686	12758	18319	11730
m. Piekary Śląskie	1	2937	17606	3453	4966	2947	3574	5248	3233
częstochoowski	0	10759	5538	9156	9765	6680	8646	38716	11839
kłobucki	0	8272	5538	3778	6179	4674	5177	6880	5575
myszkowski	0	7678	5538	4467	5189	5540	6178	4038	5790
m. Częstochowa	1	18542	17606	5235	20279	13968	16649	26788	9937
gliwicki	0	5510	5538	7042	8296	6190	8113	13261	7378
m. Gliwice	1	13052	17606	6481	16071	12614	14090	21660	13384
m. Zabrze	1	9277	17606	6481	15509	11405	14250	24025	9757

Tab. Z.2.1. Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych (opracowanie własne) c.d.

Nazwa powiatu	Typ	L <sub>sc</sub>	Średnia	HD	Regresja		PMBM	PSM	MM
					LM	REGT			
m. Chorzów	1	4914	<b>17606</b>	<b>6336</b>	<b>9592</b>	<b>8688</b>	<b>10649</b>	<b>4848</b>	<b>6419</b>
m. Katowice	1	32523	<b>17606</b>	<b>4332</b>	<b>26600</b>	<b>23165</b>	<b>24478</b>	<b>19915</b>	<b>16544</b>
m. Mysłowice	1	4229	<b>17606</b>	<b>4376</b>	<b>6487</b>	<b>5280</b>	<b>5736</b>	<b>5404</b>	<b>4899</b>
m. Ruda Śląska	1	5788	<b>17606</b>	<b>10486</b>	<b>12300</b>	<b>7795</b>	<b>10154</b>	<b>32608</b>	<b>9372</b>
m. Siemianowice Śląsk	1	3012	<b>17606</b>	<b>6481</b>	<b>6019</b>	<b>4406</b>	<b>4439</b>	<b>3146</b>	<b>4841</b>
m. Świętochłowice	1	2312	<b>17606</b>	<b>3722</b>	<b>4542</b>	<b>3091</b>	<b>3617</b>	<b>3096</b>	<b>3327</b>
raciborski	0	5122	<b>5538</b>	<b>6611</b>	<b>7926</b>	<b>4742</b>	<b>6832</b>	<b>26508</b>	<b>9466</b>
rybnicki	0	3769	<b>5538</b>	<b>6661</b>	<b>5498</b>	<b>4685</b>	<b>5624</b>	<b>5574</b>	<b>5195</b>
wodzisławski	0	7044	<b>5538</b>	<b>10486</b>	<b>11406</b>	<b>8527</b>	<b>9397</b>	<b>19065</b>	<b>10985</b>
m. Jastrzębie-Zdrój	1	3563	<b>17606</b>	<b>5242</b>	<b>7921</b>	<b>3370</b>	<b>6500</b>	<b>6971</b>	<b>5123</b>
m. Rybnik	1	8110	<b>17606</b>	<b>10486</b>	<b>12121</b>	<b>7680</b>	<b>8646</b>	<b>25934</b>	<b>9364</b>
m. Żory	1	3221	<b>17606</b>	<b>4643</b>	<b>5341</b>	<b>3149</b>	<b>2809</b>	<b>5162</b>	<b>4161</b>
będziński	0	10366	<b>5538</b>	<b>10486</b>	<b>10954</b>	<b>14729</b>	<b>14435</b>	<b>5781</b>	<b>10542</b>
zawierciański	0	6959	<b>5538</b>	<b>9520</b>	<b>8838</b>	<b>7068</b>	<b>6686</b>	<b>24914</b>	<b>8056</b>
m. Dąbrowa Górnicza	1	8236	<b>17606</b>	<b>11243</b>	<b>10791</b>	<b>8554</b>	<b>9204</b>	<b>9614</b>	<b>7435</b>
m. Jaworzno	1	4665	<b>17606</b>	<b>6593</b>	<b>8134</b>	<b>5856</b>	<b>7640</b>	<b>4496</b>	<b>6398</b>
m. Sosnowiec	1	11095	<b>17606</b>	<b>15995</b>	<b>18513</b>	<b>18576</b>	<b>18735</b>	<b>33873</b>	<b>13867</b>
mikołowski	0	5934	<b>5538</b>	<b>4496</b>	<b>6816</b>	<b>7855</b>	<b>8175</b>	<b>5844</b>	<b>6101</b>
pszczyński	0	7028	<b>5538</b>	<b>5396</b>	<b>7793</b>	<b>7296</b>	<b>7745</b>	<b>6639</b>	<b>5734</b>
bieruńsko-łędziński	0	3041	<b>5538</b>	<b>4147</b>	<b>4180</b>	<b>3340</b>	<b>3167</b>	<b>3537</b>	<b>3563</b>
m. Tychy	1	10396	<b>17606</b>	<b>9520</b>	<b>11122</b>	<b>9677</b>	<b>9096</b>	<b>6929</b>	<b>9067</b>
bialski	0	5664	<b>5538</b>	<b>7042</b>	<b>8212</b>	<b>6361</b>	<b>7482</b>	<b>11088</b>	<b>8082</b>
parczewski	0	2001	<b>5538</b>	<b>2105</b>	<b>2615</b>	<b>1060</b>	<b>-26</b>	<b>3079</b>	<b>2317</b>
radzyński	0	3569	<b>5538</b>	<b>4137</b>	<b>4410</b>	<b>3306</b>	<b>2926</b>	<b>4020</b>	<b>4779</b>
włodawski	0	2575	<b>5538</b>	<b>3383</b>	<b>2875</b>	<b>1322</b>	<b>2680</b>	<b>4381</b>	<b>3013</b>
m. Biała Podlaska	0	3822	<b>5538</b>	<b>4552</b>	<b>4176</b>	<b>5472</b>	<b>5921</b>	<b>3440</b>	<b>4517</b>
biłgorajski	0	6055	<b>5538</b>	<b>6611</b>	<b>7468</b>	<b>4913</b>	<b>6304</b>	<b>8045</b>	<b>8082</b>
chełmski	0	3588	<b>5538</b>	<b>5569</b>	<b>5774</b>	<b>2542</b>	<b>5641</b>	<b>5492</b>	<b>5178</b>
hrubieszowski	0	2696	<b>5538</b>	<b>3914</b>	<b>4911</b>	<b>3044</b>	<b>3748</b>	<b>5769</b>	<b>4669</b>
krasnostawski	0	3128	<b>5538</b>	<b>4163</b>	<b>4853</b>	<b>2816</b>	<b>4175</b>	<b>5152</b>	<b>4163</b>
tomaszowski	0	4796	<b>5538</b>	<b>5242</b>	<b>6338</b>	<b>3899</b>	<b>3953</b>	<b>9178</b>	<b>5734</b>
zamojski	0	5074	<b>5538</b>	<b>6611</b>	<b>7897</b>	<b>5096</b>	<b>6963</b>	<b>19248</b>	<b>7723</b>
m. Chełm	1	3933	<b>17606</b>	<b>5931</b>	<b>5691</b>	<b>4397</b>	<b>5732</b>	<b>4725</b>	<b>4519</b>
m. Zamość	1	4530	<b>17606</b>	<b>3398</b>	<b>5657</b>	<b>4570</b>	<b>6531</b>	<b>3676</b>	<b>3845</b>
lubartowski	0	5136	<b>5538</b>	<b>5569</b>	<b>6514</b>	<b>3021</b>	<b>5104</b>	<b>5836</b>	<b>7204</b>
lubelski	0	12345	<b>5538</b>	<b>10486</b>	<b>10617</b>	<b>9451</b>	<b>11379</b>	<b>21304</b>	<b>10141</b>
łęczyński	0	3349	<b>5538</b>	<b>4329</b>	<b>4152</b>	<b>1904</b>	<b>2753</b>	<b>5474</b>	<b>4609</b>
świdnicki	0	4677	<b>5538</b>	<b>4643</b>	<b>5279</b>	<b>3625</b>	<b>4256</b>	<b>4979</b>	<b>5717</b>
m. Lublin	1	28144	<b>17606</b>	<b>8277</b>	<b>29977</b>	<b>27629</b>	<b>27177</b>	<b>15334</b>	<b>23598</b>
janowski	0	2905	<b>5538</b>	<b>3047</b>	<b>3435</b>	<b>1938</b>	<b>3021</b>	<b>5590</b>	<b>2844</b>
kraśnicki	0	6867	<b>5538</b>	<b>5242</b>	<b>7170</b>	<b>4070</b>	<b>4687</b>	<b>22342</b>	<b>8396</b>
łukowski	0	7733	<b>5538</b>	<b>9900</b>	<b>7912</b>	<b>8356</b>	<b>8553</b>	<b>6318</b>	<b>6785</b>

Tab. Z.2.1. Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych (opracowanie własne) c.d.

Nazwa powiatu	Typ	L <sub>sc</sub>	Średnia	HD	Regresja		PMBM	PSM	MM
					LM	REGT			
opolski	0	6533	<b>5538</b>	<b>7571</b>	<b>4507</b>	<b>3523</b>	<b>4407</b>	<b>6133</b>	<b>3713</b>
puławski	0	7973	<b>5538</b>	<b>7042</b>	<b>8423</b>	<b>6737</b>	<b>7691</b>	<b>15420</b>	<b>7880</b>
rycki	0	3717	<b>5538</b>	<b>4329</b>	<b>4236</b>	<b>2143</b>	<b>3665</b>	<b>4962</b>	<b>4286</b>
bieszczadzki	0	2209	<b>5538</b>	<b>1082</b>	<b>1613</b>	<b>1334</b>	<b>2807</b>	<b>3640</b>	<b>2968</b>
brzozowski	0	2800	<b>5538</b>	<b>4137</b>	<b>4788</b>	<b>3101</b>	<b>4861</b>	<b>5517</b>	<b>4650</b>
jasielski	0	9452	<b>5538</b>	<b>8277</b>	<b>8337</b>	<b>5620</b>	<b>7198</b>	<b>31079</b>	<b>9466</b>
krośnieński	0	4955	<b>5538</b>	<b>7042</b>	<b>8055</b>	<b>5700</b>	<b>7933</b>	<b>39884</b>	<b>8396</b>
sanocki	0	5779	<b>5538</b>	<b>3778</b>	<b>6925</b>	<b>5096</b>	<b>5703</b>	<b>7570</b>	<b>5279</b>
leski	0	2452	<b>5538</b>	<b>2557</b>	<b>1940</b>	<b>1425</b>	<b>2268</b>	<b>3623</b>	<b>2248</b>
m. Krosno	1	3829	<b>17606</b>	<b>4231</b>	<b>4072</b>	<b>2832</b>	<b>3567</b>	<b>3808</b>	<b>3322</b>
jarosławski	0	7537	<b>5538</b>	<b>8292</b>	<b>8833</b>	<b>6224</b>	<b>8129</b>	<b>42549</b>	<b>9992</b>
lubaczowski	0	2699	<b>5538</b>	<b>2378</b>	<b>4150</b>	<b>1607</b>	<b>3054</b>	<b>5386</b>	<b>4402</b>
przemyski	0	3287	<b>5538</b>	<b>4163</b>	<b>5312</b>	<b>2816</b>	<b>3457</b>	<b>7353</b>	<b>6680</b>
przeworski	0	3765	<b>5538</b>	<b>4163</b>	<b>5714</b>	<b>3158</b>	<b>3956</b>	<b>6042</b>	<b>6327</b>
m. Przemyśl	1	3750	<b>17606</b>	<b>5156</b>	<b>5567</b>	<b>3590</b>	<b>3774</b>	<b>4172</b>	<b>3659</b>
kolbuszowski	0	4403	<b>5538</b>	<b>4163</b>	<b>4525</b>	<b>3021</b>	<b>3931</b>	<b>4692</b>	<b>4324</b>
łańcucki	0	4596	<b>5538</b>	<b>6481</b>	<b>5733</b>	<b>5164</b>	<b>5160</b>	<b>5422</b>	<b>5280</b>
ropczycko-sędziszowski	0	3748	<b>5538</b>	<b>4376</b>	<b>5268</b>	<b>5939</b>	<b>5272</b>	<b>4080</b>	<b>5407</b>
rzeszowski	0	11618	<b>5538</b>	<b>14327</b>	<b>11798</b>	<b>9838</b>	<b>11707</b>	<b>21753</b>	<b>11425</b>
strzyżowski	0	2982	<b>5538</b>	<b>4137</b>	<b>4487</b>	<b>2417</b>	<b>2853</b>	<b>5293</b>	<b>5395</b>
m. Rzeszów	1	17697	<b>17606</b>	<b>6481</b>	<b>15483</b>	<b>12835</b>	<b>12958</b>	<b>19198</b>	<b>12563</b>
dębicki	0	9169	<b>5538</b>	<b>11243</b>	<b>9726</b>	<b>9394</b>	<b>10174</b>	<b>12474</b>	<b>9865</b>
leżajski	0	3121	<b>5538</b>	<b>4144</b>	<b>5057</b>	<b>3044</b>	<b>5660</b>	<b>5816</b>	<b>6277</b>
mielecki	0	8135	<b>5538</b>	<b>8292</b>	<b>9805</b>	<b>6703</b>	<b>7007</b>	<b>30692</b>	<b>10231</b>
niżański	0	3432	<b>5538</b>	<b>4663</b>	<b>4876</b>	<b>2234</b>	<b>4064</b>	<b>5142</b>	<b>4147</b>
stalowowlowski	0	5914	<b>5538</b>	<b>8277</b>	<b>7884</b>	<b>5369</b>	<b>6490</b>	<b>12500</b>	<b>8423</b>
tarnobrzeski	0	3039	<b>5538</b>	<b>7605</b>	<b>3908</b>	<b>3272</b>	<b>6654</b>	<b>6828</b>	<b>4601</b>
m. Tarnobrzeg	1	2970	<b>17606</b>	<b>2471</b>	<b>4183</b>	<b>2054</b>	<b>3332</b>	<b>3815</b>	<b>2704</b>
białostocki	0	10486	10486	10486	10486	10486	10486	10486	10486
sokólski	0	3914	3914	3914	3914	3914	3914	3914	3914
m. Białystok	1	19749	19749	19749	19749	19749	19749	19749	19749
bielski (podlaskie)	0	3864	3864	3864	3864	3864	3864	3864	3864
hajnowski	0	2325	2325	2325	2325	2325	2325	2325	2325
kolneński	0	1737	1737	1737	1737	1737	1737	1737	1737
łomżyński	0	3299	3299	3299	3299	3299	3299	3299	3299
siemiatycki	0	2992	2992	2992	2992	2992	2992	2992	2992
wysokomazowiecki	0	4095	4095	4095	4095	4095	4095	4095	4095
zambrowski	0	2820	2820	2820	2820	2820	2820	2820	2820
m. Łomża	1	4467	4467	4467	4467	4467	4467	4467	4467
augustowski	0	3264	3264	3264	3264	3264	3264	3264	3264
grajewski	0	2538	2538	2538	2538	2538	2538	2538	2538
moniecki	0	2211	2211	2211	2211	2211	2211	2211	2211

Tab. Z.2.1. Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych (opracowanie własne) c.d.

Nazwa powiatu	Typ	L <sub>sc</sub>	Średnia	HD	Regresja		PMBM	PSM	MM
					LM	REGT			
sejneński	0	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1082	1082
suwalski	0	2031	2031	2031	2031	2031	2031	2031	2031
m. Suwałki	1	4376	4376	4376	4376	4376	4376	4376	4376
kielecki	0	17151	<b>5538</b>	<b>15995</b>	<b>14851</b>	<b>12962</b>	<b>13622</b>	<b>19026</b>	<b>12585</b>
konecki	0	5947	<b>5538</b>	<b>5569</b>	<b>6067</b>	<b>3158</b>	<b>4813</b>	<b>6668</b>	<b>5274</b>
ostrowiecki	0	5376	<b>5538</b>	<b>7729</b>	<b>8340</b>	<b>9747</b>	<b>8954</b>	<b>8369</b>	<b>9604</b>
skarżyski	0	6087	<b>5538</b>	<b>5227</b>	<b>5694</b>	<b>5096</b>	<b>5424</b>	<b>6138</b>	<b>5160</b>
starachowicki	0	7702	<b>5538</b>	<b>3778</b>	<b>6784</b>	<b>5278</b>	<b>7752</b>	<b>8361</b>	<b>5605</b>
m. Kielce	1	18234	<b>17606</b>	<b>15995</b>	<b>17356</b>	<b>16675</b>	<b>16700</b>	<b>18372</b>	<b>12814</b>
buski	0	8828	<b>5538</b>	<b>4354</b>	<b>5349</b>	<b>4070</b>	<b>5843</b>	<b>5044</b>	<b>4747</b>
jędrzejowski	0	6081	<b>5538</b>	<b>5242</b>	<b>6376</b>	<b>4161</b>	<b>5746</b>	<b>5912</b>	<b>5815</b>
kazimierski	0	5415	<b>5538</b>	<b>2557</b>	<b>2559</b>	<b>1243</b>	<b>1738</b>	<b>2798</b>	<b>2354</b>
opatowski	0	4160	<b>5538</b>	<b>4188</b>	<b>3990</b>	<b>3010</b>	<b>4583</b>	<b>3679</b>	<b>3368</b>
pińczowski	0	4661	<b>5538</b>	<b>4329</b>	<b>2961</b>	<b>1710</b>	<b>2124</b>	<b>3640</b>	<b>3229</b>
sandomierski	0	13094	<b>5538</b>	<b>6845</b>	<b>5824</b>	<b>5449</b>	<b>6131</b>	<b>5620</b>	<b>5668</b>
staszowski	0	6285	<b>5538</b>	<b>3914</b>	<b>5337</b>	<b>3203</b>	<b>4521</b>	<b>6179</b>	<b>5404</b>
włoszczowski	0	2771	<b>5538</b>	<b>4332</b>	<b>3363</b>	<b>2747</b>	<b>4279</b>	<b>3546</b>	<b>4497</b>
gorzowski	0	5765	5765	5765	5765	5765	5765	5765	5765
międzyrzecki	0	4552	4552	4552	4552	4552	4552	4552	4552
ślubicki	0	3024	3024	3024	3024	3024	3024	3024	3024
strzelecko-drezdenecki	0	4188	4188	4188	4188	4188	4188	4188	4188
sulęciński	0	2197	2197	2197	2197	2197	2197	2197	2197
m. Gorzów Wielkopolski	1	9191	9191	9191	9191	9191	9191	9191	9191
krośnieński	0	3722	3722	3722	3722	3722	3722	3722	3722
nowosolski	0	5242	5242	5242	5242	5242	5242	5242	5242
świebodziński	0	3267	3267	3267	3267	3267	3267	3267	3267
zielonogórski	0	7314	7314	7314	7314	7314	7314	7314	7314
żagański	0	4790	4790	4790	4790	4790	4790	4790	4790
żarski	0	6845	6845	6845	6845	6845	6845	6845	6845
wschowski	0	2763	2763	2763	2763	2763	2763	2763	2763
m. Zielona Góra	1	10956	10956	10956	10956	10956	10956	10956	10956
jarociński	0	4163	4163	4163	4163	4163	4163	4163	4163
kaliski	0	9309	9309	9309	9309	9309	9309	9309	9309
kepkiński	0	5366	5366	5366	5366	5366	5366	5366	5366
krotoszyński	0	5433	5433	5433	5433	5433	5433	5433	5433
ostrowski (wielkopolskie)	0	12126	12126	12126	12126	12126	12126	12126	12126
ostrzeszowski	0	4332	4332	4332	4332	4332	4332	4332	4332
pleszewski	0	5711	5711	5711	5711	5711	5711	5711	5711
m. Kalisz	1	9900	9900	9900	9900	9900	9900	9900	9900
gnieźnieński	0	9816	9816	9816	9816	9816	9816	9816	9816
kolski	0	5569	5569	5569	5569	5569	5569	5569	5569
koniński	0	8292	8292	8292	8292	8292	8292	8292	8292

Tab. Z.2.1. Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych (opracowanie własne) c.d.

Nazwa powiatu	Typ	L <sub>sc</sub>	Średnia	HD	Regresja		PMBM	PSM	MM
					LM	REGT			
ślupecki	0	4147	4147	4147	4147	4147	4147	4147	4147
turecki	0	5603	5603	5603	5603	5603	5603	5603	5603
wrzesiński	0	5211	5211	5211	5211	5211	5211	5211	5211
m. Konin	1	5227	5227	5227	5227	5227	5227	5227	5227
gostyński	0	5561	5561	5561	5561	5561	5561	5561	5561
grodziski	0	4225	4225	4225	4225	4225	4225	4225	4225
kościański	0	6661	6661	6661	6661	6661	6661	6661	6661
leszczyński	0	4836	4836	4836	4836	4836	4836	4836	4836
międzychodzki	0	3426	3426	3426	3426	3426	3426	3426	3426
nowotomyski	0	6481	6481	6481	6481	6481	6481	6481	6481
rawicki	0	4663	4663	4663	4663	4663	4663	4663	4663
wolsztyński	0	4492	4492	4492	4492	4492	4492	4492	4492
m. Leszno	1	5595	5595	5595	5595	5595	5595	5595	5595
chodzieski	0	4629	4629	4629	4629	4629	4629	4629	4629
czarnkowsko-trzeciecki	0	6384	6384	6384	6384	6384	6384	6384	6384
pilski	0	11243	11243	11243	11243	11243	11243	11243	11243
wągrowiecki	0	4920	4920	4920	4920	4920	4920	4920	4920
złotowski	0	4137	4137	4137	4137	4137	4137	4137	4137
obornicki	0	5096	5096	5096	5096	5096	5096	5096	5096
poznański	0	34584	34584	34584	34584	34584	34584	34584	34584
szamotulski	0	6489	6489	6489	6489	6489	6489	6489	6489
średzki	0	5091	5091	5091	5091	5091	5091	5091	5091
śremski	0	4354	4354	4354	4354	4354	4354	4354	4354
m. Poznań	1	62211	62211	62211	62211	62211	62211	62211	62211
białogardzki	0	3101	<b>5538</b>	<b>5366</b>	<b>3550</b>	<b>2394</b>	<b>3092</b>	<b>3754</b>	<b>2924</b>
drawski	0	4011	<b>5538</b>	<b>3722</b>	<b>4235</b>	<b>3773</b>	<b>4290</b>	<b>3600</b>	<b>3265</b>
kołobrzegi	0	5599	<b>5538</b>	<b>4376</b>	<b>5726</b>	<b>8561</b>	<b>8639</b>	<b>3132</b>	<b>4879</b>
koszaliński	0	4962	<b>5538</b>	<b>6481</b>	<b>4732</b>	<b>4720</b>	<b>5877</b>	<b>3928</b>	<b>5428</b>
śląwieński	0	3480	<b>5538</b>	<b>3864</b>	<b>4183</b>	<b>3295</b>	<b>4379</b>	<b>5041</b>	<b>4009</b>
szczecinecki	0	3913	<b>5538</b>	<b>4376</b>	<b>5728</b>	<b>5825</b>	<b>5111</b>	<b>5508</b>	<b>5084</b>
świdwiński	0	3139	<b>5538</b>	<b>2992</b>	<b>3541</b>	<b>1915</b>	<b>2189</b>	<b>3068</b>	<b>3145</b>
wałęcki	0	3896	<b>5538</b>	<b>3600</b>	<b>3959</b>	<b>3990</b>	<b>4986</b>	<b>2689</b>	<b>3866</b>
m. Koszalin	1	8876	<b>17606</b>	<b>9900</b>	<b>9394</b>	<b>11578</b>	<b>11564</b>	<b>3685</b>	<b>5011</b>
choszczeński	0	2990	<b>5538</b>	<b>4332</b>	<b>3625</b>	<b>2348</b>	<b>3355</b>	<b>4504</b>	<b>2740</b>
gryficki	0	4351	<b>5538</b>	<b>5156</b>	<b>4452</b>	<b>3545</b>	<b>4117</b>	<b>3728</b>	<b>4231</b>
myśliborski	0	4791	<b>5538</b>	<b>6894</b>	<b>4896</b>	<b>4982</b>	<b>5645</b>	<b>4505</b>	<b>6292</b>
pyrzycki	0	2500	<b>5538</b>	<b>5366</b>	<b>2936</b>	<b>2793</b>	<b>4024</b>	<b>3271</b>	<b>3111</b>
stargardzki	0	7733	<b>5538</b>	<b>11243</b>	<b>8705</b>	<b>9713</b>	<b>10966</b>	<b>6488</b>	<b>8131</b>
łobeski	0	2358	<b>5538</b>	<b>3383</b>	<b>2765</b>	<b>1995</b>	<b>4069</b>	<b>3167</b>	<b>2887</b>
m. Szczecin	1	28937	<b>17606</b>	<b>3145</b>	<b>35225</b>	<b>48634</b>	<b>43727</b>	<b>6794</b>	<b>25580</b>
goleniowski	0	7048	<b>5538</b>	<b>6593</b>	<b>5900</b>	<b>7182</b>	<b>7321</b>	<b>4077</b>	<b>5877</b>
gryfiński	0	5723	<b>5538</b>	<b>4309</b>	<b>6068</b>	<b>6190</b>	<b>7008</b>	<b>6067</b>	<b>6410</b>



Tab. Z.2.1. Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych (opracowanie własne) c.d.

Nazwa powiatu	Typ	L <sub>sc</sub>	Średnia	HD	Regresja		PMBM	PSM	MM
					LM	REGT			
kamieński	0	3682	<b>5538</b>	<b>3267</b>	<b>3484</b>	<b>3614</b>	<b>3100</b>	<b>2533</b>	<b>3251</b>
policki	0	4832	<b>5538</b>	<b>4376</b>	<b>5207</b>	<b>7353</b>	<b>6941</b>	<b>3145</b>	<b>4407</b>
m. Świnoujście	1	1999	<b>17606</b>	<b>3024</b>	<b>3570</b>	<b>5750</b>	<b>5716</b>	<b>2779</b>	<b>4326</b>
bolesławiecki	0	3778	3778	3778	3778	3778	3778	3778	3778
jaworski	0	2866	2866	2866	2866	2866	2866	2866	2866
jeleniogórski	0	3398	3398	3398	3398	3398	3398	3398	3398
kamiennogórski	0	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
lubański	0	3337	3337	3337	3337	3337	3337	3337	3337
lwówecki	0	2378	2378	2378	2378	2378	2378	2378	2378
zgorzelecki	0	4309	4309	4309	4309	4309	4309	4309	4309
złotoryjski	0	2363	2363	2363	2363	2363	2363	2363	2363
m. Jelenia Góra	1	6301	6301	6301	6301	6301	6301	6301	6301
gólgowski	0	4496	4496	4496	4496	4496	4496	4496	4496
górowski	0	2557	2557	2557	2557	2557	2557	2557	2557
legnicki	0	3118	3118	3118	3118	3118	3118	3118	3118
lubiński	0	5396	5396	5396	5396	5396	5396	5396	5396
polkowicki	0	3145	3145	3145	3145	3145	3145	3145	3145
m. Legnica	0	6336	6336	6336	6336	6336	6336	6336	6336
dzierzoniowski	0	7042	7042	7042	7042	7042	7042	7042	7042
kłodzki	0	10487	10487	10487	10487	10487	10487	10487	10487
świdnicki	0	11784	11784	11784	11784	11784	11784	11784	11784
wałbrzyski	0	12448	12448	12448	12448	12448	12448	12448	12448
ząbkowicki	0	4815	4815	4815	4815	4815	4815	4815	4815
milicki	0	3383	3383	3383	3383	3383	3383	3383	3383
oleśnicki	0	8782	8782	8782	8782	8782	8782	8782	8782
oławski	0	5235	5235	5235	5235	5235	5235	5235	5235
strzeliński	0	3327	3327	3327	3327	3327	3327	3327	3327
średzki	0	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
trzebnicki	0	7448	7448	7448	7448	7448	7448	7448	7448
wołowski	0	2531	2531	2531	2531	2531	2531	2531	2531
wrocławski	0	10925	10925	10925	10925	10925	10925	10925	10925
m. Wrocław	1	60923	60923	60923	60923	60923	60923	60923	60923
brzeski	0	6421	<b>5538</b>	<b>3778</b>	<b>6657</b>	<b>5369</b>	<b>6595</b>	<b>6076</b>	<b>4700</b>
kluczborski	0	3788	<b>5538</b>	<b>4354</b>	<b>4885</b>	<b>3523</b>	<b>4077</b>	<b>5372</b>	<b>4556</b>
namysłowski	0	2644	<b>5538</b>	<b>4095</b>	<b>3107</b>	<b>2519</b>	<b>3353</b>	<b>4640</b>	<b>2672</b>
nyski	0	9667	<b>5538</b>	<b>10486</b>	<b>10233</b>	<b>6737</b>	<b>7820</b>	<b>22550</b>	<b>11706</b>
prudnicki	0	2863	<b>5538</b>	<b>3047</b>	<b>4146</b>	<b>2018</b>	<b>2368</b>	<b>5204</b>	<b>4840</b>
głubczycki	0	3793	<b>5538</b>	<b>3299</b>	<b>3472</b>	<b>2143</b>	<b>2337</b>	<b>2528</b>	<b>2875</b>
kędzierzyńsko-kozielski	0	5054	<b>5538</b>	<b>6364</b>	<b>7081</b>	<b>5962</b>	<b>7307</b>	<b>9309</b>	<b>5540</b>
krapkowicki	0	3372	<b>5538</b>	<b>4163</b>	<b>4732</b>	<b>2816</b>	<b>3920</b>	<b>4831</b>	<b>4869</b>
oleski	0	4331	<b>5538</b>	<b>3145</b>	<b>4759</b>	<b>2451</b>	<b>3718</b>	<b>5732</b>	<b>4462</b>
opolski	0	9488	<b>5538</b>	<b>9520</b>	<b>9590</b>	<b>7068</b>	<b>7322</b>	<b>20278</b>	<b>8340</b>

Tab. Z.2.1. Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych (opracowanie własne) c.d.

Nazwa powiatu	Typ	L <sub>sc</sub>	Średnia	HD	Regresja		PMBM	PSM	MM
					LM	REGT			
strzelecki	0	3354	<b>5538</b>	<b>4163</b>	<b>5527</b>	<b>3272</b>	<b>4330</b>	<b>6043</b>	<b>6577</b>
m. Opole	1	11701	<b>17606</b>	<b>8292</b>	<b>10530</b>	<b>10742</b>	<b>10705</b>	<b>5155</b>	<b>7588</b>
bydgoski	0	9161	9161	9161	9161	9161	9161	9161	9161
toruński	0	6593	6593	6593	6593	6593	6593	6593	6593
m. Bydgoszcz	1	29251	29251	29251	29251	29251	29251	29251	29251
m. Toruń	1	15995	15995	15995	15995	15995	15995	15995	15995
brodnicki	0	5255	5255	5255	5255	5255	5255	5255	5255
chełmiński	0	2785	2785	2785	2785	2785	2785	2785	2785
golubsko-dobrzyński	0	3107	3107	3107	3107	3107	3107	3107	3107
grudziądzki	0	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545	2545
sępoleński	0	2461	2461	2461	2461	2461	2461	2461	2461
świecki	0	578	6364	6364	6364	6364	6364	6364	6364
tucholski	0	169	3047	3047	3047	3047	3047	3047	3047
wąbrzeski	0	122	2105	2105	2105	2105	2105	2105	2105
m. Grudziądz	1	512	5584	5584	5584	5584	5584	5584	5584
aleksandrowski	0	322	3432	3432	3432	3432	3432	3432	3432
inowrocławski	0	1392	10910	10910	10910	10910	10910	10910	10910
lipnowski	0	272	4144	4144	4144	4144	4144	4144	4144
mogileński	0	228	3306	3306	3306	3306	3306	3306	3306
nakielski	0	339	5155	5155	5155	5155	5155	5155	5155
radziejowski	0	184	2548	2548	2548	2548	2548	2548	2548
rypiński	0	204	2471	2471	2471	2471	2471	2471	2471
włocławski	0	341	6059	6059	6059	6059	6059	6059	6059
żniński	0	376	4643	4643	4643	4643	4643	4643	4643
m. Włocławek	1	819	7729	7729	7729	7729	7729	7729	7729
gdański	0	1007	<b>5538</b>	<b>5396</b>	<b>7266</b>	<b>11480</b>	<b>10079</b>	<b>4014</b>	<b>6009</b>
kartuski	0	622	<b>5538</b>	<b>9520</b>	<b>8738</b>	<b>7091</b>	<b>8757</b>	<b>18225</b>	<b>8377</b>
nowodworski	0	168	<b>5538</b>	<b>2105</b>	<b>2626</b>	<b>1915</b>	<b>2929</b>	<b>2548</b>	<b>3022</b>
pucki	0	557	<b>5538</b>	<b>4309</b>	<b>5768</b>	<b>6350</b>	<b>5540</b>	<b>5815</b>	<b>6269</b>
wejherowski	0	1195	<b>5538</b>	<b>15995</b>	<b>14517</b>	<b>13623</b>	<b>14969</b>	<b>30503</b>	<b>11403</b>
bytowski	0	340	<b>5538</b>	<b>4354</b>	<b>5633</b>	<b>3876</b>	<b>3889</b>	<b>7485</b>	<b>5133</b>
chojnicki	0	450	<b>5538</b>	<b>5569</b>	<b>6908</b>	<b>5130</b>	<b>6109</b>	<b>5363</b>	<b>5763</b>
człuchowski	0	281	<b>5538</b>	<b>3542</b>	<b>4139</b>	<b>3203</b>	<b>2350</b>	<b>3787</b>	<b>3570</b>
łęborski	0	394	<b>5538</b>	<b>4643</b>	<b>4767</b>	<b>4492</b>	<b>6032</b>	<b>4290</b>	<b>5925</b>
słupski	0	518	<b>5538</b>	<b>6364</b>	<b>6981</b>	<b>5905</b>	<b>4988</b>	<b>5935</b>	<b>5696</b>
m. Słupsk	1	947	<b>17606</b>	<b>5584</b>	<b>8217</b>	<b>9091</b>	<b>9258</b>	<b>4171</b>	<b>5970</b>
kościerski	0	381	<b>5538</b>	<b>7571</b>	<b>5093</b>	<b>4343</b>	<b>4466</b>	<b>4345</b>	<b>5107</b>
kwidzyński	0	776	<b>5538</b>	<b>7448</b>	<b>6029</b>	<b>8846</b>	<b>9143</b>	<b>3559</b>	<b>4417</b>
malborski	0	390	<b>5538</b>	<b>7571</b>	<b>4667</b>	<b>4446</b>	<b>4989</b>	<b>5305</b>	<b>4471</b>
starogardzki	0	694	<b>5538</b>	<b>9520</b>	<b>9131</b>	<b>7912</b>	<b>9163</b>	<b>18362</b>	<b>8877</b>
tczewski	0	687	<b>5538</b>	<b>5396</b>	<b>8335</b>	<b>7832</b>	<b>7498</b>	<b>7051</b>	<b>5903</b>
sztumski	0	163	<b>5538</b>	<b>2545</b>	<b>3077</b>	<b>1858</b>	<b>1939</b>	<b>3265</b>	<b>2801</b>

Tab. Z.2.1. Wyniki uzupełniania danych o liczbie zarejestrowanych samochodów ciężarowych (opracowanie własne) c.d.

Nazwa powiatu	Typ	L <sub>SC</sub>	Średnia	HD	Regresja		PMBM	PSM	MM
					LM	REGT			
m. Gdańsk	1	4427	<b>17606</b>	<b>2363</b>	<b>39604</b>	<b>42499</b>	<b>41752</b>	<b>15596</b>	<b>33109</b>
m. Gdynia	1	2733	<b>17606</b>	<b>4332</b>	<b>21409</b>	<b>26237</b>	<b>24414</b>	<b>6284</b>	<b>13779</b>
m. Sopot	1	439	<b>17606</b>	<b>3372</b>	<b>3318</b>	<b>4214</b>	<b>4992</b>	<b>2833</b>	<b>3262</b>
braniewski	0	93	<b>5538</b>	<b>2548</b>	<b>3116</b>	<b>1060</b>	<b>1356</b>	<b>3604</b>	<b>2777</b>
działdowski	0	193	<b>5538</b>	<b>4663</b>	<b>4805</b>	<b>2200</b>	<b>3267</b>	<b>6223</b>	<b>4667</b>
elbląski	0	193	<b>5538</b>	<b>3299</b>	<b>4206</b>	<b>2200</b>	<b>2442</b>	<b>5244</b>	<b>4024</b>
iławski	0	446	<b>5538</b>	<b>5569</b>	<b>6699</b>	<b>5084</b>	<b>7426</b>	<b>7469</b>	<b>5022</b>
nowomiejski	0	145	<b>5538</b>	<b>4329</b>	<b>3192</b>	<b>1653</b>	<b>3017</b>	<b>6125</b>	<b>3130</b>
ostródzki	0	482	<b>5538</b>	<b>10122</b>	<b>7732</b>	<b>5495</b>	<b>8476</b>	<b>6131</b>	<b>8903</b>
m. Elbląg	1	820	<b>17606</b>	<b>11243</b>	<b>10686</b>	<b>7872</b>	<b>9232</b>	<b>8184</b>	<b>6511</b>
elcki	0	493	<b>5538</b>	<b>3778</b>	<b>6396</b>	<b>5620</b>	<b>5584</b>	<b>7825</b>	<b>7014</b>
giżycki	0	257	<b>5538</b>	<b>7605</b>	<b>4159</b>	<b>2930</b>	<b>5226</b>	<b>4018</b>	<b>4436</b>
olecki	0	165	<b>5538</b>	<b>2105</b>	<b>2523</b>	<b>1881</b>	<b>3933</b>	<b>4226</b>	<b>2895</b>
piski	0	215	<b>5538</b>	<b>2363</b>	<b>4201</b>	<b>2451</b>	<b>3081</b>	<b>4926</b>	<b>3901</b>
gołdapski	0	118	<b>5538</b>	<b>2197</b>	<b>1983</b>	<b>1345</b>	<b>2483</b>	<b>2641</b>	<b>3419</b>
węgorzewski	0	64	<b>5538</b>	<b>1082</b>	<b>1709</b>	<b>730</b>	<b>104</b>	<b>3656</b>	<b>2929</b>
bartoszycki	0	238	<b>5538</b>	<b>4163</b>	<b>4395</b>	<b>2713</b>	<b>4202</b>	<b>4550</b>	<b>4080</b>
kętrzyński	0	249	<b>5538</b>	<b>4137</b>	<b>4783</b>	<b>2839</b>	<b>4821</b>	<b>4717</b>	<b>5057</b>
lidzbarski	0	164	<b>5538</b>	<b>2545</b>	<b>3102</b>	<b>1870</b>	<b>2970</b>	<b>3531</b>	<b>2255</b>
mragowski	0	288	<b>5538</b>	<b>4332</b>	<b>3697</b>	<b>3283</b>	<b>4401</b>	<b>3385</b>	<b>5819</b>
nidzicki	0	103	<b>5538</b>	<b>3383</b>	<b>2468</b>	<b>1174</b>	<b>3308</b>	<b>4237</b>	<b>2473</b>
olsztyński	0	552	<b>5538</b>	<b>9156</b>	<b>8701</b>	<b>6293</b>	<b>7050</b>	<b>12543</b>	<b>9586</b>
szczygieński	0	322	<b>5538</b>	<b>4354</b>	<b>5144</b>	<b>3671</b>	<b>3352</b>	<b>5353</b>	<b>5598</b>
m. Olsztyn	1	1504	<b>17606</b>	<b>12448</b>	<b>15086</b>	<b>14438</b>	<b>15098</b>	<b>8213</b>	<b>10581</b>

### **Załącznik 3 – Wyniki weryfikacji modeli potencjałów ruchotwórczych**

W załączniku przedstawiono wyniki porównania wartości potencjałów ruchotwórczych wynikających z pomiaru i modelu. Użyto następujących opisów kolumn.

**Szczyt** – litery oznaczają: R – szczyt poranny, P – szczyt popołudniowy.

**Pomiar** – potencjał ruchotwórczy [jazd/h] obliczony na podstawie pomiarów ruchu.

**Model** – potencjał ruchotwórczy [jazd/h] obliczony na podstawie modelu, przeliczony na godzinę szczytu poprzez przemnożenie dobowego potencjału przez 10 %.

**Z podziałem/Bez podziału** – model z podziałem na gminy miejsko-wiejskie (G2) i wiejskie (G3) oraz bez takiego podziału (wszystkie gminy)

**Błąd względny** – błąd obliczony według wzoru:

Z.3.1. 
$$B = \frac{x_p - x_m}{x_p},$$

gdzie:  $x_p$  – wartość potencjału uzyskana z pomiarów,  $x_m$  – wartość potencjału uzyskana z modelu.

Ujemna wartość błędu względnego oznacza, że model zawyża wartości potencjałów ruchotwórczych w stosunku do pomiaru, natomiast dodatnia, że zaniża.

Tab. Z.3.1. Model wskaźników generacji ruchu, lekkie samochody ciężarowe , potencjał wytwarzający

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]											Błąd względny [-]											
			Pomiar	Model																					
				LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU		
1	Miechów	R	129	224	275	359	201	306	327	193	33	88	302	-0,74	-1,13	-1,78	-0,56	-1,37	-1,53	-0,50	0,74	0,32	-1,34		
2	Gołcza	R	48	70	45	180	30	47	42	19	15	12	25	-0,46	0,06	-2,75	0,38	0,02	0,13	0,60	0,69	0,75	0,48		
3	Charsznica	R	33	86	51	206	40	50	53	25	5	14	35	-1,61	-0,55	-5,24	-0,21	-0,52	-0,61	0,24	0,85	0,58	-0,06		
4	Kozłów	R	16	54	29	145	24	27	35	12	14	2	21	-2,38	-0,81	-8,06	-0,50	-0,69	-1,19	0,25	0,13	0,88	-0,31		
5	Książ Wielki	R	47	60	39	123	29	40	38	19	35	1	36	-0,28	0,17	-1,62	0,38	0,15	0,19	0,60	0,26	0,98	0,23		
6	Słaboszów	R	16	42	21	105	17	20	21	5	1	0	11	-1,63	-0,31	-5,56	-0,06	-0,25	-0,31	0,69	0,94	1,00	0,31		
7	Raławice	R	23	28	17	70	11	18	35	6	3	2	10	-0,22	0,26	-2,04	0,52	0,22	-0,52	0,74	0,87	0,91	0,57		
8	Czernichów	R	104	148	137	140	143	137	114	36	4	14	58	-0,42	-0,32	-0,35	-0,38	-0,32	-0,10	0,65	0,96	0,87	0,44		
9		P	95	122	113	115	118	112	94	29	3	12	48	-0,28	-0,19	-0,21	-0,24	-0,18	0,01	0,69	0,97	0,87	0,49		
10	Michałowice	R	162	95	101	83	87	109	93	21	50	7	31	0,41	0,38	0,49	0,46	0,33	0,43	0,87	0,69	0,96	0,81		
11		P	112	78	83	68	71	89	77	17	41	6	26	0,30	0,26	0,39	0,37	0,21	0,31	0,85	0,63	0,95	0,77		

Tab. Z.3.2. Model wskaźników generacji ruchu, lekkie samochody ciężarowe, potencjał absorbujący

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał absorbujący [P/h]											Błąd względny [-]											
			Pomiar	Model																					
				LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU		
1	Miechów	R	138	224	275	359	201	306	327	193	33	88	302	-0,62	-0,99	-1,60	-0,46	-1,22	-1,37	-0,40	0,76	0,36	-1,19		
2	Gołcza	R	47	70	45	180	30	47	42	19	15	12	25	-0,49	0,04	-2,83	0,36	0,00	0,11	0,60	0,68	0,74	0,47		
3	Charsznica	R	32	86	51	206	40	50	53	25	5	14	35	-1,69	-0,59	-5,44	-0,25	-0,56	-0,66	0,22	0,84	0,56	-0,09		
4	Kozłów	R	14	54	29	145	24	27	35	12	14	2	21	-2,86	-1,07	-9,36	-0,71	-0,93	-1,50	0,14	0,00	0,86	-0,50		
5	Książ Wielki	R	65	60	39	123	29	40	38	19	35	1	36	0,08	0,40	-0,89	0,55	0,38	0,42	0,71	0,46	0,98	0,45		
6	Słaboszów	R	11	42	21	105	17	20	21	5	1	0	11	-2,82	-0,91	-8,55	-0,55	-0,82	-0,91	0,55	0,91	1,00	0,00		
7	Raławice	R	26	28	17	70	11	18	35	6	3	2	10	-0,08	0,35	-1,69	0,58	0,31	-0,35	0,77	0,88	0,92	0,62		
8	Czernichów	R	95	148	137	140	143	137	114	36	4	14	58	-0,56	-0,44	-0,47	-0,51	-0,44	-0,20	0,62	0,96	0,85	0,39		
9		P	103	122	113	115	118	112	94	29	3	12	48	-0,18	-0,10	-0,12	-0,15	-0,09	0,09	0,72	0,97	0,88	0,53		
10	Michałowice	R	182	95	101	83	87	109	93	21	50	7	31	0,48	0,45	0,54	0,52	0,40	0,49	0,88	0,73	0,96	0,83		
11		P	152	78	83	68	71	89	77	17	41	6	26	0,49	0,45	0,55	0,53	0,41	0,49	0,89	0,73	0,96	0,83		

Tab. Z.3.3. Model wskaźników generacji ruchu, ciężkie samochody ciężarowe, potencjał wytwarzający

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]											Błąd względny [-]										
			Pomiar	Model											LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU
				LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU											
1	Miechów	R	106	94	118	171	83	127	141	90	16	40	136	0,11	-0,11	-0,61	0,22	-0,20	-0,33	0,15	0,85	0,62	-0,28	
2	Gołcza	R	22	29	19	86	13	19	18	9	7	5	11	-0,32	0,14	-2,91	0,41	0,14	0,18	0,59	0,68	0,77	0,50	
3	Charsznica	R	18	36	22	98	16	21	23	11	2	6	16	-1,00	-0,22	-4,44	0,11	-0,17	-0,28	0,39	0,89	0,67	0,11	
4	Kozłów	R	4	23	12	69	10	11	15	6	7	1	10	-4,75	-2,00	-16,25	-1,50	-1,75	-2,75	-0,50	-0,75	0,75	-1,50	
5	Książ Wielki	R	68	25	17	59	12	17	16	9	17	1	16	0,63	0,75	0,13	0,82	0,75	0,76	0,87	0,75	0,99	0,76	
6	Słaboszów	R	6	18	9	50	7	8	9	2	1	0	5	-2,00	-0,50	-7,33	-0,17	-0,33	-0,50	0,67	0,83	1,00	0,17	
7	Raławice	R	12	12	7	33	5	8	15	3	1	1	4	0,00	0,42	-1,75	0,58	0,33	-0,25	0,75	0,92	0,92	0,67	
8	Czernichów	R	57	62	59	67	59	57	49	17	2	7	26	-0,09	-0,04	-0,18	-0,04	0,00	0,14	0,70	0,96	0,88	0,54	
9		P	35	51	48	55	49	47	40	14	1	5	22	-0,46	-0,37	-0,57	-0,40	-0,34	-0,14	0,60	0,97	0,86	0,37	
10	Michałowice	R	84	40	43	40	36	45	40	10	24	3	14	0,52	0,49	0,52	0,57	0,46	0,52	0,88	0,71	0,96	0,83	
11		P	57	33	35	33	29	37	33	8	20	3	12	0,42	0,39	0,42	0,49	0,35	0,42	0,86	0,65	0,95	0,79	

Tab. Z.3.4. Model wskaźników wskaźniki generacji ruchu, ciężkie samochody ciężarowe, potencjał absorbujący

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał absorbujący [P/h]											Błąd względny [-]										
			Pomiar	Model											LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU
				LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU											
1	Miechów	R	103	94	118	171	83	127	141	90	16	40	136	0,09	-0,15	-0,66	0,19	-0,23	-0,37	0,13	0,84	0,61	-0,32	
2	Gołcza	R	17	29	19	86	13	19	18	9	7	5	11	-0,71	-0,12	-4,06	0,24	-0,12	-0,06	0,47	0,59	0,71	0,35	
3	Charsznica	R	10	36	22	98	16	21	23	11	2	6	16	-2,60	-1,20	-8,80	-0,60	-1,10	-1,30	-0,10	0,80	0,40	-0,60	
4	Kozłów	R	6	23	12	69	10	11	15	6	7	1	10	-2,83	-1,00	-10,50	-0,67	-0,83	-1,50	0,00	-0,17	0,83	-0,67	
5	Książ Wielki	R	67	25	17	59	12	17	16	9	17	1	16	0,63	0,75	0,12	0,82	0,75	0,76	0,87	0,75	0,99	0,76	
6	Słaboszów	R	6	18	9	50	7	8	9	2	1	0	5	-2,00	-0,50	-7,33	-0,17	-0,33	-0,50	0,67	0,83	1,00	0,17	
7	Raławice	R	14	12	7	33	5	8	15	3	1	1	4	0,14	0,50	-1,36	0,64	0,43	-0,07	0,79	0,93	0,93	0,71	
8	Czernichów	R	61	62	59	67	59	57	49	17	2	7	26	-0,02	0,03	-0,10	0,03	0,07	0,20	0,72	0,97	0,89	0,57	
9		P	47	51	48	55	49	47	40	14	1	5	22	-0,09	-0,02	-0,17	-0,04	0,00	0,15	0,70	0,98	0,89	0,53	
10	Michałowice	R	95	40	43	40	36	45	40	10	24	3	14	0,58	0,55	0,58	0,62	0,53	0,58	0,89	0,75	0,97	0,85	
11		P	80	33	35	33	29	37	33	8	20	3	12	0,59	0,56	0,59	0,64	0,54	0,59	0,90	0,75	0,96	0,85	

Tab. Z.3.5. Model regresji wielorakiej, lekkie samochody ciężarowe, potencjał wytwarzający

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]					Błąd względny [-]			
			Pomiar	Model							
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.13)		Zmienne objaśniające LM, LPP i LPU (Tab. 5.15)		Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.13)		Zmienne objaśniające LM, LPP i LPU (Tab. 5.15)	
				Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem
1	Miechów	R	129	290	259	260	273	-1,25	-1,01	-1,02	-1,10
2	Gołcza	R	48	26	32	61	73	0,46	0,33	-0,27	-0,50
3	Charsznica	R	33	34	42	77	92	-0,03	-0,27	-1,33	-1,80
4	Kozłów	R	16	22	34	48	57	-0,38	-1,13	-2,00	-2,60
5	Książ Wielki	R	47	40	63	56	68	0,15	-0,34	-0,19	-0,50
6	Słaboszów	R	16	10	16	36	42	0,38	0,00	-1,25	-1,60
7	Raławice	R	23	10	14	24	29	0,57	0,39	-0,04	-0,30
8	Czernichów	R	104	56	73	131	157	0,46	0,30	-0,26	-0,50
9		P	95	46	60	108	129	0,52	0,37	-0,14	-0,40
10	Michałowice	R	162	38	58	82	98	0,77	0,64	0,49	0,40
11		P	112	31	48	67	80	0,72	0,57	0,40	0,29

Tab. Z.3.6. Model regresji wielorakiej, lekkie samochody ciężarowe, potencjał absorbujący

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]					Błąd względny [-]			
			Pomiar	Model							
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.13)		Zmienne objaśniające LM, LPP i LPU (Tab. 5.15)		Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.13)		Zmienne objaśniające LM, LPP i LPU (Tab. 5.15)	
				Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem
1	Miechów	R	138	290	259	260	273	-1,10	-0,88	-0,88	-1,00
2	Gołcza	R	47	26	32	61	73	0,45	0,32	-0,30	-0,60
3	Charsznica	R	32	34	42	77	92	-0,06	-0,31	-1,41	-1,90
4	Kozłów	R	14	22	34	48	57	-0,57	-1,43	-2,43	-3,10
5	Książ Wielki	R	65	40	63	56	68	0,38	0,03	0,14	-0,10
6	Słaboszów	R	11	10	16	36	42	0,09	-0,45	-2,27	-2,80
7	Raławice	R	26	10	14	24	29	0,62	0,46	0,08	-0,10
8	Czernichów	R	95	56	73	131	157	0,41	0,23	-0,38	-0,70
9		P	103	46	60	108	129	0,55	0,42	-0,05	-0,30
10	Michałowice	R	182	38	58	82	98	0,79	0,68	0,55	0,46
11		P	152	31	48	67	80	0,80	0,68	0,56	0,47

Tab. Z.3.7. Model regresji wielorakiej, ciężkie samochody ciężarowe, potencjał wytwarzający

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]					Błąd względny [-]			
			Pomiar	Model							
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.14)		Zmienne objaśniające LM, LPP i LPU (Tab. 5.15)		Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.14)		Zmienne objaśniające LM, LPP i LPU (Tab. 5.15)	
				Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem
1	Miechów	R	106	108	102	128	115	-0,02	0,04	-0,21	-0,1
2	Gołcza	R	22	12	17	11	22	0,45	0,23	0,5	0
3	Charsznica	R	18	13	23	15	30	0,28	-0,28	0,17	-0,7
4	Kozłów	R	4	9	14	9	18	-1,25	-2,5	-1,25	-3,5
5	Książ Wielki	R	68	18	25	14	27	0,74	0,63	0,79	0,6
6	Słaboszów	R	6	4	7	4	11	0,33	-0,17	0,33	-0,8
7	Raławice	R	12	4	7	4	9	0,67	0,42	0,67	0,25
8	Czernichów	R	57	20	38	24	51	0,65	0,33	0,58	0,11
9		P	35	17	31	20	41	0,51	0,11	0,43	-0,2
10	Michałowice	R	84	20	23	13	29	0,76	0,73	0,85	0,65
11		P	57	16	19	11	24	0,72	0,67	0,81	0,58

Tab. Z.3.8. Model regresji wielorakiej, ciężkie samochody ciężarowe, potencjał absorbujący

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]					Błąd względny [-]			
			Pomiar	Model							
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.14)		Zmienne objaśniające LM, LPP i LPU (Tab. 5.15)		Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.14)		Zmienne objaśniające LM, LPP i LPU (Tab. 5.15)	
				Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem	Bez podziału	Z podziałem
1	Miechów	R	103	108	102	128	115	-0,05	0,01	-0,24	-0,10
2	Gołcza	R	17	12	17	11	22	0,29	0,00	0,35	-0,30
3	Charsznica	R	10	13	23	15	30	-0,30	-1,30	-0,50	-2,00
4	Kozłów	R	6	9	14	9	18	-0,50	-1,33	-0,50	-2,00
5	Książ Wielki	R	67	18	25	14	27	0,73	0,63	0,79	0,60
6	Słaboszów	R	6	4	7	4	11	0,33	-0,17	0,33	-0,80
7	Raławice	R	14	4	7	4	9	0,71	0,50	0,71	0,36
8	Czernichów	R	61	20	38	24	51	0,67	0,38	0,61	0,16
9		P	47	17	31	20	41	0,64	0,34	0,57	0,13
10	Michałowice	R	95	20	23	13	29	0,79	0,76	0,86	0,69
11		P	80	16	19	11	24	0,80	0,76	0,86	0,70



Tab. Z.3.9. Model regresji nieliniowej jednej zmiennej, lekkie samochody ciężarowe, potencjał wytwarzający

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]											Błąd względny [-]										
			Pomiar	Model																				
				LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	
1	Miechów	R	129	228	283	290	217	306	314	243	157	171	313	-0,77	-1,19	-1,25	-0,68	-1,37	-1,25	-0,88	-0,22	-0,33	-1,43	
2	Gołcza	R	48	78	80	154	72	83	74	71	139	74	69	-0,63	-0,67	-2,21	-0,50	-0,73	-2,21	-0,48	-1,90	-0,54	-0,44	
3	Charsznica	R	33	94	87	174	84	87	87	81	116	79	85	-1,85	-1,64	-4,27	-1,55	-1,64	-4,27	-1,45	-2,52	-1,39	-1,58	
4	Kozłów	R	16	61	59	126	62	57	65	55	137	39	62	-2,81	-2,69	-6,88	-2,88	-2,56	-6,88	-2,44	-7,56	-1,44	-2,88	
5	Książ Wielki	R	47	67	72	109	69	75	68	71	159	29	86	-0,43	-0,53	-1,32	-0,47	-0,60	-1,32	-0,51	-2,38	0,38	-0,83	
6	Słaboszów	R	16	49	48	94	50	46	45	35	93	0	41	-2,06	-2,00	-4,88	-2,13	-1,88	-4,88	-1,19	-4,81	1,00	-1,56	
7	Raławice	R	23	33	42	65	40	43	65	37	104	32	39	-0,43	-0,83	-1,83	-0,74	-0,87	-1,83	-0,61	-3,52	-0,39	-0,70	
8	Czernichów	R	104	156	174	123	178	175	150	99	111	81	115	-0,50	-0,67	-0,18	-0,71	-0,68	-0,18	0,05	-0,07	0,22	-0,11	
9		P	95	128	143	101	146	144	123	81	91	66	95	-0,35	-0,51	-0,06	-0,54	-0,52	-0,06	0,15	0,04	0,31	0,00	
10	Michałowice	R	162	103	141	76	133	149	130	74	168	60	79	0,36	0,13	0,53	0,18	0,08	0,53	0,54	-0,04	0,63	0,51	
11		P	112	84	116	63	109	123	107	61	138	49	65	0,25	-0,04	0,44	0,03	-0,10	0,44	0,46	-0,23	0,56	0,42	

Tab. Z.3.10. Model regresji nieliniowej jednej zmiennej, lekkie samochody ciężarowe, potencjał absorbujący

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał absorbujący [P/h]											Błąd względny [-]										
			Pomiar	Model																				
				LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	
1	Miechów	R	138	228	283	290	217	306	314	243	157	171	313	-0,77	-1,19	-1,25	-0,68	-1,37	-1,10	-0,76	-0,14	-0,24	-1,27	
2	Gołcza	R	47	78	80	154	72	83	74	71	139	74	69	-0,63	-0,67	-2,21	-0,50	-0,73	-2,28	-0,51	-1,96	-0,57	-0,47	
3	Charsznica	R	32	94	87	174	84	87	87	81	116	79	85	-1,85	-1,64	-4,27	-1,55	-1,64	-4,44	-1,53	-2,63	-1,47	-1,66	
4	Kozłów	R	14	61	59	126	62	57	65	55	137	39	62	-2,81	-2,69	-6,88	-2,88	-2,56	-8,00	-2,93	-8,79	-1,79	-3,43	
5	Książ Wielki	R	65	67	72	109	69	75	68	71	159	29	86	-0,43	-0,53	-1,32	-0,47	-0,60	-0,68	-0,09	-1,45	0,55	-0,32	
6	Słaboszów	R	11	49	48	94	50	46	45	35	93	0	41	-2,06	-2,00	-4,88	-2,13	-1,88	-7,55	-2,18	-7,45	1,00	-2,73	
7	Raławice	R	26	33	42	65	40	43	65	37	104	32	39	-0,43	-0,83	-1,83	-0,74	-0,87	-1,50	-0,42	-3,00	-0,23	-0,50	
8	Czernichów	R	95	156	174	123	178	175	150	99	111	81	115	-0,50	-0,67	-0,18	-0,71	-0,68	-0,29	-0,04	-0,17	0,15	-0,21	
9		P	103	128	143	101	146	144	123	81	91	66	95	-0,35	-0,51	-0,06	-0,54	-0,52	0,02	0,21	0,12	0,36	0,08	
10	Michałowice	R	182	103	141	76	133	149	130	74	168	60	79	0,36	0,13	0,53	0,18	0,08	0,58	0,59	0,08	0,67	0,57	
11		P	152	84	116	63	109	123	107	61	138	49	65	0,25	-0,04	0,44	0,03	-0,10	0,59	0,60	0,09	0,68	0,57	

Tab. Z.3.11. Model regresji nieliniowej jednej zmiennej, ciężkie samochody ciężarowe, potencjał wytwarzający

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]											Błąd względny [-]											
			Pomiar	Model																					
				LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU		
1	Miechów	R	106	98	118	162	93	124	131	106	69	83	133	0,08	-0,11	-0,53	0,12	-0,17	-0,24	0,00	0,35	0,22	-0,25		
2	Gołcza	R	22	40	36	87	28	39	32	30	59	39	31	-0,82	-0,64	-2,95	-0,27	-0,77	-0,45	-0,36	-1,68	-0,77	-0,41		
3	Charsznica	R	18	47	39	98	33	40	38	34	47	41	38	-1,61	-1,17	-4,44	-0,83	-1,22	-1,11	-0,89	-1,61	-1,28	-1,11		
4	Kozłów	R	4	33	27	72	24	28	28	23	58	22	28	-7,25	-5,75	-17,00	-5,00	-6,00	-6,00	-4,75	-13,50	-4,50	-6,00		
5	Książ Wielki	R	68	35	33	62	27	35	30	30	70	17	38	0,49	0,51	0,09	0,60	0,49	0,56	0,56	-0,03	0,75	0,44		
6	Słaboszów	R	6	27	22	54	19	23	20	14	36	0	19	-3,50	-2,67	-8,00	-2,17	-2,83	-2,33	-1,33	-5,00	1,00	-2,17		
7	Raławice	R	12	20	19	37	15	22	28	15	41	18	18	-0,67	-0,58	-2,08	-0,25	-0,83	-1,33	-0,25	-2,42	-0,50	-0,50		
8	Czernichów	R	57	72	75	70	75	75	64	42	45	42	51	-0,26	-0,32	-0,23	-0,32	-0,32	-0,12	0,26	0,21	0,26	0,11		
9		P	35	59	61	57	61	62	52	34	37	34	42	-0,69	-0,74	-0,63	-0,74	-0,77	-0,49	0,03	-0,06	0,03	-0,20		
10	Michałowice	R	84	51	61	44	54	65	56	31	76	32	35	0,39	0,27	0,48	0,36	0,23	0,33	0,63	0,10	0,62	0,58		
11		P	57	42	50	36	45	54	46	26	62	26	29	0,26	0,12	0,37	0,21	0,05	0,19	0,54	-0,09	0,54	0,49		

Tab. Z.3.12. Model regresji nieliniowej jednej zmiennej, ciężkie samochody ciężarowe, potencjał absorbujący

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał absorbujący [P/h]											Błąd względny [-]											
			Pomiar	Model																					
				LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU	LM	REG	REGR	REGP	REGU	REGT	LP	LPR	LPP	LPU		
1	Miechów	R	103	98	118	162	93	124	131	106	69	83	133	0,05	-0,15	-0,57	0,10	-0,20	-0,29	-0,03	0,33	0,19	-0,29		
2	Gołcza	R	17	40	36	87	28	39	32	30	59	39	31	-1,35	-1,12	-4,12	-0,65	-1,29	-0,82	-0,76	-2,47	-1,29	-0,82		
3	Charsznica	R	10	47	39	98	33	40	38	34	47	41	38	-3,70	-2,90	-8,80	-2,30	-3,00	-2,80	-2,40	-3,70	-3,10	-2,80		
4	Kozłów	R	6	33	27	72	24	28	28	23	58	22	28	-4,50	-3,50	-11,00	-3,00	-3,67	-3,67	-2,83	-8,67	-2,67	-3,67		
5	Książ Wielki	R	67	35	33	62	27	35	30	30	70	17	38	0,48	0,51	0,07	0,60	0,48	0,43	0,55	-0,04	0,75	0,43		
6	Słaboszów	R	6	27	22	54	19	23	20	14	36	0	19	-3,50	-2,67	-8,00	-2,17	-2,83	-2,17	-1,33	-5,00	1,00	-2,17		
7	Raławice	R	14	20	19	37	15	22	28	15	41	18	18	-0,43	-0,36	-1,64	-0,07	-0,57	-0,29	-0,07	-1,93	-0,29	-0,29		
8	Czernichów	R	61	72	75	70	75	75	64	42	45	42	51	-0,18	-0,23	-0,15	-0,23	-0,23	0,16	0,31	0,26	0,31	0,16		
9		P	47	59	61	57	61	62	52	34	37	34	42	-0,26	-0,30	-0,21	-0,30	-0,32	0,11	0,28	0,21	0,28	0,11		
10	Michałowice	R	95	51	61	44	54	65	56	31	76	32	35	0,46	0,36	0,54	0,43	0,32	0,63	0,67	0,20	0,66	0,63		
11		P	80	42	50	36	45	54	46	26	62	26	29	0,48	0,38	0,55	0,44	0,33	0,64	0,68	0,23	0,68	0,64		

Tab. Z.3.13. Model sztucznych sieci neuronowych (SSN), zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU, lekkie samochody ciężarowe, potencjał wytwarzający

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]					Błąd względny [-]			
			Pomiar	Model				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.22)			
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.22)				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.22)			
				Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-1-1:1	RBF 3:3-3-1:1	GRNN 3:3-26-2-1:1	Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-1-1:1	RBF 3:3-3-1:1	GRNN 3:3-26-2-1:1
1	Miechów	R	129	287	165	293	282	-1,22	-0,28	-1,27	-1,19
2	Gołcza	R	48	91	129	115	111	-0,90	-1,69	-1,40	-1,31
3	Charsznica	R	33	99	129	119	117	-2,00	-2,91	-2,61	-2,55
4	Kozłów	R	16	88	129	112	107	-4,50	-7,06	-6,00	-5,69
5	Książ Wielki	R	47	98	129	118	109	-1,09	-1,74	-1,51	-1,32
6	Słaboszów	R	16	81	128	108	105	-4,06	-7,00	-5,75	-5,56
7	Raławice	R	23	81	128	108	104	-2,52	-4,57	-3,70	-3,52
8	Czernichów	R	104	115	129	129	127	-0,11	-0,24	-0,24	-0,22
9		P	95	94	106	106	104	0,01	-0,12	-0,12	-0,09
10	Michałowice	R	162	96	130	117	106	0,41	0,20	0,28	0,35
11		P	112	78	107	96	87	0,30	0,04	0,14	0,22

Tab. Z.3.14. Model sztucznych sieci neuronowych (SSN), zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU, lekkie samochody ciężarowe, potencjał absorbujący

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]					Błąd względny [-]			
			Pomiar	Model				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.22)			
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.22)				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.22)			
				Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-1-1:1	RBF 3:3-3-1:1	GRNN 3:3-26-2-1:1	Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-1-1:1	RBF 3:3-3-1:1	GRNN 3:3-26-2-1:1
1	Miechów	R	138	287	165	293	282	-1,08	-0,20	-1,12	-1,04
2	Gołcza	R	47	91	129	115	111	-0,94	-1,74	-1,45	-1,36
3	Charsznica	R	32	99	129	119	117	-2,09	-3,03	-2,72	-2,66
4	Kozłów	R	14	88	129	112	107	-5,29	-8,21	-7,00	-6,64
5	Książ Wielki	R	65	98	129	118	109	-0,51	-0,98	-0,82	-0,68
6	Słaboszów	R	11	81	128	108	105	-6,36	-10,64	-8,82	-8,55
7	Raławice	R	26	81	128	108	104	-2,12	-3,92	-3,15	-3,00
8	Czernichów	R	95	115	129	129	127	-0,21	-0,36	-0,36	-0,34
9		P	103	94	106	106	104	0,09	-0,03	-0,03	-0,01
10	Michałowice	R	182	96	130	117	106	0,47	0,29	0,36	0,42
11		P	152	78	107	96	87	0,49	0,30	0,37	0,43

Tab. Z.3.15. Model sztucznych sieci neuronowych (SSN), zmienne objaśniające LM i LPU, lekkie samochody ciężarowe, potencjał wytwarzający

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]					Błąd względny [-]			
			Pomiar	Model				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)			
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)
Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-2-1:1	RBF 2:2-10-1:1	GRNN 2:2-26-2-1:1	Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-2-1:1	RBF 2:2-10-1:1	GRNN 2:2-26-2-1:1				
1	Miechów	R	129	265	276	289	264	-1,05	-1,14	-1,24	-1,05
2	Gołcza	R	48	83	91	77	110	-0,73	-0,90	-0,60	-1,29
3	Charsznica	R	33	96	100	98	114	-1,91	-2,03	-1,97	-2,45
4	Kozłów	R	16	71	85	66	107	-3,44	-4,31	-3,13	-5,69
5	Książ Wielki	R	47	79	90	99	110	-0,68	-0,91	-1,11	-1,34
6	Słaboszów	R	16	60	79	38	105	-2,75	-3,94	-1,38	-5,56
7	Raławice	R	23	51	75	15	103	-1,22	-2,26	0,35	-3,48
8	Czernichów	R	104	144	134	156	133	-0,38	-0,29	-0,50	-0,28
9		P	95	118	110	128	109	-0,24	-0,16	-0,35	-0,15
10	Michałowice	R	162	101	102	87	116	0,38	0,37	0,46	0,28
11		P	112	83	84	72	95	0,26	0,25	0,36	0,15

Tab. Z.3.16. Model sztucznych sieci neuronowych (SSN), zmienne objaśniające LM i LPU, lekkie samochody ciężarowe, potencjał absorbujący

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]					Błąd względny [-]			
			Pomiar	Model				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)			
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.24)
Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-2-1:1	RBF 2:2-10-1:1	GRNN 2:2-26-2-1:1	Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-2-1:1	RBF 2:2-10-1:1	GRNN 2:2-26-2-1:1				
1	Miechów	R	138	265	276	289	264	-0,92	-1,00	-1,09	-0,91
2	Gołcza	R	47	83	91	77	110	-0,77	-0,94	-0,64	-1,34
3	Charsznica	R	32	96	100	98	114	-2,00	-2,13	-2,06	-2,56
4	Kozłów	R	14	71	85	66	107	-4,07	-5,07	-3,71	-6,64
5	Książ Wielki	R	65	79	90	99	110	-0,22	-0,38	-0,52	-0,69
6	Słaboszów	R	11	60	79	38	105	-4,45	-6,18	-2,45	-8,55
7	Raławice	R	26	51	75	15	103	-0,96	-1,88	0,42	-2,96
8	Czernichów	R	95	144	134	156	133	-0,52	-0,41	-0,64	-0,40
9		P	103	118	110	128	109	-0,15	-0,07	-0,24	-0,06
10	Michałowice	R	182	101	102	87	116	0,45	0,44	0,52	0,36
11		P	152	83	84	72	95	0,45	0,45	0,53	0,38

Tab. Z.3.17. Model sztucznych sieci neuronowych (SSN), zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU, ciężkie samochody ciężarowe, potencjał wytwarzający

Lp.	Gmina	Szczyt	Pomiar	Potencjał wytwarzający [P/h]				Błąd względny [-]			
				Model				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.23)			
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.23)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.23)			Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.23)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.23)		
Liniowa 3:3-1:1	MLP 2:2-4-1:1	RBF 3:3-4-1:1	GRNN 3:3-26-2-1:1	Liniowa 3:3-1:1	MLP 2:2-4-1:1	RBF 3:3-4-1:1	GRNN 3:3-26-2-1:1				
1	Miechów	R	106	129	91	116	66	-0,22	0,14	-0,09	0,38
2	Gołcza	R	22	26	48	40	49	-0,18	-1,18	-0,82	-1,23
3	Charsznica	R	18	28	48	44	49	-0,56	-1,67	-1,44	-1,72
4	Kozłów	R	4	24	48	40	48	-5,00	-11,00	-9,00	-11,00
5	Książ Wielki	R	68	32	50	36	50	0,53	0,26	0,47	0,26
6	Słaboszów	R	6	18	47	42	48	-2,00	-6,83	-6,00	-7,00
7	Raławice	R	12	18	47	42	48	-0,50	-2,92	-2,50	-3,00
8	Czernichów	R	57	36	50	47	49	0,37	0,12	0,18	0,14
9		P	35	30	41	39	40	0,14	-0,17	-0,11	-0,14
10	Michałowice	R	84	33	50	33	50	0,61	0,40	0,61	0,40
11		P	57	27	41	27	41	0,53	0,28	0,53	0,28

Tab. Z.3.18. Model sztucznych sieci neuronowych (SSN), zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU, ciężkie samochody ciężarowe, potencjał absorbujący

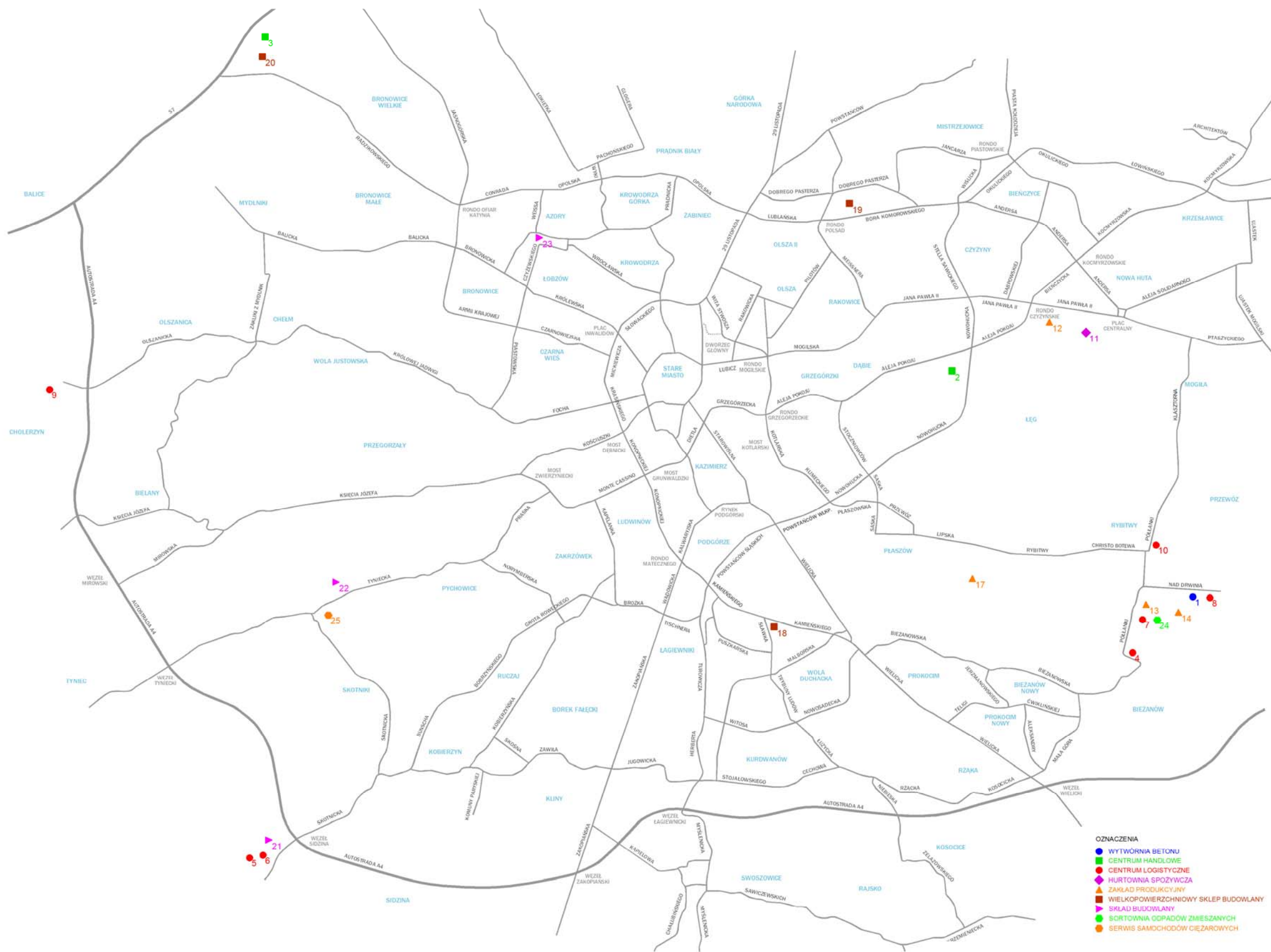
Lp.	Gmina	Szczyt	Pomiar	Potencjał wytwarzający [P/h]				Błąd względny [-]			
				Model				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.23)			
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.23)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.23)			Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.23)	Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.23)		
Liniowa 3:3-1:1	MLP 2:2-4-1:1	RBF 3:3-4-1:1	GRNN 3:3-26-2-1:1	Liniowa 3:3-1:1	MLP 2:2-4-1:1	RBF 3:3-4-1:1	GRNN 3:3-26-2-1:1				
1	Miechów	R	103	129	91	116	66	-0,25	0,12	-0,13	0,36
2	Gołcza	R	17	26	48	40	49	-0,53	-1,82	-1,35	-1,88
3	Charsznica	R	10	28	48	44	49	-1,80	-3,80	-3,40	-3,90
4	Kozłów	R	6	24	48	40	48	-3,00	-7,00	-5,67	-7,00
5	Książ Wielki	R	67	32	50	36	50	0,52	0,25	0,46	0,25
6	Słaboszów	R	6	18	47	42	48	-2,00	-6,83	-6,00	-7,00
7	Raławice	R	14	18	47	42	48	-0,29	-2,36	-2,00	-2,43
8	Czernichów	R	61	36	50	47	49	0,41	0,18	0,23	0,20
9		P	47	30	41	39	40	0,36	0,13	0,17	0,15
10	Michałowice	R	95	33	50	33	50	0,65	0,47	0,65	0,47
11		P	80	27	41	27	41	0,66	0,49	0,66	0,49

Tab. Z.3.19. Model sztucznych sieci neuronowych (SSN), zmienne objaśniające LPP i LPU, ciężkie samochody ciężarowe, potencjał wytwarzający

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]					Błąd względny [-]			
			Pomiar	Model				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.25)			
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.25)				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.25)			
				Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-1-1:1	RBF 2:2-3-1:1	GRNN 2:2-26-2-1:1	Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-1-1:1	RBF 2:2-3-1:1	GRNN 2:2-26-2-1:1
1	Miechów	R	106	126	115	130	101	-0,19	-0,08	-0,23	0,05
2	Gołcza	R	22	44	55	46	63	-1,00	-1,50	-1,09	-1,86
3	Charsznica	R	18	47	57	48	63	-1,61	-2,17	-1,67	-2,50
4	Kozłów	R	4	42	54	44	62	-9,50	-12,50	-10,00	-14,50
5	Książ Wielki	R	68	45	56	47	63	0,34	0,18	0,31	0,07
6	Słaboszów	R	6	39	53	41	61	-5,50	-7,83	-5,83	-9,17
7	Raławice	R	12	39	53	41	61	-2,25	-3,42	-2,42	-4,08
8	Czernichów	R	57	53	60	53	65	0,07	-0,05	0,07	-0,14
9		P	35	43	49	44	53	-0,23	-0,40	-0,26	-0,51
10	Michałowice	R	84	45	56	46	63	0,46	0,33	0,45	0,25
11		P	57	37	46	38	51	0,35	0,19	0,33	0,11

Tab. Z.3.20. Model sztucznych sieci neuronowych (SSN), zmienne objaśniające LPP i LPU, ciężkie samochody ciężarowe, potencjał absorbujący

Lp.	Gmina	Szczyt	Potencjał wytwarzający [P/h]					Błąd względny [-]			
			Pomiar	Model				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.25)			
				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.25)				Zmienne objaśniające LPR, LPP i LPU (Tab. 5.25)			
				Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-1-1:1	RBF 2:2-3-1:1	GRNN 2:2-26-2-1:1	Liniowa 2:2-1:1	MLP 2:2-1-1:1	RBF 2:2-3-1:1	GRNN 2:2-26-2-1:1
1	Miechów	R	103	126	115	130	101	-0,22	-0,12	-0,26	0,02
2	Gołcza	R	17	44	55	46	63	-1,59	-2,24	-1,71	-2,71
3	Charsznica	R	10	47	57	48	63	-3,70	-4,70	-3,80	-5,30
4	Kozłów	R	6	42	54	44	62	-6,00	-8,00	-6,33	-9,33
5	Książ Wielki	R	67	45	56	47	63	0,33	0,16	0,30	0,06
6	Słaboszów	R	6	39	53	41	61	-5,50	-7,83	-5,83	-9,17
7	Raławice	R	14	39	53	41	61	-1,79	-2,79	-1,93	-3,36
8	Czernichów	R	61	53	60	53	65	0,13	0,02	0,13	-0,07
9		P	47	43	49	44	53	0,09	-0,04	0,06	-0,13
10	Michałowice	R	95	45	56	46	63	0,53	0,41	0,52	0,34
11		P	80					0,54	0,43	0,53	0,36



Załącznik 4 – Lokalizacja obiektów na terenie Krakowa objętych pomiarami ruchu wjazdowego i wyjazdowego