



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA



Imię i nazwisko autora rozprawy: **mgr inż. Joanna Wachnicka**

Dyscyplina naukowa: **Budownictwo**

ROZPRAWA DOKTORSKA

Tytuł rozprawy w języku polskim: „**Modelowanie miar ryzyka na sieci dróg w regionach**”

Title of PhD dissertation: “**Modelling risk measures on the road network in the regions**”

Promotor
<i>podpis</i>
dr hab. inż. Kazimierz Jamroz, prof. nadzw.PG
Promotor pomocniczy
<i>podpis</i>

Gdańsk, rok 2017

*Serdeczne podziękowania składam promotorowi
dr hab. inż. Kazimierzowi Jamrozowi, prof. nadzw.PG
za okazaną pomoc, cenne wskazówki, cierpliwość
i zaangażowanie podczas tworzenia pracy.*

*Szczególne podziękowania kieruję do Najbliższych, Przyjaciół, Koleżanek i Kolegów
za wsparcie, cierpliwość i życzliwość mi okazaną na każdym kroku.*

Streszczenie

W rozprawie przedstawiono metodykę konstruowania użytecznych modeli szacowania wybranych miar ryzyka na sieci dróg w regionach administracyjnych z wykorzystaniem podejścia bazującego na zarządzaniu ryzykiem w inżynierii drogowej.

W rozdziale 1 przedstawiono ogólną charakterystykę problemów bezpieczeństwa i problemów zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego w województwach oraz motywację podjęcia pracy. Na tej podstawie sformułowano cel główny, cele naukowe i praktyczne pracy oraz metodykę prowadzenia badań zmierzających do osiągnięcia zamierzonego celu.

W rozdziale 2 stanowiącym syntezę studiów literatury, przedstawiono podstawy teoretyczne w dziedzinie zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego, ze szczególnym uwzględnieniem metod zarządzania ryzykiem. Dokonano przeglądu modeli matematycznych zastosowanych do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych oraz względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych jako najczęściej stosowanych miar ryzyka. Zidentyfikowano zbiory czynników wpływających na bezpieczeństwo ruchu drogowego na sieci dróg w regionach administracyjnych (stany, regiony, województwa). Syntezę studiów literatury zakończono wnioskami do dalszych prac.

W rozdziale 3 dotyczącym charakterystyki i analizy badań wykonano wstępną analizę zebranych danych o stanach Ameryki Północnej, regionów Europy oraz polskich województw. Porównano również stan bezpieczeństwa we wszystkich trzech grupach regionów.

W rozdziale 4 przeanalizowano współzależności zmiennych niezależnych i ich wpływ na wybrane miary ryzyka na sieci dróg w regionach. Przyjęto struktury opracowywanych modeli, wybrano funkcje wiążące oraz zmienne niezależne najsilniej powiązane ze zmienną zależną. Przedstawiono również metodykę walidacji, weryfikacji oraz kalibracji opracowanych modeli.

W rozdziale 5 przedstawiono metodykę konstruowania matematycznych modeli wybranych miar ryzyka na sieci dróg dla każdej z wybranych grup regionów. W przypadku stanów AP stworzono modele o dwóch, a w przypadku regionów EU oraz województw PL o trzech różnych strukturach. Opracowane modele miały strukturę jednopoziomową i wielopoziomową (hierarchiczną). Wykorzystano do ich konstrukcji różne metody matematyczne między innymi funkcję bazową, analizę skupień, czy zbiory rozmyte. Wybrane modele opracowane dla województw PL zostały następnie skalibrowane na uaktualnionej bazie danych.

W rozdziale 6 przedstawiono wyniki analizy wpływu poszczególnych czynników, wchodzących w skład wybranych modeli dla województw PL na wielkość analizowanego wskaźnika śmiertelności demograficznej RFR.

W rozdziale 7 podjęto próbę zastosowania opracowanych modeli dla województw PL do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w czterech wybranych województwach z uwzględnieniem przyjętych scenariuszy rozwoju systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego.

W rozdziale 8 zawarto wnioski końcowe zawierające podsumowanie otrzymanych wyników, a także kierunki prowadzenia dalszych prac badawczych.



Summary

This dissertation presents a methodology for building useful models for estimating selected risk measures on road networks in administrative regions. It builds on the risk management approach in highway engineering.

Chapter 1 presents a general characteristics of safety and road safety management problems in the regions and the reasons for this work. It then goes on to formulate the main goal, research goals and practical aims of this work and the research methodology for accomplishing the goals.

Chapter 2 is a synthesis of the literature and discusses the theories of road safety management with a special focus on risk management methods. It includes a review of mathematical models for forecasting fatalities and the relative fatality rate, the most common measures of risk. Sets of factors are identified that affect road safety in administrative areas (states, regions, voivodeships). The literature review ends with conclusions for further work.

Chapter 3 covers the characteristics and analysis of research. It gives a preliminary analysis of data from North American states, regions in Europe and Poland's voivodeships. A comparison is made between safety levels in the three groups of regions.

Chapter 4 analyses the relations between independent variables and how they impact selected risk measures on road networks in the regions. Structures of the models are adopted. Link functions are selected as well as independent variables that have the strongest connection with the dependent variable. Methods for validation, verification and calibration of the models are presented.

Chapter 5 presents the methodology for building mathematical models of selected risk measures on a road network for each group of the selected regions. In the case of North American states the models are built with two different structures. EU and Polish regions have models with three structures. The models have single level and multiple level (hierarchical) structures. Different mathematical models were used such as the basis function, cluster analysis and fuzzy functions. Selected models designed for Polish regions were calibrated using an up-to-date database.

Chapter 6 presents the results of an analysis which looked at how the different factors that are part of Polish regional models affect the demographic fatality rate, the RFR.

Chapter 7 examines the possibility of applying the models to Polish regions to forecast fatalities in four selected regions based on scenarios of how the road safety system will develop.

Chapter 8 presents final conclusions with a summary of the results. Proposals for new research are discussed.



SPIS TREŚCI:

1	WSTĘP	1
1.1	Charakterystyka problemu	1
1.2	Motywacje podjęcia tematu badań	6
1.3	Cele naukowe i praktyczne pracy	14
1.4	Metodyka realizacji i zakres pracy	15
2	SYNTEZA STUDIÓW LITERATURY	19
2.1	Zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego	19
2.1.1	Teorie stosowane w bezpieczeństwie ruchu drogowego	19
2.1.2	System bezpieczeństwa ruchu drogowego	19
2.1.3	Zarządzanie ryzykiem w inżynierii drogowej	22
2.1.4	Struktura zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego w regionach	24
2.2	Przegląd i analiza modeli matematycznych miar bezpieczeństwa	27
2.2.1	Klasyfikacja modeli	27
2.2.2	Modele regresyjne	28
2.2.3	Modele probabilistyczne	35
2.2.4	Modele ekonometryczne	40
2.2.5	Modele strukturalne	41
2.2.6	Modele bazujące na ryzyku	44
2.3	Czynniki wpływające na brd	49
2.4	Proces konstruowania modelu matematycznego	56
2.5	Wnioski do dalszych prac	59
3	CHARAKTERYSTYKA I ANALIZA OBIEKTU BADAŃ	60
3.1	Analiza dostępnych danych	60
3.2	Bazy danych	62
3.2.1	Baza – stany AP	67
3.2.2	Baza – wybrane regiony UE	69
3.2.3	Baza – województwa PL	70
3.3	Charakterystyka i analiza porównawcza stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego w grupach regionów	72
3.3.1	Stany AP	72
3.3.2	Wybrane regiony UE	76
3.3.3	Województwa PL	80
3.3.4	Podsumowanie	84
4	KONCEPCJA BUDOWY MODELI MATEMATYCZNYCH	85
4.1	Założenia	85
4.2	Metodyka postępowania	86
4.3	Analiza i wybór zmiennych zależnych i niezależnych	87
4.3.1	Identyfikacja i dobór miar strategicznego ryzyka społecznego	87
4.3.2	Identyfikacja i dobór zmiennych niezależnych	87



4.3.3	Analiza podziału regionów na grupy bazowe	92
4.4	Struktura ogólna modelu wybranych miar strategicznego ryzyka społecznego	96
4.5	Dobór typu i parametrów funkcji aproksymującej.....	98
4.5.1	Dobór typu funkcji	98
4.5.2	Dobór parametrów funkcji wiążących (opisujących).....	103
4.6	Walidacja i weryfikacja kalibracja opracowanych modeli miar ryzyka	106
4.6.1	Walidacja i weryfikacja modeli.....	106
4.6.2	Kalibracja modeli	108
5	BUDOWA MODELI MATEMATYCZNYCH WYBRANYCH MIAR RYZYKA W REGIONACH	109
5.1	Metodyka budowy modeli miar ryzyka na sieci dróg w regionach	109
5.2	Stany Ameryki Północnej	111
5.2.1	Cel i zakres badań	111
5.2.2	Konstruowanie modeli	112
5.2.3	Dyskusja wyników	123
5.2.4	Podsumowanie i wnioski.....	124
5.3	Regiony Europy	124
5.3.1	Cel i zakres badań	124
5.3.2	Konstruowanie modeli	125
5.3.3	Dyskusja wyników	147
5.3.4	Podsumowanie i wnioski.....	148
5.4	Województwa.....	148
5.4.1	Cel i zakres badań	148
5.4.2	Konstruowanie modeli	148
5.4.3	Dyskusja wyników	160
5.4.4	Podsumowanie i wnioski.....	162
5.5	Kalibracja polskich modeli na bazie najnowszych danych.....	162
5.5.1	Założenia	162
5.5.2	Wyniki kalibracji.....	163
5.5.3	Dyskusja wyników	168
5.5.4	Podsumowanie i wnioski.....	168
6	BADANIA WPLYWU WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA ZMIANY WZGLĘDNEGO WSKAŹNIKA OFIAR ŚMIERTELNYCH.....	169
6.1	Metodyka badania wpływu poszczególnych czynników	169
6.2	Analiza elastyczności łukowej	169
6.2.1	Modele grupy GM-1.....	169
6.2.2	Modele grupy GM-2.....	174
6.3	Dyskusja wyników	177
6.4	Podsumowanie i wnioski	177
7	ZASTOSOWANIE MODELI DO ZARZĄDZANIA BEZPIECZEŃSTWEM RUCHU DROGOWEGO W REGIONACH	179



7.1	Metoda szacowania liczby ofiar śmiertelnych w województwach	179
7.1.1	Ogólna postać metody	179
7.1.2	Metodyka aplikacji opracowanych modeli ryzyka do szacowania liczby ofiar śmiertelnych w wybranych województwach	181
7.2	Województwo pomorskie	182
7.3	Województwo kujawsko-pomorskie	185
7.4	Województwo śląskie	188
7.5	Województwo mazowieckie	189
7.6	Podsumowanie	191
8	WNIOSKI I KIERUNKI DALSZYCH PRAC	193
8.1	Wnioski	193
8.2	Ograniczenia i kierunki dalszych prac	196
	LITERATURA	198
	ZAŁĄCZNIK - SPIS WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ	217

1 WSTĘP

1.1 Charakterystyka problemu

Zapewnienie bezpieczeństwa, w tym także bezpieczeństwa użytkownikom dróg, to obok zaspokojenia potrzeb indywidualnych i społecznych, zapewnienia ładu oraz możliwości rozwoju, jeden z głównych celów funkcjonowania państwa, regionu administracyjnego, miasta. Osiągnięcie postawionych celów funkcjonowania państwa czy też innego obszaru administracyjnego związane jest z podejmowaniem decyzji w warunkach ryzyka lub niepewności wynikających ze: zmienności czynników wpływających na możliwość osiągnięcia założonych celów, złożoności problemu, braku wiedzy u menedżerów zarządzających bezpieczeństwem, braku dokładnych metod szacowania i oceny ryzyka, braku informacji u partnerów (samorządy, organizacje zajmujące się bezpieczeństwem, społeczeństwo).

System transportu jest jednym z systemów funkcjonalnych państwa. Systemy transportu obejmują szeroko pojęte procesy przemieszczania osób, ładunków, informacji i energii, za pomocą niezbędnych kapitałów, środków transportu i infrastruktury. Obejmują one wszystkie dziedziny związane bezpośrednio z funkcjonowaniem gospodarki (przemysłu, handlu, usług itd.) dotyczą także problemów społecznych, organizacji pracy, bezpieczeństwa człowieka i ochrony jego naturalnego środowiska. Jednym z podsystemów jest system transportu drogowego. Stanowi on zespół takich elementów jak: infrastruktura drogowa, flota pojazdów (tabor samochodowy), uczestnicy ruchu drogowego (kierujący pojazdami, pasażerowie, piesi), podsystemy przepływu informacji oraz zasady funkcjonowania (w tym zasady organizacji ruchu drogowego) umożliwiające realizację procesu przemieszczania osób i ładunków [77,78,90].

Rozwój gospodarczy, wzrost mobilności społeczeństwa, rozwój transportu, a w szczególności transportu drogowego, krajów i różnych obszarów administracyjnych, wywołuje pozytywne i negatywne skutki ekonomiczne, społeczne i środowiskowe. Do pozytywnych zaliczyć można: wzrost zasobności społeczeństw, rozwój systemu edukacji, systemu opieki zdrowotnej itp. Natomiast do negatywnych zaliczyć można między innymi: pogarszanie się stanu środowiska naturalnego i pogorszenie poziomu bezpieczeństwa, w tym także bezpieczeństwa ruchu drogowego.

W wypadkach drogowych na świecie życie traci prawie 1,3 mln osób rocznie, a straty ekonomiczne z tym związane wynoszą 2 - 3% światowego PKB. Niestety Polska zajmuje miejsce w trzeciej dziesiątce krajów świata, a także czołowe miejsce w Unii Europejskiej pod względem ryzyka na drogach. Mimo, że UE jest światowym liderem w bezpieczeństwie ruchu drogowego, cztery kraje: Niemcy, Francja, Włochy i Polska przyczyniają się do ponad 50 % liczby ofiar śmiertelnych w UE. Natomiast ryzyko bycia ofiarą śmiertelną w odniesieniu do liczby mieszkańców w Polsce jest jeszcze dwukrotnie wyższe niż średnia w UE, a nawet trzykrotnie wyższe niż w Wielkiej Brytanii, Holandii i Szwecji.

Ponad 3 tys. ofiar śmiertelnych, 12 tys. ofiar ciężko rannych i ponad 40 mld zł strat w wyniku wypadków drogowych w ciągu ostatniego roku w Polsce to zbyt duża kontrybucja społeczeństwa za funkcjonowanie systemu transportowego.



Szacuje się, że do 2030 roku liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych może się podwoić w przypadku zaniechania lub braku podejmowania skutecznych i kompleksowych działań na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego we wspólnocie światowej. Udział w wypadkach drogowych może stać się jedną z pięciu najczęstszych przyczyn zgonów mieszkańców naszego globu. Dlatego wiele różnych instytucji państwowych i organizacji pozarządowych bierze udział w wysiłkach, aby spróbować zmniejszyć liczbę wypadków drogowych. Na przykład Organizacja Narodów Zjednoczonych wraz z działającą w ramach niej Światową Organizacją Zdrowia (WHO) przygotowały rekomendacje dla państw w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, ustanawiając w roku 2011 Dekadę Działań na rzecz Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (na lata 2011 – 2020). Fundamentalną intencją całego przedsięwzięcia jest uchronienie 5 milionów ludzi przed śmiercią w wyniku wypadku drogowego w latach 2011 – 2020 poprzez uaktywnienie działań realizowanych poprzez poszczególne kraje. W tym poprzez ustanowienie i realizację własnego programu brd, powołanie jednostki odpowiedzialnej za zarządzanie brd, efektywne zbieranie danych o wypadkach, zwiększenie środków finansowych na infrastrukturę drogową na tyle, aby każda tego typu inwestycja miała zapewnione elementy bezpieczeństwa w całym ciągu jej projektowania, budowy i utrzymania [143].

Także Unia Europejska zauważyła ten problem i ukierunkowała swoje działania na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego. Między innymi w III Programie BRD Unii Europejskiej [79] w 2000 roku przewidziano działania strategiczne zmierzające do redukcji liczby ofiar śmiertelnych o 50% do 2010 roku [72]. W tym czasie jednak UE powiększyła się o kolejne kraje (w tym Polskę), mające większe problemy z bezpieczeństwem ruchu niż kraje „Starej Unii”. Na sieci drogowej UE w tym czasie, w wypadkach drogowych ginęło 50 tys. osób. Mimo podjętych działań, chociaż osiągnięto duży postęp w redukcji liczby ofiar śmiertelnych, ale nie udało się osiągnąć założonego celu. W związku z tym w kolejnej dekadzie 2011-2020 zdecydowano się kontynuować wdrażanie kolejnych działań w celu zmniejszenia liczby ofiar śmiertelnych w ciągu dekady o kolejne 50 % [34,60].

Podobne działania podejmowane są także na poziomie krajowym. Pierwszy krajowy program poprawy bezpieczeństwa (przyjęty uchwałą Rady Ministrów) powstał w 1972 roku [221]. Jego celem było „zapewnienie poprawy bezpieczeństwa i porządku na drogach publicznych oraz ograniczenie i łagodzenie skutków wypadków drogowych”. Jednak Program ten nie przyniósł żadnych pozytywnych zmian stanu brd. Powszechnie panowała wówczas błędna opinia, że był to nieuchronny efekt dynamicznego rozwoju motoryzacji. Dopiero po tragicznym 1991 roku, kiedy to na polskich drogach zginęło prawie 8 tys. osób, grupa ekspertów Banku Światowego oceniająca stan bezpieczeństwa na polskich drogach stwierdziła, że osiągnięcie znaczącej poprawy wymaga przede wszystkim rozpoczęcia działań systemowych. Rząd RP w 1992 roku przyjął raport ekspertów, zwany raportem Gerondeau[62] i podjął stosowne decyzje.

W 1993 roku na szczeblu centralnym utworzono Krajową Radę Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (przedstawiciele ministerstw i instytucji centralnych, organizacji społecznych, zaproszeni eksperci), natomiast na poziomie regionalnym powołano Wojewódzkie Rady BRD. W rok później Minister Transportu zamówił w Komitecie Badań Naukowych projekt badawczy „Zintegrowany Program Poprawy Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego”, który otrzymał akronim GAMBIT. Program ten opracowany przez interdyscyplinarny Zespół Ekspertów pod

przewodnictwem prof. R. Krystka zawierał ilościowe cele do osiągnięcia w ciągu kolejnych 5 lat oraz przedsięwzięcia, które powinny być w tym czasie wdrożone. Po dwóch latach obowiązywania w/w programu okazało się, że założonych w nim celów nie udaje się zrealizować. Jednak należy stwierdzić, że rozpoczęcie działalności przez Krajową i Wojewódzkie Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego oraz przygotowanie i wdrażanie pierwszych wojewódzkich programów brd (poczynając od programów GAMBIT Gdański [118] i GAMBIT Elbląski [80] przyczyniło się do spopularyzowania problemów bezpieczeństwa ruchu drogowego, chociaż podejmowane działania okazały się niewystarczające i nie doprowadziły do spodziewanych rezultatów [80].

W roku 2000 po reorganizacji administracyjnej kraju, sformułowano następny program bezpieczeństwa ruchu drogowego GAMBIT 2000. Został on przyjęty przez Radę Ministrów w maju 2001 jako program dla Polski na lata 2001-2010. W programie tym celem strategicznym było zmniejszenie liczby ofiar śmiertelnych do nie więcej niż 4 tys. w roku 2010. Oznaczało to zamiar osiągnięcia w roku 2010 wskaźnika ofiar śmiertelnych na 100 tys. mieszkańców, poniżej 10, czyli równego średniej w UE [83]. Jednocześnie rozwijano działalność na poziomie regionalnym i lokalnym, nowo utworzone województwa (pomorskie, warmińsko – mazurskie, lubelskie, łódzkie, śląskie,) przygotowały i wdrażały wojewódzkie programy brd [22,83–85].

W maju 2004 Polska wstąpiła do Unii Europejskiej, która postawiła swym członkom ambitne zadanie; w ciągu dekady należy zmniejszyć liczbę śmiertelnych ofiar wypadków drogowych o połowę. Polska podjęła to wyzwanie i w kwietniu 2005 Rada Ministrów przyjęła nowy program GAMBIT 2005 (opracowany przez konsorcjum PG, PK i ITS przy współudziale wielu ekspertów z różnych dziedzin związanych z brd), jako Krajowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego na lata 2005-2007-2013 [94,118]. Bazując na podejściu systemowym, w Programie GAMBIT 2005 przyjęto:

- **WIZJĘ ZERO** jako dalekosiężną i etycznie uprawnioną wizją bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce,
- główny cel strategiczny Programu: zmniejszenie o **50%** liczby ofiar śmiertelnych w ciągu 10 lat (w stosunku do roku 2003) tj. do poziomu nie więcej niż **2800** ofiar śmiertelnych w roku 2013,
- pięć kierunków działań strategicznych (z podziałem na 15 grup działań priorytetowych i 144 zadań dla realizacji głównego celu strategicznego) obejmujących: stworzenie podstaw do prowadzenia skutecznych i długofalowych działań na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego, kształtowanie bezpiecznych zachowań uczestników ruchu, ochrona pieszych, dzieci i rowerzystów, budowa i utrzymanie bezpiecznej infrastruktury drogowej, zmniejszenie ciężkości wypadków.

W okresie obowiązywania Programu GAMBIT 2005 na poziomie krajowym podejmowane były liczne działania edukacyjne, prewencyjne i infrastrukturalne wpisujące się w kierunki działań programowych. Jednocześnie w wielu przypadkach decyzje polityczne i administracyjne były niezgodne z tym programem. Z dużym wysiłkiem podjęto 84 ze 144 zadań (58%) przewidzianych do realizacji. Część z nich nie przyniosła oczekiwanych efektów lub została źle przeprowadzona. Są jednak też i takie, które korzystnie wpłynęły na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego. Należą do nich m. in.:

- opracowanie i wdrażanie Programów BRD na poziomie wojewódzkim i powiatowym, które objęły kilkanaście województw, miast i powiatów oraz branżowych programów brd (dla dróg krajowych, w policji),
- wdrożenie i rozwój systemu nadzoru (system automatycznej kontroli prędkości CANARD, systemu kontroli czasu pracy kierowców GITD), zmiany w zasadach szkolenia i egzaminowania kierowców,
- intensywna budowa sieci dróg ekspresowych i autostrad, budowa bezpiecznych skrzyżowań, stosowanie środków uspokajania ruchu, wprowadzenie audytu brd do części projektów,
- modernizacja systemu ratownictwa i ochrony powypadkowej.

Szacuje się, że w wyniku prowadzenia działań objętych programem, w ciągu 7 lat jego realizacji: nastąpiło zmniejszenie liczby ofiar śmiertelnych o ponad 40 %, uratowano od śmierci w wypadkach drogowych ok. 6 tys. osób, ale można by uratować drugie tyle, gdyby Program był realizowany w pełnym zakresie, oszczędności z tytułu zmniejszenia liczby wypadków i ofiar wypadków drogowych wyniosły ok. 34,5 mld zł [92,93,95,100,143,144].

W niektórych województwach zweryfikowano poprzednie lub opracowano nowe programy brd. Redukcja ofiar śmiertelnych w poszczególnych województwach wyniosła od 19% do 40% w stosunku do roku bazowego 2003, jedynie trzy województwa osiągnęły założony cel. Wskazuje to, że oczekiwanie tylko na działania prowadzone ze szczebla centralnego bez zaangażowania poziomu regionalnego nie przynosi oczekiwanych efektów. Przewidując, że trudno będzie osiągnąć założony cel w roku 2013, Sekretariat Krajowej Rady BRD przystąpiła do opracowania nowego Narodowego Programu Poprawy Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (NPBRD) do roku 2020, który przyjęto do realizacji w 2012 roku [117].

Bazując na Deklaracji ONZ [211] w NPBRD przyjęto następujące zasady:

- podtrzymano WIZJĘ ZERO jako dalekosiężną i etycznie uprawnioną wizję bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce,
- jako główny cel strategiczny Programu przyjęto: zmniejszenie o **50%** liczby ofiar śmiertelnych w ciągu 10 lat (w stosunku do roku 2010) tj. do poziomu nie więcej niż **2000** ofiar śmiertelnych w roku 2020 i o 40 % liczby ofiar ciężko rannych tj. do poziomu nie więcej 5600 ofiar,
- jako podstawową zasadę realizacji programu brd przyjęto podejście realizujące założenia Bezpieczny system,
- osiągnięcie celu strategicznego powinny umożliwić działania ukierunkowane na realizację pięciu podstawowych filarów: priorytetów bezpieczne zachowania uczestników ruchu, bezpieczna infrastruktura drogowa, bezpieczna prędkość, bezpieczne pojazdy, system ratownictwa i pomocy medycznej, w każdym wyróżniono po dwa priorytety,
- w każdym priorytecie wyróżniono zbiór działań obejmujących: inżynierię i technologię, nadzór nad ruchem, edukację.

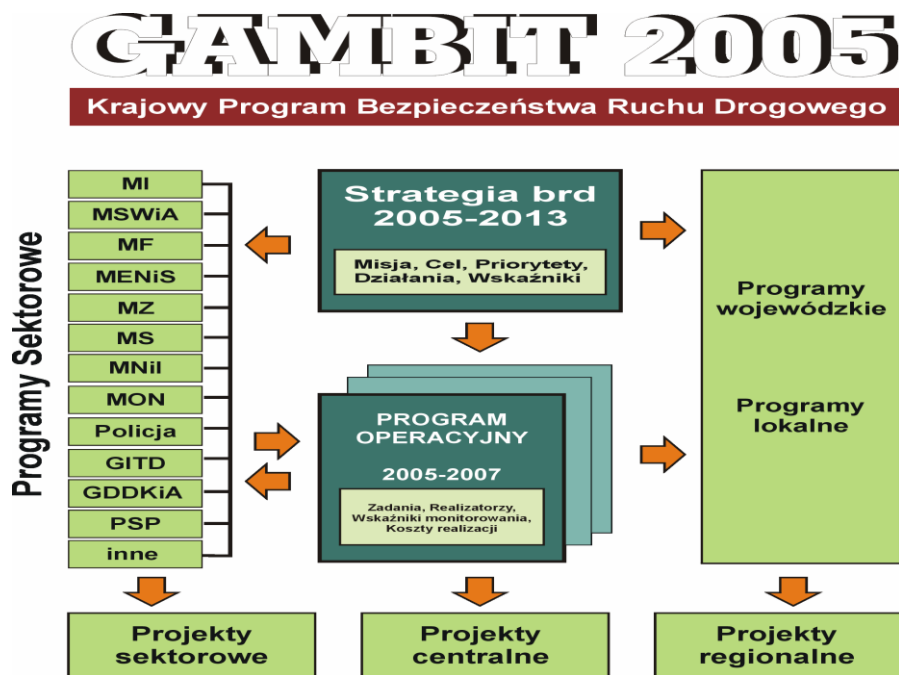
Przygotowując ten dokument zauważono celowość i ważność działań systemowych wynikających bezpośrednio z funkcji zarządzania instytucjonalnego. W tym:

- rozwoju i wdrożeniu jednolitego systemu monitorowania (m.in. poprzez usprawnienie systemu zbierania danych oraz rozszerzenie zakresu i integrację baz danych);

- opracowaniu i wdrożeniu programu badań naukowych bezpieczeństwa ruchu drogowego i transferu wiedzy w tym zakresie, jako podstawy do racjonalnego i skutecznego wdrażania działań na rzecz jego poprawy i zarządzania systemem bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Analiza „Barometru” realizacji NPBRD wskazuje, że liczba ofiar śmiertelnych z pewnymi turbulencjami zmniejsza się (do 3 tys. ofiar w roku 2016), ale w dalszym ciągu powyżej założeń (o 400 ofiar), natomiast liczba ofiar ciężko rannych utrzymuje się w przybliżeniu na stałym poziomie (12 tys. ofiar) i jest znacznie wyższa od założonej (ok. 3,5 tys. ofiar). To wskazuje, że społeczeństwo nasze płaci jeszcze zbyt wysoką cenę (zbyt duża liczba ofiar śmiertelnych i ciężko rannych) za niesprawdzone i populistyczne działania władz (np. częste zmiany przy systemie nadzoru nad prędkością, brak zdecydowanych działań dotyczących ochrony pieszych).

Wojewódzkie i lokalne programy brd, oprócz programów operacyjnych i sektorowych, stanowiły i stanowią podstawowe narzędzia realizacji krajowych strategii bezpieczeństwa ruchu drogowego (rys. 1.1) [118]. Wagę tych działań podkreślono w programie GAMBIT 2005, zwracając uwagę na działania obszarowe (prowadzone w województwach, powiatach i gminach), które mogą przyczynić się do prawie połowy zamierzonej redukcji ofiar śmiertelnych.



Rys. 1.1. Układ programów realizujących krajową Strategię BRD.

Źródło: [118]

Wzorując się na programach krajowych wypracowano strukturę programu wojewódzkiego i lokalnego. Wojewódzkie programy brd składały się zatem z diagnozy gwarantującej obiektywne spojrzenie na faktyczny stan brd, strategii zawierającej jasno sprecyzowany cel z podaniem głównych kierunków działań oraz programów operacyjnych precyzujących zadania do wykonania przez instytucje i organizacje szczeble wojewódzkiego [83,85,86]. Natomiast lokalne (powiatowe, miejskie) programy brd są to programy realizowane przez lokalne samorządy. Były opracowywane z dużym stopniem szczegółowości. Wskazywano w nich

na konkretne rozwiązania i działania z zakresu edukacji, nadzoru, infrastruktury i ratownictwa (np. usprawnienie konkretnego skrzyżowania, doposażenie konkretnej jednostki w sprzęt, wskazanie dokładnego miejsca automatycznego nadzoru itp.) [22,80–82,84,118].

Działania proponowane w tych programach odzwierciedlały lokalną specyfikę problemów i zagrożeń w następujących obszarach: budowa regionalnych i lokalnych struktur brd, edukacja brd, nadzór nad ruchem drogowym, infrastruktura drogowa i ratownictwo na drogach.

Wdrażanie tak skomplikowanego programu wymaga sprawdzonych oraz popartych wiedzą i wynikami badań naukowych narzędzi [97]. Takie narzędzia do zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego na poziomie strategicznym kraju, opracowane już w Katedrze Inżynierii Drogowej [90,144], mogą być zastosowane do oceny efektywności zastosowanych działań. Natomiast nadal brakuje narzędzi do zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego na poziomie strategicznym w województwach, powiatach i miastach.

1.2 Motywacje podjęcia tematu badań

Zmiana podziału administracyjnego kraju w 1999 roku spowodowała konieczność przygotowania nowych programów brd: krajowego i wojewódzkich. Wśród wielu trudności, które pojawiły się przy ocenie stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego i określeniu trendów zmian pomocnych przy prognozowaniu miar brd był brak historycznych danych o nowych województwach i powiatach. Wiele potrzebnych danych uzyskiwano na podstawie agregacji danych z gmin lub na podstawie szacowania [83,85,86].

Przystępując do opracowywania wojewódzkich programów brd brakowało wielu narzędzi, których opracowanie wymagało wsparcia naukowego. Brakowało wówczas między innymi:

- metod długoterminowego prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w województwach,
- metod oceny efektywności proponowanych działań,
- metod wyboru skutecznych działań,
- metod monitorowania wdrażanych działań.

Wobec braku metod prognozowania liczby ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w regionach, próbowano zastosować metody uproszczone lub wykorzystać analizę trendów. Na przykład dla oszacowania liczby ofiar śmiertelnych dla województwa warmińsko-mazurskiego w latach 2002 - 2010 wykorzystano prognozy liczby pojazdów, pracy przewozowej i wskaźnika ryzyka bycia ofiarą śmiertelną w wypadku drogowym [86]. Liczbę ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych oszacowano korzystając z następującej zależności (1.1):

$$LZ = PP \cdot WZ \quad (1.1)$$

przy czym:

$$PP = LP \cdot SPP \quad (1.2)$$

gdzie:

LZ – liczba ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych dla analizowanego roku na sieci dróg w województwie (ofiar/rok),

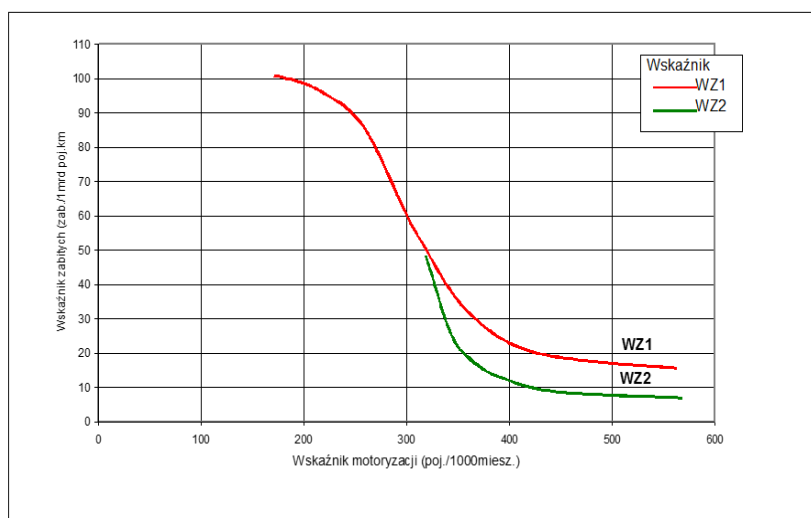
PP – praca przewozowa wykonana przez wszystkie pojazdy na sieci dróg w województwie w ciągu roku (mln pkm/rok),

WZ – wskaźnik ryzyka bycia ofiarą śmiertelną w wypadkach drogowych w odniesieniu do przebytej drogi (wskaźnik koncentracji ofiar śmiertelnych), (ofiar/ 1 mln pkm/rok),

LP – łączna liczba pojazdów zarejestrowanych w województwie w ciągu roku (tys. poj./rok),

SPP – średnia długość przebytej drogi przez pojazdy w województwie w ciągu roku (tys. km/rok).

Do obliczeń przyjęto dwa scenariusze prowadzonych działań różniące się ich zakresem i opisane wskaźnikiem WZ, który uzależniono od wskaźnika poziomu motoryzacji WM (rys. 1.2). Wskaźnikiem WZ1 opisano poziom ryzyka bycia ofiarą śmiertelną zmieniający się wraz z dotychczasowymi trendami (działaniami na rzecz brd prowadzonymi w województwie warmińsko – mazurskim), natomiast wskaźnikiem WZ2 opisano poziom ryzyka bycia ofiarą śmiertelną występujący w wybranych krajach Unii Europejskiej. W 2001 roku na drogach województwa warmińsko-mazurskiego śmierć w wypadkach drogowych poniosło 279 osób, co przy istniejącym wówczas poziomie motoryzacji i przebiegu pojazdów dawało wskaźnik WZ ok. 50 ofiar śmiertelnych / 1 mld pkm.



Rys. 1.2. Wykres zależności wskaźnika ryzyka bycia ofiarą śmiertelną w wypadku drogowym KZ w zależności od wskaźnika motoryzacji WM dla: WZ1 – wskaźnik oszacowany dla województwa warmińsko-mazurskiego, WZ2 – wskaźnik przyjęty na bazie danych z wybranych krajów Unii Europejskiej.

Źródło: [86]

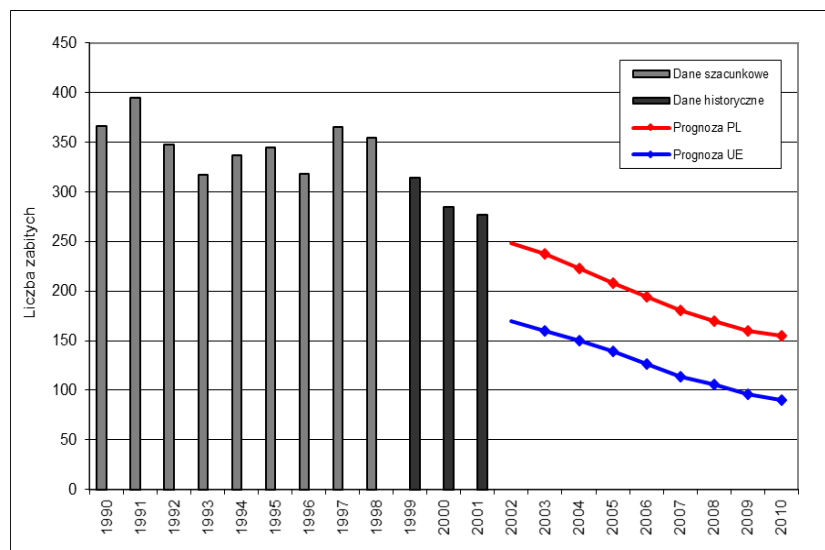
Poziom rozwoju motoryzacji przyjęto na podstawie analizy trendu przyrostu liczby pojazdów w ciągu 10 poprzednich lat (zarejestrowano przyrost o 150 %), zakładając przyrost o ok. 3,5 % rocznie. W rezultacie oszacowano wskaźnik liczby pojazdów w roku 2010 WM=520 poj. / 1 tys. mk (przy WM= 375 poj./1 tys. mk w roku 2001).

Roczny przebieg pojazdów (pracę przewozową PP) w województwie warmińsko-mazurskim w roku 2001 oszacowano na podstawie pomiaru natężeń ruchu na drogach krajowych, wojewódzkich i powiatowych. Łączna praca przewozowa wykonana przez pojazdy na obszarze

tego województwa wyniosła 5.4 mld poj.km, co dawało średni przebieg jednego pojazdu 9,8 tys. km na rok. Natomiast średni przebieg pojazdów w latach następnych przyjęto podobnie jak zmieniał się on w krajach zachodnich w stosunku do poziomu wskaźnika motoryzacji.

Dla tak przyjętych założeń wykonano prognozy liczby ofiar śmiertelnych. W wyniku obliczeń otrzymano dwie krzywe obrazujące zmianę liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w województwie warmińsko-mazurskim. Krzywa (prognoza PL) obrazuje możliwe zmiany liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w województwie warmińsko-mazurskim w przypadku nie podjęcia radykalnych działań programowych, z przewidywaną liczbą ofiar śmiertelnych w roku 2010. Krzywa (prognoza UE) obrazuje zmianę liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w tym województwie w przypadku, gdyby od kilku lat były podejmowane i prowadzone radykalne działania programowe w takim zakresie jak w najlepszych krajach Unii Europejskiej.

W wyniku przeprowadzonych oszacowań przewidywano liczbę ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w 2010 roku: 165 ofiar śmiertelnych wg „prognozy PL” i 90 ofiar śmiertelnych wg „prognozy UE”. W programie GAMBIT WM jako cel strategiczny do roku 2010 założono wartość pośrednią tj. 120 ofiar śmiertelnych zakładając bardziej zdecydowane działania. W rezultacie podejmowanych działań w roku na drogach województwa warmińsko – mazurskiego w wypadkach drogowych zginęło 168 osób, czyli zrealizowała się prognoza według zasady „nie robić nic nowego”. Natomiast nieznanne były dokładne przyczyny tego stanu.

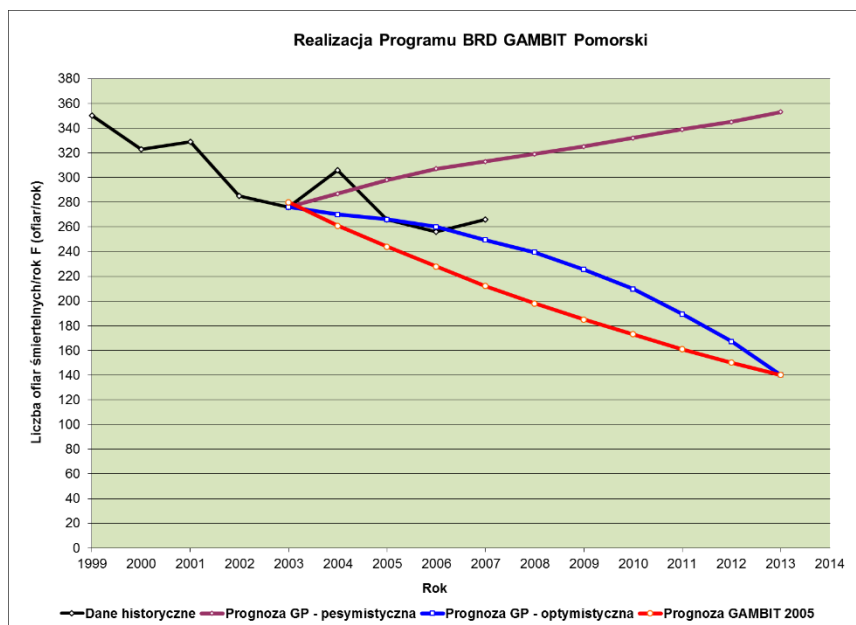


Rys. 1.3 Wykres zmian liczby ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w województwie warmińsko-mazurskim w latach 1990 – 2001 i prognoza na lata 2002 - 2010

Źródło: [86]

Kiedy w 2008 roku autorka podjęła pracę w Katedrze Inżynierii Drogowej, roku podobne dylematy mieli autorzy Programu BRD GAMBIT Pomorski (GP) przystępując do monitorowania realizacji tego programu. Przedstawione na rys. 1.4 prognozy zmian liczby ofiar śmiertelnych były przyjmowane intuicyjnie lub na podstawie analizy zachowania trendu. Prognozę „pesymistyczną” programu GP opracowano zakładając wzrost liczby pojazdów i stałą wartość jednostkowego wskaźnika ofiar śmiertelnych (występującego w 2003 roku). Prognozę „optymistyczną” programu GP oraz prognozę wg założeń programu GAMBIT 2005

opracowano na podstawie interpolacji między liczbą ofiar śmiertelnych zarejestrowaną w 2003 roku (tj. 280 ofiar śmiertelnych) i założoną w celu strategicznym na rok 2013 (nie więcej niż 140 ofiar śmiertelnych) [85]. Brakowało wówczas metod analizy i oceny skuteczności zastosowanych interwencji i działań.



Rys. 1.4 Wykresy zmian liczby ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w województwie pomorskim w latach 1990 – 2007 i prognoza na lata 2003 - 2013.

Źródło: [85]

Te doświadczenia skłoniły autorkę do postawienia zbioru pytań obrazujących problemy, które powinny być rozwiązane dla potrzeb optymalnego zarządzania bezpieczeństwem ruchu w regionach administracyjnych.

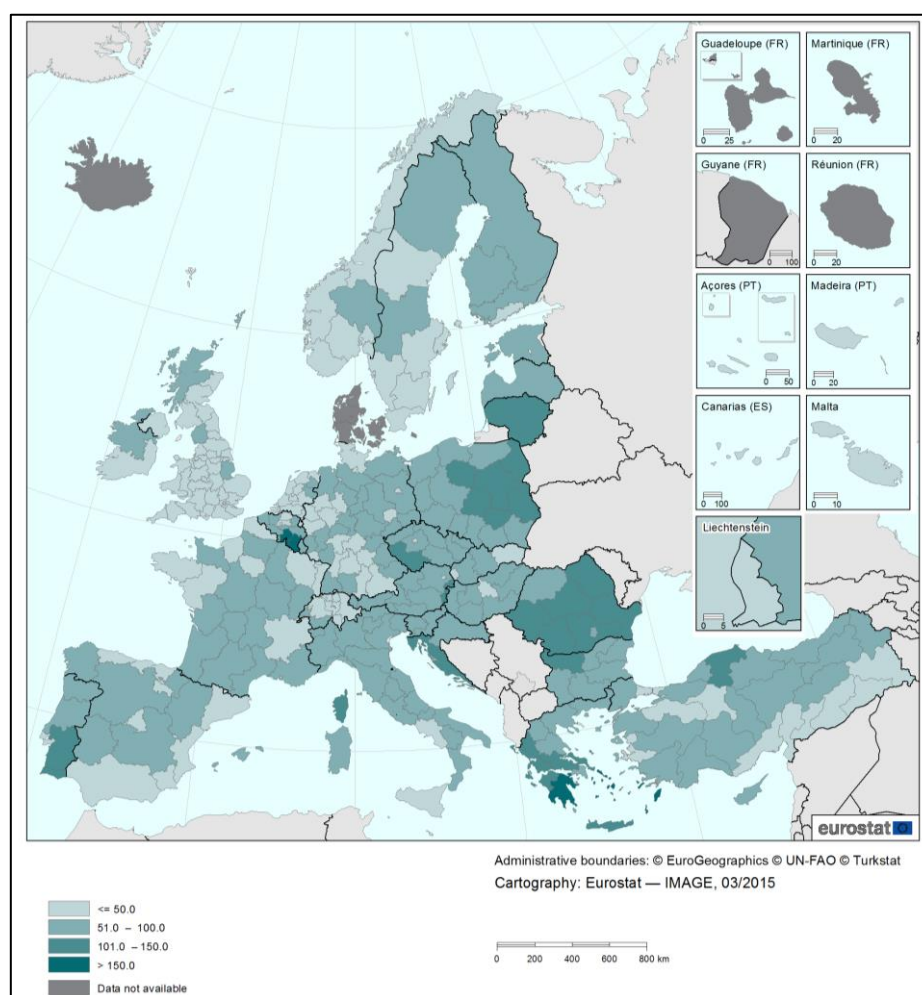
- 1) Od czego zależy poziom bezpieczeństwa w poszczególnych regionach administracyjnych?
- 2) Jakie są prognozy bezpieczeństwa ruchu drogowego na kolejne okresy programowania bezpieczeństwa ruchu?
- 3) Czy istnieją lub są możliwe do zastosowania metody, narzędzia i instrumenty oddziaływania na to zjawisko?
- 4) Jakie interwencje mogą przynieść największe efekty?

Odpowiedzi na te pytania nurtujące przedstawicieli regionalnych rad bezpieczeństwa ruchu drogowego, władz samorządowych, instytucji i organizacji społecznych w wielu regionach w kraju i zagranicą, naukowców i poszczególne społeczeństwa nie są proste. Na niektóre z nich próbowano odpowiedzieć w formie badań, lub formie praktycznej np. opracowując i wdrażając regionalne i lokalne programy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Pozostałe odpowiedzi wymagają, jeszcze dalszych badań naukowych, zmierzających w pierwszej kolejności do opracowania modeli miar ryzyka na drogach i metod prognozowania miar bezpieczeństwa ruchu drogowego i metod zarządzania nimi.

Jedną z nowoczesnych metod zarządzania bezpieczeństwem jest metoda „zarządzanie ryzykiem”, która charakteryzuje się tym, że posiada unormowane procedury prowadzenia

analizy, oceny i reagowania na ryzyko. Próbuje się również harmonizować metody zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej. Przykładem są działania takich organizacji jak Bank Światowy, Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD), EuroRAP, World Road Association (PIARC) i European Road Administrations (ERA-NET ROAD). Podstawy teoretyczne i zakres możliwych zastosowań metod zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej w Polsce przedstawił Jamroz w ramach projektu ZEUS [27] i w pracach [90,101].

Podejmowane działania na rzecz poprawy brd w UE nie we wszystkich krajach przynoszą zakładany poziom redukcji liczby ofiar śmiertelnych wypadków drogowych. To sugeruje, że istnieją cechy, które różnicują poszczególne kraje, ale również można zauważyć zróżnicowanie regionalne w obrębie jednego kraju (rys. 1.5). Tak więc zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego z poziomu centralnego nie zawsze pozwala na osiągnięcie zamierzonych efektów, dlatego proponuje się zdekomponowanie tych działań także na niższe poziomy zarządzania tj. poziom regionalny i lokalny.



Rys. 1.5 Mapa wielkości względnego wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych na 1 mln mieszkańców w poszczególnych regionach NUTS 2 Unii Europejskiej w 2012 roku.
Źródło: [222]

Analiza danych o wypadkach z różnych regionów administracyjnych jednego kraju pokazuje, że programy poprawy BRD wprowadzane na krajowym poziomie zarządzania nie skutkują podobnym efektem w każdym regionie. Możliwe jest wskazanie powtarzających się

w każdym obszarze problemów. Jednak problem o dużej wadze w jednym regionie może w innym mieć znaczenie marginalne. Z doświadczeń polskich i zagranicznych [35,46,85,89,154,239,241] dotyczących poprawy poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego w danym regionie wynika, że w poszczególnych regionach występuje zróżnicowanie głównych grup ryzyka i problemów brd. W przypadku grup wysokiego ryzyka wymienia się niechronionych użytkowników dróg ze szczególnym naciskiem na dzieci oraz młodych kierowców. Analizy okoliczności wypadków wskazują na problem jazdy z nadmierną prędkością oraz kierowanie pojazdami po spożyciu alkoholu. Kolejne problemy mogą zależeć już od specyfiki danego regionu i być różne dla różnych obszarów. Przykłady spotkanych problemów brd w wybranych regionalnych i lokalnych programach poprawy bezpieczeństwa przedstawiono w tabelicy 1.1.

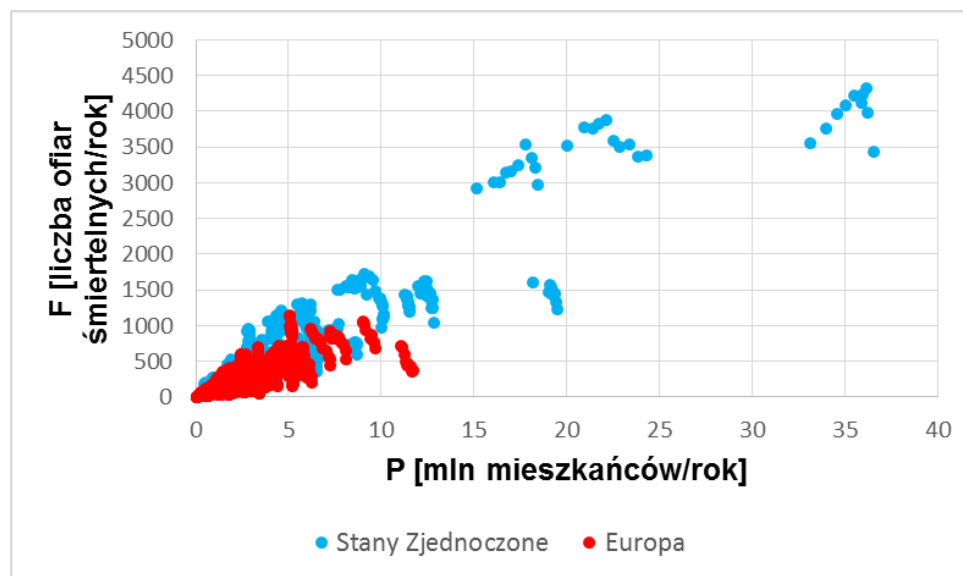
Tablica 1.1

Zestawienie przykładowych problemów wymienianych w programach poprawy brd.

Region	Grupy ryzyka	Najważniejsze okoliczności
Woj. pomorskie (Polska) [118,120]	Piesi Dzieci Młodzi kierowcy	Nadmierna prędkość Nietrzeźwi użytkownicy dróg Skrzyżowania Najechnania na drzewo Przejścia dróg tranzytowych przez małe miejscowości Przejścia dla pieszych Niebezpieczne odcinki dróg krajowych i wojewódzkich
Powiat łęborski (Polska) [89]	Piesi Dzieci Rowerzyści Młodzi kierowcy	Nadmierna prędkość Nietrzeźwi użytkownicy dróg Najechnania na drzewo Przejścia dróg tranzytowych przez małe miejscowości
Stan Texas (AP) [154]	Najmłodszy i najstarsi kierowcy Piesi Rowerzyści Motocykliści Kierowcy ciężarówek	Wypadnięcia z drogi Zderzenia czołowe Skrzyżowania Strefy remontów dróg Przejazdy kolejowe Jazda pod wpływem alkoholu Nadmierna prędkość
Hrabstwo Essex (Wlk. Brytania) [46]	Młodzi kierowcy Piesi Dzieci Rowerzyści Motocykliści	Jazda po alkoholu lub narkotykach Nadmierna prędkość i przejazdy na czerwonym świetle Niezapinanie pasów bezpieczeństwa

Przykład ze stanu Texas wskazuje, że głównym problemem tego regionu są wypadnięcia pojazdu z drogi. Prawdopodobnie związane jest to z jazdą z nadmierną prędkością oraz ze strukturą sieci drogowej: długie odcinki w terenie niezabudowanym, proste i monotonne, powodujące „usypianie” kierowców. W przypadku polskich województw pojawia się problem tranzytowych przejść przez małe i większe miejscowości, wynikający z braku dobrze rozwiniętej infrastruktury drogowej tj. obwodnic miejscowości, sieci dróg ruchu szybkiego. W niektórych województwach problem stanowią najechnania pojazdu na drzewo związane z występowaniem sieci drogowej z drzewami. W przypadku hrabstw brytyjskich pojawia się problem wjazdu pojazdów na skrzyżowanie przy czerwonym świetle.

Analizy zebranych danych o regionach pokazały, że regiony potrafią bardzo różnić się od siebie pod względem poziomu bezpieczeństwa mimo podobieństwa np. pod względem wielkości populacji danego obszaru. Przedstawione na rysunku 1.6 zależności liczby ofiar śmiertelnych (F) od liczby mieszkańców w danym regionie (P) pokazują, że wraz ze wzrostem liczby mieszkańców w danym regionie wzrasta liczba ofiar śmiertelnych (F) w wypadkach drogowych, czyli liczba mieszkańców jest podstawowym czynnikiem wpływającym na liczbę ofiar śmiertelnych w regionach administracyjnych.

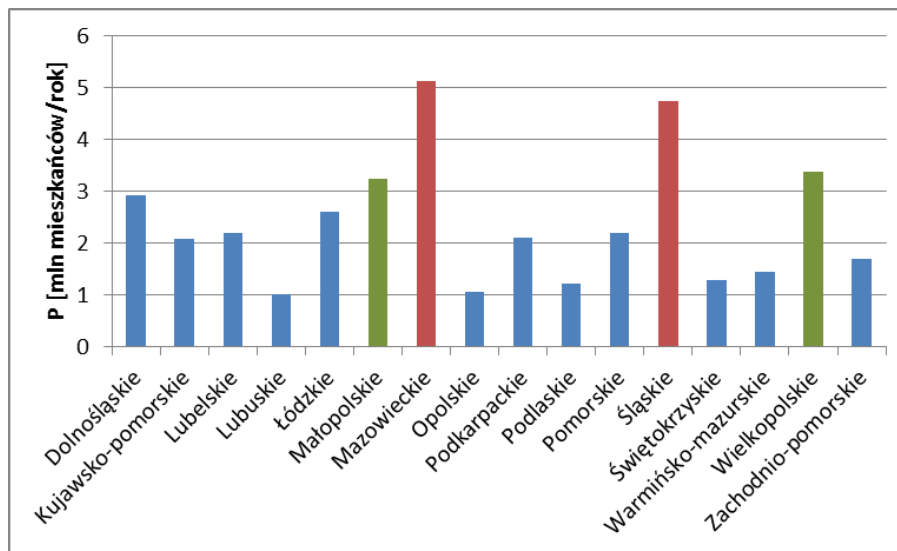


Rys. 1.6 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych od liczby mieszkańców w regionach administracyjnych AP i EU

Źródło: Opracowanie własne na podstawie dostępnych baz danych

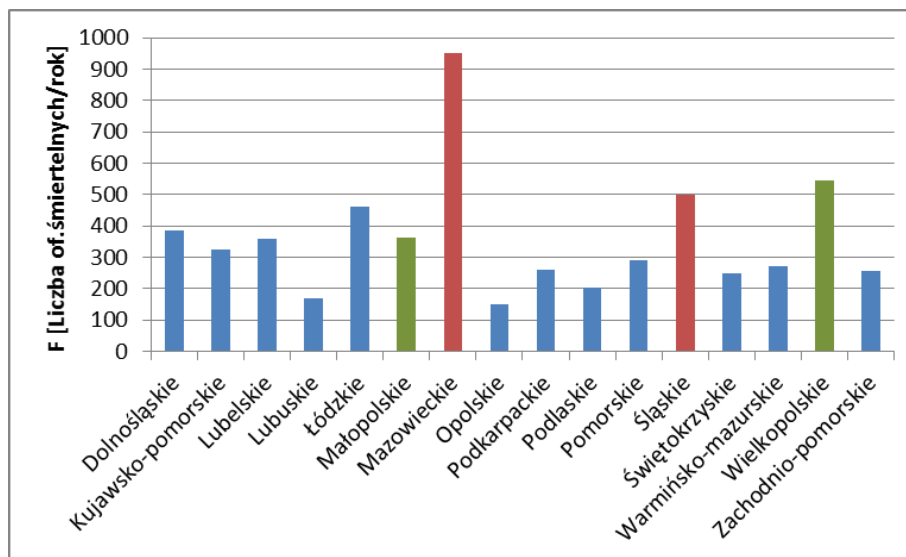
Na podstawie wstępnych analiz przeprowadzonych na bazie 10 lat funkcjonowania województw w Polsce, których wyniki przedstawiono na rys. 1. 7 – 1.9 stwierdzono, że:

- liczba mieszkańców w regionie jest głównym, ale nie jedynym czynnikiem wpływającym na liczbę ofiar śmiertelnych, co obrazuje porównanie województw o podobnej liczbie mieszkańców (np. mazowieckie i śląskie oraz małopolskie i wielkopolskie),
- liczba ofiar śmiertelnych jako miara bezwzględna nie pozwala na porównanie poziomu bezpieczeństwa między regionami,
- zastosowanie względnego wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych (RFR) w poszczególnych województwach pozwala na porównanie poziomu bezpieczeństwa między regionami administracyjnymi,
- jednoczynnikowa analiza wpływu badanych cech na poziom bezpieczeństwa ruchu jest niewystarczająca i nie może być podstawą do wyciągnięcia wniosków, bo może prowadzić do błędnych diagnoz,
- regiony o podobnych w przybliżeniu cechach posiadają najprawdopodobniej jeszcze dodatkowo zmienne różniące je i powodujące różnice w stanie bezpieczeństwa na drogach tych regionów.



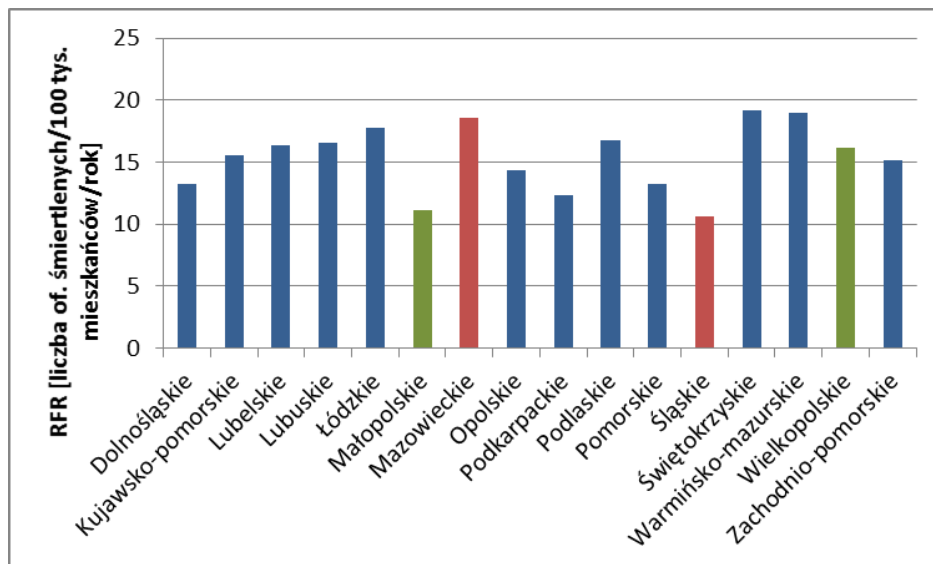
Rys. 1.7 Wykres średniej liczby mieszkańców w danym województwie.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 1.8 Wykres średniej liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w danym województwie.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 1.9 Wykres średniego względnego wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych (RFR) w danym województwie.

Źródło: Opracowanie własne

Te spostrzeżenia potwierdzają sens wcześniej postawionych pytań. Biorąc pod uwagę planowane działania w Narodowym Programie Poprawy Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego polegające na wdrażaniu także programów wojewódzkich i lokalnych [117] wiążące się z wydatkowaniem środków finansowych, należy poszukiwać metod wyboru optymalnych i racjonalnych działań strategicznych na rzecz brd.

Zgodnie z podejściem bazującym na ryzyku [6,14,60,90,164] w pierwszej kolejności konieczna jest zatem identyfikacja czynników, które mają największy wpływ na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego. Następnie konieczne jest opracowanie matematycznych modeli miar bezpieczeństwa ruchu drogowego, umożliwiających oszacowanie zmian poziomu ryzyka w zależności od zmian wielkości ruchu, poziomu rozwoju gospodarczego i społecznego danego regionu, charakterystyki infrastruktury drogowej i zagospodarowania terenu. Dopiero to pozwoli na opracowanie metod prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w regionach administracyjnych i umożliwi wybór skutecznych oraz efektywnych działań.

Przedstawione oczekiwania, potrzeby i możliwości były inspiracją oraz zachętą do zainteresowania się tematem i podjęcia prób opracowania metod prognozowania wybranych miar ryzyka w regionach administracyjnych. Potrzebę zajęcia się tymi zagadnieniami wskazywał także Jamroz w pracy [90], gdzie przedstawił kierunki dalszych prac badawczych związanych z rozwojem metod zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej, także dla obszaru województw.

1.3 Cele naukowe i praktyczne pracy

W prezentowanej pracy podjęto próbę przygotowania podstaw teoretycznych do opracowania metod prognozowania miar bezpieczeństwa ruchu drogowego jako elementu zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego na sieci dróg w regionach administracyjnych, biorąc pod uwagę następujące uwarunkowania:

- 1) przedstawione wcześniej oczekiwania i potrzeby regionalnych rad bezpieczeństwa ruchu drogowego, władz samorządowych, instytucji i organizacji społecznych w wielu regionach w kraju i zagranicą;
- 2) wyniki rozpoznania doświadczeń krajowych i zagranicznych wskazujące na braki dostępnych metod prognozowania wybranych miar ryzyka na sieci dróg w regionach administracyjnych,
- 3) rysujące się nowe możliwości prowadzenia badań, w tym dostęp do baz danych zawierających zbiory niezbędnych informacji o regionach.

Celem głównym niniejszej pracy zatem jest:

Opracowanie użytecznych modeli szacowania wybranych miar ryzyka na sieci dróg w regionach administracyjnych z wykorzystaniem metodyki opartej na zarządzaniu ryzykiem w inżynierii drogowej.

Dla potrzeb realizacji celu głównego przygotowano kilka naukowych i praktycznych celów szczegółowych pracy.

Cele naukowe:

1. Identyfikacja i selekcja najbardziej istotnych czynników wpływających na ryzyko zagrożenia wypadkami drogowymi na poziomie regionalnym.
2. Opracowanie matematycznych modeli opisujących zmianę wybranych miar ryzyka strategicznego na sieci dróg w regionach administracyjnych w zależności od najbardziej istotnych czynników społecznych, ekonomicznych, transportowych i infrastrukturalnych.
3. Określenie wielkości wpływu wybranych, najbardziej istotnych czynników na zmianę wartości miar ryzyka na sieci dróg w regionach administracyjnych.

Cele praktyczne:

1. Budowa bazy danych zawierających niezbędne dane społeczne, ekonomiczne, transportowe, infrastrukturalne o regionach. Wskazanie niezbędnego zakresu danych do prognozowania miar ryzyka i monitorowania realizacji strategicznych programów brd w regionach administracyjnych.
2. Opracowanie metody szacowania liczby ofiar śmiertelnych w regionach dla potrzeb tworzenia programów strategicznych poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego na poziomie regionalnym.
3. Aplikacja opracowanej metody do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w wybranych województwach.

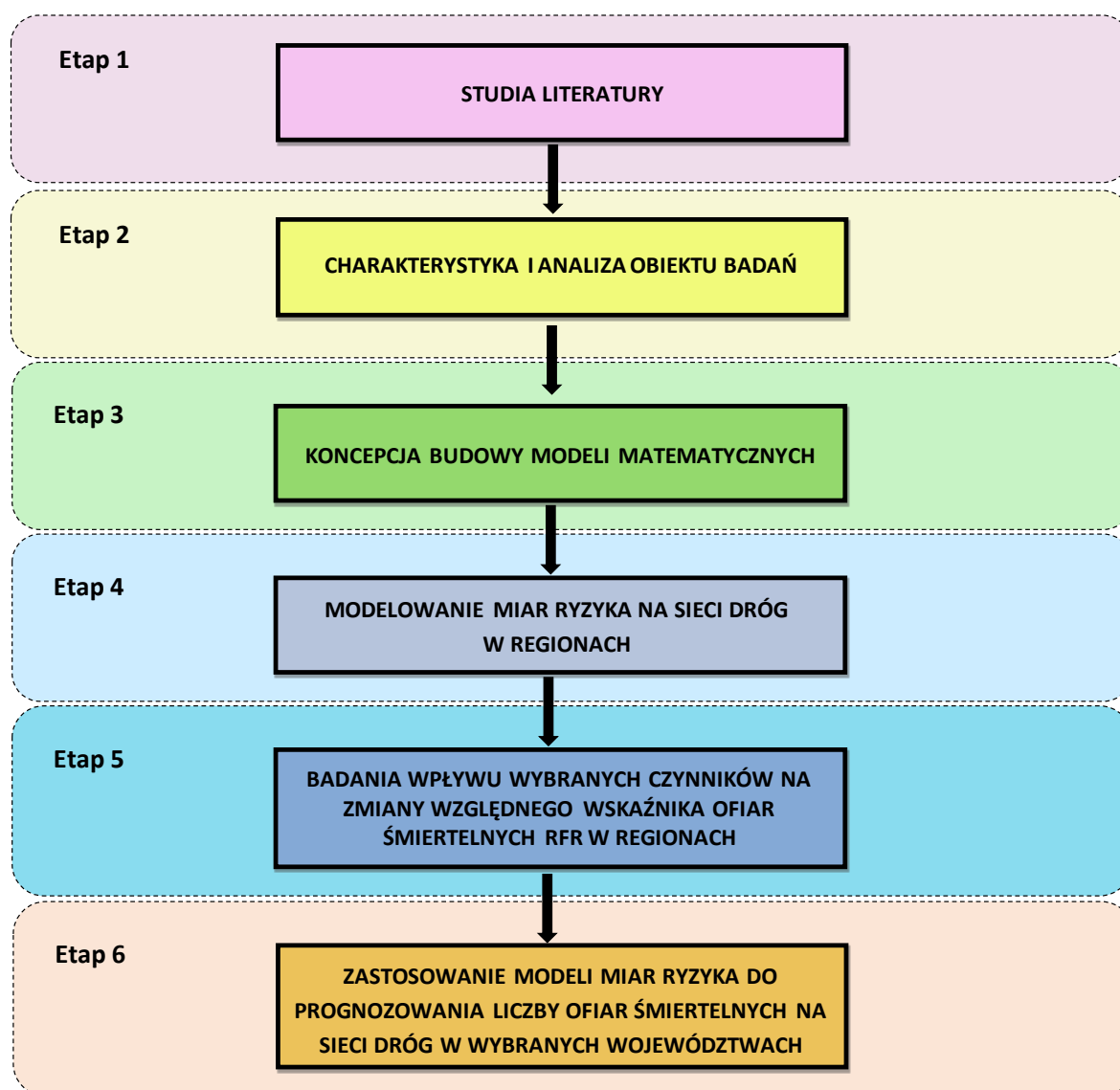
1.4 Metodyka realizacji i zakres pracy

Korzystając z definicji zawartych w słowniku języka polskiego [186] przyjęto następujące rozróżnienie pomiędzy słowami metoda, metodologia i metodyka.

Metoda jest to sposób naukowego badania rzeczy i zjawisk, ogół zasad stosowanych przy badaniu rzeczywistości; sposób rozwiązania problemu. Metodologia jest to nauka o metodach badań naukowych, o skutecznych sposobach dociekania ich wartości poznawczej; podstawy

teoretyczne opracowywanej metody. Metodyka jest to zbiór zasad dotyczących sposobów wykonania jakiejś pracy lub trybu postępowania prowadzącego do określonego celu; procedura rozwiązywania problemu z zastosowaniem różnych metod.

Metodyka postępowania prowadzącego do zrealizowania celu niniejszej pracy obejmuje pięcioetapową procedurę, której strukturę przedstawiono na rysunku 1.10. Poszczególne etapy procesu realizacji pracy obejmują: studia literatury przedmiotu, charakterystykę i analizę obiektu badań, koncepcję budowy modeli matematycznych, modelowanie miar ryzyka, badanie wpływu wybranych czynników na zmiany względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w regionach oraz zastosowanie modeli miar ryzyka do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych na sieci dróg w wybranych województwach.



Rys. 1.10 Schemat metodyki badań.

Źródło: Opracowanie własne

Etap 1 – Studia literatury. W pierwszym etapie przeprowadzono studia literatury obejmujące przegląd i analizę stanu zagadnienia. W szczególności uwagę zwrócono na zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego, przegląd matematycznych modeli stosowanych do opisu

miar ryzyka w ruchu drogowym oraz na zmienne uwzględniane w modelach prognozowania miar ryzyka w ruchu drogowym. Wyniki badań literaturowych, opisane szczegółowo w rozdziale 2, stanowiły teoretyczną podstawę do prowadzenia badań i analiz w kolejnych etapach realizacji pracy.

Etap 2 – Charakterystyka i analiza obiektu badań. Wyniki studiów literatury pozwoliły na zawężenie pola poszukiwań. W kolejnym etapie przedstawiono wyniki analizy dostępnych danych o regionach administracyjnych o wielkości zbliżonej do polskiego województwa. Ze względu na ograniczony zakres danych o polskich województwach przeprowadzono analizę danych z innych regionów o zbliżonej wielkości. Analizie poddano poszczególne stany (51 stanów w Ameryce Północnej) i 188 regionów (NUTS 2 w Unii Europejskiej) oraz województwa (16 województw w Polsce). W rezultacie pozyskano dane i zbudowano trzy niezależne bazy danych o regionach administracyjnych, zwanymi dalej: baza AP, baza EU i baza PL. Korzystając z dostępnych danych przedstawiono charakterystykę ogólną analizowanych grup regionów i stanu bezpieczeństwa ruchu w tych regionach. Wyniki przeprowadzonych analiz (przedstawione w rozdz. 3) pozwoliły na podjęcie decyzji o konieczności wykorzystania wszystkich (trzech) przygotowanych baz danych w dalszym procesie badawczym i analitycznym.

Etap 3 – Koncepcja budowy modeli matematycznych. W tym etapie, opisanym w rozdz. 4, przeprowadzono analizę zmiennych niezależnych i zależnych oraz przyjęto założenia dotyczące modeli: czego mają dotyczyć oraz jakie cechy powinny posiadać. Na tym etapie zidentyfikowano i wybrano miary ryzyka społecznego, które będą modelowane. Przeanalizowano wpływ zebranych charakterystyk na modelowaną zmienną oraz przebadano ich wzajemne współzależności by wybrać wstępnie zmienne niezależne najsilniej wpływające na modelowaną zmienną. Opracowano ogólną strukturę modelu wybranych miar ryzyka społecznego. Następnie wykonano funkcyjne analizy jednoczynnikowe dla wszystkich zebranych zmiennych niezależnych w celu wyboru najlepszej funkcji mogącej opisać badane zjawisko. Zidentyfikowano również zmienne, w skali których najlepiej ilustrować zamodelowane zależności. Na tym etapie zdefiniowano również, na czym będzie polegać walidacja, weryfikacja i kalibracja modelu.

Etap 4 – Modelowanie miar bezpieczeństwa na sieci dróg w regionach. W etapie tym stworzono modele bazowe wybranych miar bezpieczeństwa dla wszystkich trzech grup regionów. W przypadku stanów AP były to modele o dwóch strukturach: modele stworzone na bazie wszystkich danych regionalnych zebranych na potrzeby niniejszej dysertacji oraz modele hierarchiczne łączące w sobie dane krajowe oraz regionalne. Dla regionów EU zbudowano modele o trzech typach struktury. Poza modelami analogicznymi do zbudowanych dla regionów AP stworzono modele z wykorzystaniem analizy skupień oraz zbiorów rozmytych, a także opierające się na funkcji bazowej opracowanej na danych krajowych. W przypadku województw PL również stworzono modele o trzech strukturach. Przy czym poza modelami zbudowanymi na danych regionalnych z wszystkich województw podzielonymi na dwie grupy modeli, w zależności od przyjętego parametru skali oraz hierarchicznymi modelami łączącymi dane krajowe z danymi regionalnymi, opracowano modele z wykorzystaniem wyników badań pilotażowych oraz modele dla sieci dróg krajowych w poszczególnych województwach. Modele wytypowane do dalszych analiz zostały skalibrowane na uaktualnionej bazie danych. Wszystko przedstawiono w rozdziale 5.

Etap 5 – Badania wpływu poszczególnych czynników na zmiany względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w regionach. W etapie tym, opisanym w rozdziale 6, przeprowadzono analizę miary elastyczności łukowej wybranych w poprzednim etapie i skalibrowanych modeli w celu określenia, jakie zmienne w opracowanych modelach mają największy wpływ na modelowaną zmienną zależną RFR. Modele stworzone były na zbiorze województw PL. Analizy wpływu poszczególnych czynników przeprowadzono osobno dla dwóch grup modeli o strukturze RFR^B.

Etap 6 – Zastosowanie modeli miar ryzyka do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych na sieci dróg w wybranych województwach. W ostatnim etapie pracy badawczej zdecydowano się na zastosowanie wybranych modeli na wybranych województwach. Po wstępnych analizach okazało się, że modele opracowane w etapie 4 powinny być zmodyfikowane do danych konkretnego województwa, tak aby lepiej oddać dynamikę zmian w każdym województwie, która okazała się zróżnicowana. Dzięki takiemu zabiegowi, możliwe było również uwzględnienie dodatkowych zmiennych, wpływających na poziome bezpieczeństwa ruchu drogowego na sieci dróg w poszczególnych województwach. Tak skalibrowane modele następnie wykorzystano do zobrazowania założonych scenariuszy zmian zmiennych niezależnych w modelu. Dzięki temu pokazano, że można stworzyć modele matematyczne uwzględniające cechy indywidualne danego regionu (o ile są one dostępne w bazach) oraz prognozować, jakie działania mogą być najefektywniejsze w procesie zarządzania brd w danym województwie.

2 SYNTEZA STUDIÓW LITERATURY

2.1 Zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego

2.1.1 Teorie stosowane w bezpieczeństwie ruchu drogowego

Teoria to systematycznie uporządkowana wiedza wyjaśniająca daną dziedzinę rzeczywistości, pozwalająca zastosować szerokie spektrum możliwości. W bezpieczeństwie ruchu drogowego wykorzystuje się wiele grup teorii zapożyczonych z innych dyscyplin albo stworzone nowe teorie dla tej właśnie dyscypliny.[90]

Korzystając z teorii bezpieczeństwa ruchu drogowego, próbuje się wyjaśnić przyczyny powstawania wypadków, zidentyfikować czynniki powodujące wielkości strat ponoszonych w wypadkach drogowych oraz wskazywać kierunki działań mających pomóc w ich unikaniu lub redukcji. Obecnie w bezpieczeństwie ruchu drogowego wykorzystuje się cztery grupy teorii: stochastyczne, przyczynowe, systemowe oraz behawioralne. [88,90]:

W teoriach stochastycznych na początku traktowano wypadki drogowe jako zdarzenie czysto losowe, w którym człowiek jako uczestnik ruchu nie wpływa na ich pojawienie się. Po latach nastąpiła weryfikacja takiego podejścia. Stwierdzono, że przyczyną większości wypadków są błędy popełniane przez zwykłych kierowców, a do ich powstawania przyczynia się wiele czynników związanych nie tylko z kierowcą.

Założeniem teorii przyczynowych jest dokładne poznanie czynników, które spowodowały wypadek. Dzięki temu możliwe jest zapobieganie niebezpiecznym zdarzeniom na drodze. Odtworzenie łańcucha zdarzeń, opisującego cały proces powstawania wypadku pozwala na zdiagnozowanie przyczyny jego powstania [90].

Teorie systemowe rozwinęto w drugiej połowie lat sześćdziesiątych. Założono w nich, że zaprojektowany system transportowy często nie jest dostosowany do ludzkich możliwości. Jest tym samym źle zaprojektowany i może wywoływać popełnianie błędów przez kierowców, które prowadzą do wypadków drogowych. W modelach rozwijających te teorie wskazano trzy grupy elementów: człowiek, pojazd, otoczenie, które wzajemnie ze sobą wchodząc w interakcje odpowiadają za możliwość wystąpienia wypadku [44,90].

Teorie behawioralne. Przedstawione powyżej teorie w pełni nie wyjaśniały zjawiska występowania wypadków, gdyż w zbyt małym stopniu uwzględniały wpływ czynnika ludzkiego. W 1964 roku Taylor [187] zapoczątkował, a w 1980 Wilde [65,209,210] rozwinął teorię behawioralną, która uwzględniała wpływ indywidualnych zachowań użytkowników dróg i społecznych zachowań mieszkańców na bezpieczeństwo ruchu drogowego. W ujęciu indywidualnym teoria ta zakłada, że kierujący pojazdem utrzymuje pewien poziom akceptowalnego przez niego ryzyka w zamian za płynące korzyści z takiego zachowania [90]. Powyższe teorie pozwalają na zrozumienie zależności pomiędzy źródłami zagrożeń, zagrożeniem i stratami wynikającymi z wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego w ruchu drogowym. Jednak do opisu wpływu tych zależności należy wykorzystać modele zweryfikowane na podstawie eksperymentów lub innych danych rzeczywistych [90].

2.1.2 System bezpieczeństwa ruchu drogowego

System bezpieczeństwa ruchu drogowego, bazując na ogólnej definicji bezpieczeństwa systemu można zdefiniować, jako zbiór elementów:

- społecznych – człowiek, jako organizator i uczestnik ruchu;
- materialnych – infrastruktura drogowa, pojazdy, otoczenie drogi, systemy wspomagające takie jak nadzór policji czy ratownictwo;
- niematerialnych – strategie, metody, normy, procedury etc.

Funkcjonowanie systemu możliwe jest dzięki relacjom pomiędzy poszczególnymi elementami, tworzącymi strukturę systemu (instytucje i organizacje). Celem działania systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego jest utrzymanie bezpieczeństwa ruchu drogowego na najwyższym, racjonalnym poziomie. Chodzi o zmniejszenie liczby kolizji i wypadków drogowych, a także strat osobowych, materialnych, środowiskowych i ekonomicznych wynikających z zaistnienia tych zdarzeń przy możliwym do przyjęcia poziomie nakładów na bezpieczeństwo.

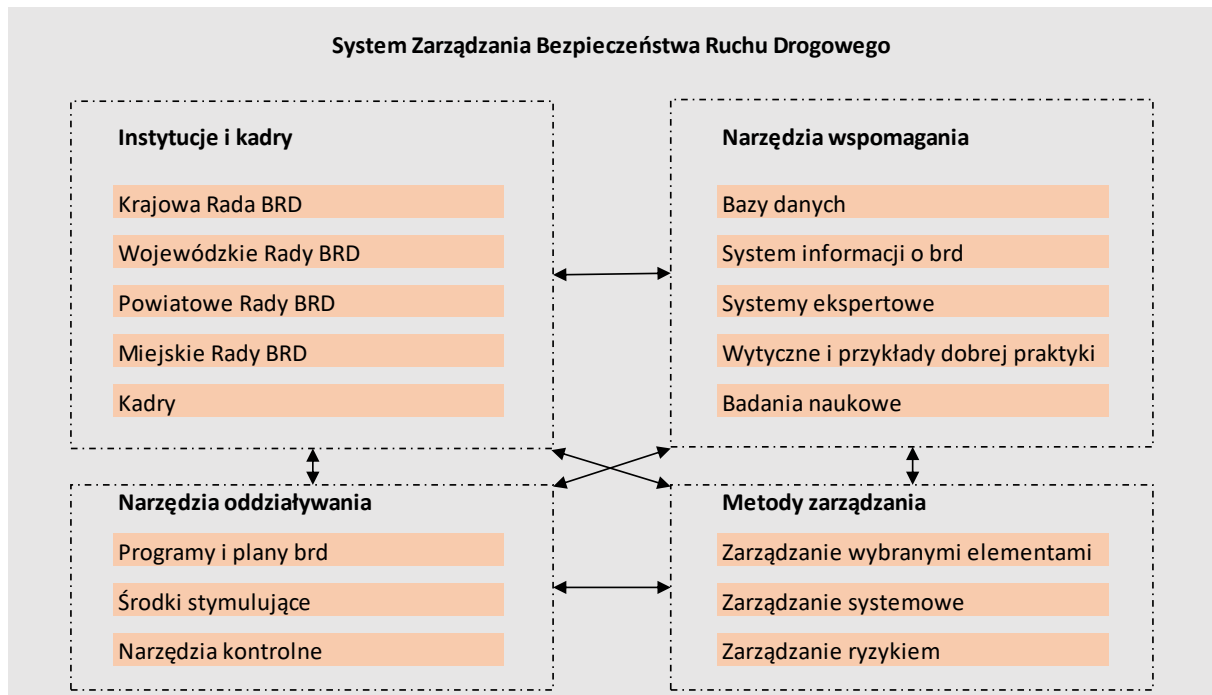
Podstawą budowy systemów bezpieczeństwa ruchu drogowego jest procesowe podejście do wypadku drogowego. Definiuje się poszczególne fazy i funkcje w procesie. Praktycznie rozwinął to Haddon [196] w swoim fazowym modelu wypadków drogowych bazującym na epidemiologicznym rozumieniu procesu wypadku drogowego. Opracowana na tej podstawie macierz Haddona uwzględnia proces powstawania wypadku (przed, w trakcie i po wypadku) oraz elementy systemu ruchu drogowego (człowiek, pojazd, droga).

Bazując na teorii Haddona [196] oraz doświadczeniach z budowy systemu bezpieczeństwa transportu w ramach projektu ZEUS [24,90] zaproponowano koncepcję systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego SBRD składającego się z:

- systemu instytucjonalnego kraju (są to organizacje decyzyjne prowadzące działania dla bezpieczeństwa ruchu drogowego);
- systemu funkcjonalnego (są to podsystemy, których celem wiodącym lub jednym z celów szczegółowych jest poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego);
- systemów profilaktyki i reagowania na potencjalne lub powstałe szkody spowodowane zdarzeniami niebezpiecznymi w ruchu drogowym;
- systemu zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego.

System zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego (SZBRD) jest narzędziem, wspierającym proces podejmowania decyzji o działaniach umożliwiających użytkownikom dróg wykonania bezpiecznych podróży, minimalizację prawdopodobieństwa zdarzeń niebezpiecznych, a tym samym konsekwencji tych zdarzeń. Ma również wspierać upowszechnianie wiedzy o bezpieczeństwie we wszystkich prowadzonych działaniach. Schemat struktury systemu zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego przedstawiono na rysunku 2.1. W SZBRD wyróżniono cztery główne elementy: instytucje i kadry, narzędzia oddziaływania, narzędzia wspomagania i metody zarządzania.

Instytucje i kadry. Zarządzanie bezpieczeństwem rozproszone jest pomiędzy wieloma organami i instytucjami. Można wyróżnić trzy poziomy zarządzania: polityczny, zarządczy i inżynierski. Na poziomie politycznym są to rady BRD na różnym poziomie administracyjnym (krajowe, wojewódzkie, lokalne). Poziom zarządczy to zarządy dróg i transportu, którym brakuje jednak sprawdzonych i ujednoczonych procedur, narzędzi i metod ułatwiających podejmowanie decyzji. Na poziomie inżynierskim zaczyna się stosować procedury i narzędzia zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej, choć jeszcze w ograniczonym zakresie.



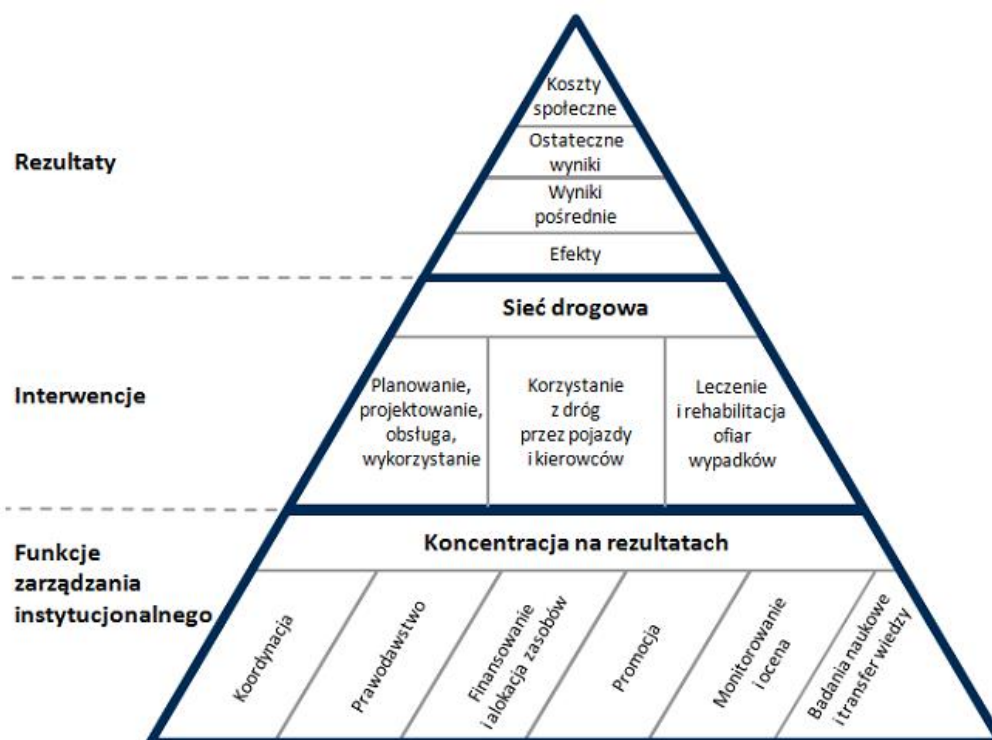
Rys. 2.1 Schemat struktury systemu zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego.
Źródło: [90]

Narzędzia oddziaływania. Podstawą procesu poprawy brd powinien być dobrze skonstruowany długofalowy program brd, rozwijający strategię bazującą na długoterminowej wizji. Aby dobrze sformułować cele, potrzebne są narzędzia prognozowania miar bezpieczeństwa i procedury oceny efektywności. Środki stymulujące to działania zachęcające do poprawy kultury bezpieczeństwa czy prowadzenie działań infrastrukturalnych i organizacyjnych na rzecz brd. Narzędzia kontrolne mają służyć do cyklicznego monitorowania brd. Są to wszelkiego rodzaju procedury kontrolne, inspekcje czy audyty brd [191].

Narzędzia wspomagające – są to narzędzia ułatwiające podejmowanie optymalnych decyzji. Składają się na nie bazy wiedzy, systemu informacji o stanie bezpieczeństwa ruchu drogowego, przykłady dobrych praktyk. Wszystko to powinno być powiązane z ciągłymi i interdyscyplinarnymi badaniami naukowymi.

Metody zarządzania. Zarządzanie wybranymi elementami systemu transportu drogowego (infrastruktura lub uczestnicy ruchu) bez powiązania ze sobą nie daje zadowalających wyników. Zarządzanie systemowe ma tę wadę, że skierowane jest na cele ogólnospołeczne i przez to zmarginalizowano role poszczególnych uczestników dróg. Natomiast zarządzanie ryzykiem to sformalizowana analiza zagrożeń i ocena ryzyka. Na tym etapie bardzo ważna jest koncepcja postępowania i wskazanie jednoznacznie odpowiedzialności poszczególnych osób za podejmowane decyzje w procesie decyzyjnym [106,112,121].

Istnieje wiele przykładów systemów zarządzania brd. Jednym z przykładowych systemów zarządzania brd jest system zalecany przez Bank Światowy i OECD, a przedstawiony na rys. 2.2.



Rys. 2.2 Zarządzanie systemowe bezpieczeństwem ruchu drogowego.
Źródło: [117,155]

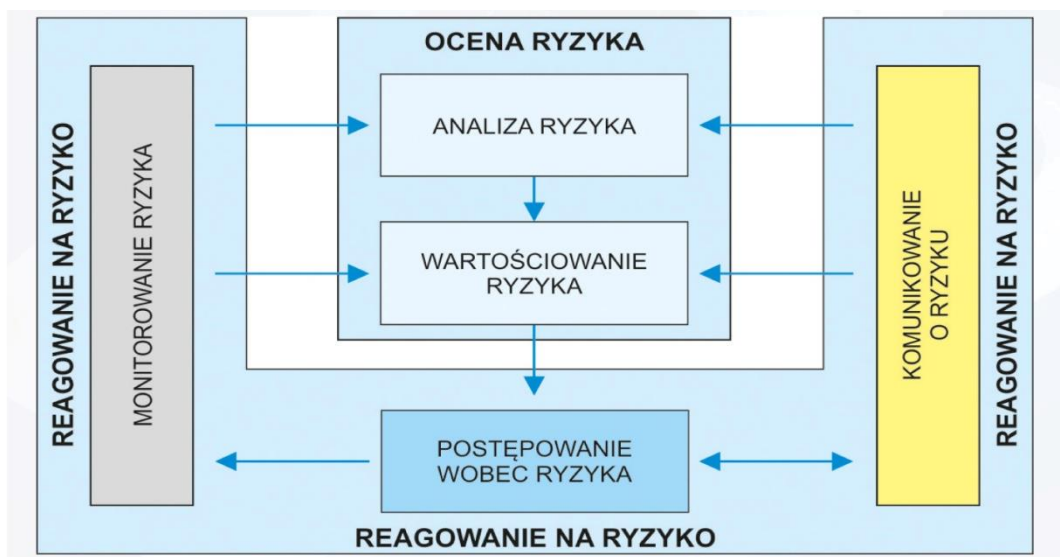
2.1.3 Zarządzanie ryzykiem w inżynierii drogowej

Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej to powtarzalne i sformalizowane postępowanie łączy w sobie ocenę ryzyka i fazę reagowania na ryzyko, występujące na sieci drogowej danego obszaru. Metoda ta stanowi narzędzie wspomagające dla osób zarządzających siecią drogową w podejmowaniu racjonalnych decyzji dotyczących bezpieczeństwa ruchu drogowego, bezpieczeństwa infrastruktury drogowej i strat ponoszonych w poszczególnych fazach życia obiektu drogowego[90]. W klasycznych metodach zarządzania ryzykiem wyróżnia się dwie podstawowe fazy:

- 1) fazę oceny ryzyka,
- 2) fazę reagowania na ryzyko.

Pierwsza w nich polega na analizie i określeniu dopuszczalnego ryzyka z uwzględnieniem przyjętych i zaakceptowanych standardów. Składają się na nią: określenie kontekstu analizy, identyfikacja źródeł zagrożeń i oszacowanie miar ryzyka. Druga faza jest bardzo istotnym etapem i składa się na nią zbiór metod, narzędzi, procedur i procesów mających służyć zmianie potencjalnego ryzyka [105]. Rozwinięciem tych faz jest pięcioetapowa procedura przedstawiona na rys. 2.3, nazwana metodą ROAD-RISK [90] składającym się z:

- 1) analizy ryzyka,
- 2) wartościowania ryzyka,
- 3) postępowania wobec ryzyka,
- 4) monitorowania ryzyka,
- 5) komunikowania o ryzyku.



Rys. 2.3 Ideowy schemat procedury zarządzania ryzykiem w metodzie ROAD-RISK.
Źródło:[90]

Identyfikacja ryzyka. W pierwszym etapie należy zidentyfikować wszystkie rodzaje zagrożeń, w tym celu wykorzystuje się wiele narzędzi takich jak: uwarunkowania prawne, listy kontrolne, wcześniejsze doświadczenie użytkowników systemu, rejestracja zdarzeń, schematy blokowe, analiza przygotowanych scenariuszy, inżynieria systemów [188].

Analiza ryzyka. W drugim etapie wykorzystuje się wszelkie dostępne informacje do oszacowania zagrożeń i poziomu ryzyka. Wykorzystanie nowoczesnych narzędzi może na tym etapie podnieść jakość prowadzonych analiz[90,188]. W analizie ryzyka potrzebne jest naukowe i analityczne podejście do zagadnienia. Dzięki naukowym analizom możliwe będzie wyłonienie czynników wpływających na poziom bezpieczeństwa np. w regionach. Konieczne jest stworzenie narzędzi w postaci modeli matematycznych uwzględniających czynniki wpływające na poziom ryzyka. Wykorzystanie takich modeli pozwoli na oszacowanie potencjalnych zysków z wprowadzanych interwencji, poprzez przeanalizowanie wybranych scenariuszy.

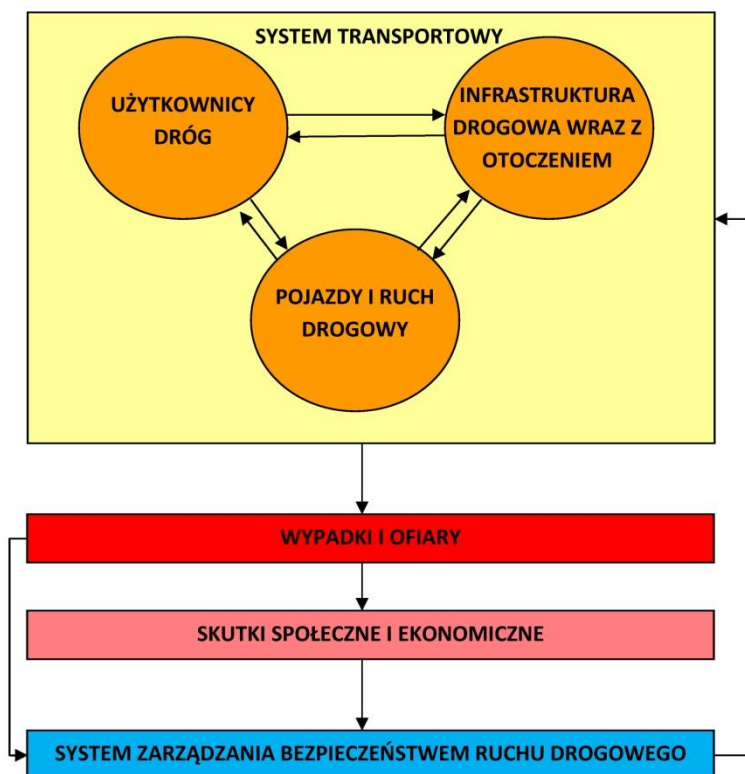
Wartościowanie ryzyka jest przypisaniem do wcześniej przyjętych klas dopuszczalności ryzyka, oszacowanego podczas prowadzonej analizy poziomu ryzyka. Bardzo ważne jest by analizy ryzyka oraz przyjęte klasy dopuszczalności były tego samego typu (jakościowe lub ilościowe). Określenie granic klas ryzyka może się odbywać np. poprzez oszacowanie ilościowych granic klas ryzyka opracowanych dla wybranej klasy lub grupy obiektów [90,188].

Reagowanie na ryzyko. Na tym etapie wybierana jest strategia reagowania na ryzyko. Dzięki przeanalizowaniu w fazie analizy ryzyka wpływu poszczególnych czynników na oceniane ryzyko, możliwa jest identyfikacja działań i interwencji, które w najskuteczniejszy, a jednocześnie optymalny sposób pomogą w osiągnięciu założonego poziomu ryzyka. Poziom reagowania na ryzyko zależy od poziomu prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego i poziomu konsekwencji (strat), jakie może spowodować aktywizacja analizowanego zdarzenia. W przypadku dużych strat i wysokiego prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia należy podjąć działanie, które będzie redukowało ryzyko do poziomu akceptowalnego, zgodnie z wcześniej przyjętymi założeniami. Na drugim końcu natomiast są zdarzenia o niskim poziomie strat i małym prawdopodobieństwie występowania, w takim

przypadku poziom ryzyka może pozostać na aktualnym poziomie i żadne akcje nie są konieczne, [90,188,189].

2.1.4 Struktura zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego w regionach

Zarządzanie brd w swojej istocie jest procesem wieloczynnikowym. Uwzględnia się strukturę systemu transportowego opierając się na trzech podstawowych, na wzajem oddziaływujących na siebie elementach: człowieku, drodze i pojeździe. Efektem wynaturzeń działania tego systemu są wypadki drogowe, które powodują straty społeczno-ekonomiczne. Aby zminimalizować te straty należy stworzyć sprawnie działający system zarządzania bezpieczeństwem na drogach. Dzięki zarządzaniu wpływamy na system transportu tworząc pewnego rodzaju zamknięte koło (rys. 2.4).



Rys. 2.4 Schemat działania wielosektorowego systemu zarządzania brd.

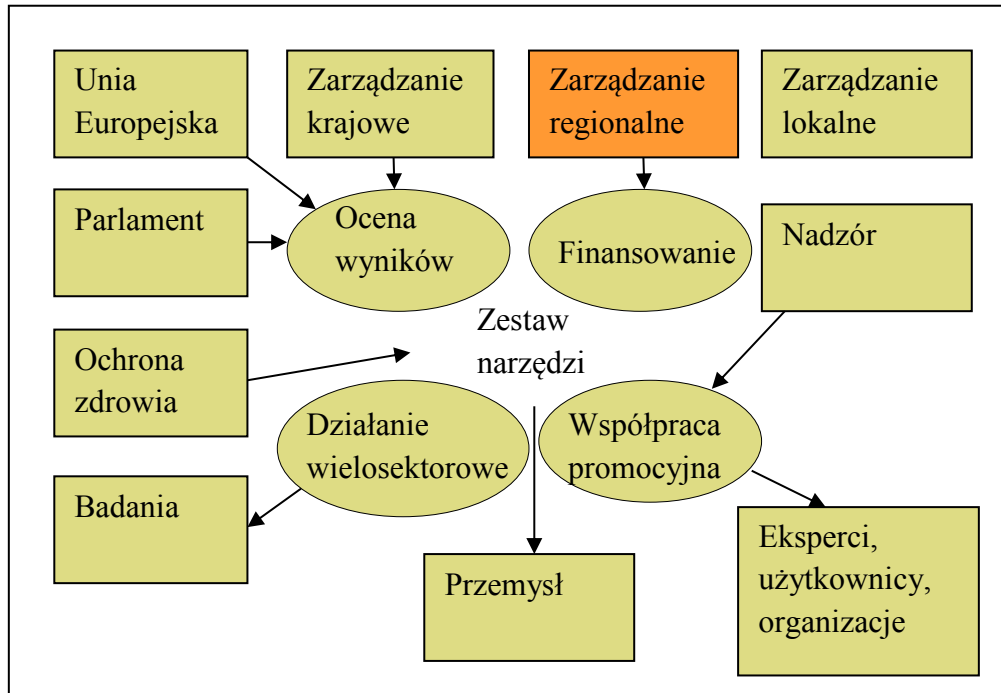
Źródło: [146]

Organizacje międzynarodowe, takie jak Światowa Organizacja Zdrowia [146], Bank Światowy [17] OECD [238] i ECMT [223] przyznają, że kluczem do osiągnięcia lepszych wyników bezpieczeństwa na drodze jest bardziej efektywne zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego. Istnieje potrzeba systematycznej identyfikacji głównych czynników ryzyka i przyjęcia sprawdzonych środków poprawy. Przy czym ważne jest połączenie:

- systemowego wprowadzania udowodnionych co do skuteczności środków poprawy z wykorzystaniem długookresowych wizji, strategii i celów uwzględniających ludzkie ograniczenia,
- dzielenie odpowiedzialności za realizację i znalezienie nowych możliwości dla zwiększenia bezpieczeństwa drogowego poprzez koordynację wielu sektorów

oraz synergii ze środowiskiem i polityką zdrowia publicznego za pomocą nowych mechanizmów realizacji w celu uzupełnienia istniejących narzędzi.

Zarządzanie brd w regionach jest znaczącym elementem na drodze do osiągnięcia tego celu. Przedstawiono to również w dokumentach Unii Europejskiej [240], a schemat pokazano na rys. 2.5.



Rys. 2.5 Schemat systemu zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego z uwzględnieniem regionów zaproponowany przez UE.

Źródło: [240]

Przez ostatnie 30 lat w krajach rozwiniętych panował trend zarządzania brd na poziomie lokalnym i podejmowaniu decyzji w ramach polityki regionalnej. Niektóre kraje takie jak Belgia czy Niemcy mają długoletnią tradycję w działaniach na poziomie regionalnym.

W Holandii rządowi przyświeca motto „decentralizować wszystko, co możliwe i centralizacja tylko w razie konieczności”. Zarządzanie bezpieczeństwem drogowym zdecentralizowano w roku 1994, jednocześnie zmieniając mechanizmy finansowania. Odpowiedzialność leży po stronie struktur regionalnych. To one decydują o finansowaniu i wprowadzaniu pewnych działań. Instytucje centralne odpowiedzialne są natomiast za drogi krajowe, tworzenie podstaw prawnych, informację publiczną oraz wspieranie struktur lokalnych wiedzą i środkami finansowymi. Ponadto założono, że każdy z regionów powinien posiadać Regionalny Zarząd Bezpieczeństwa koordynujący działania na tym poziomie. Zarząd taki łączy ze sobą lokalnych polityków, autorytety, policję, regionalny oddział Ministerstwa Transportu oraz Ministerstwa Sprawiedliwości. W skład wchodzi przedstawiciele sektora prywatnego, partycypującego we wdrażanych projektach poprawy brd [113].

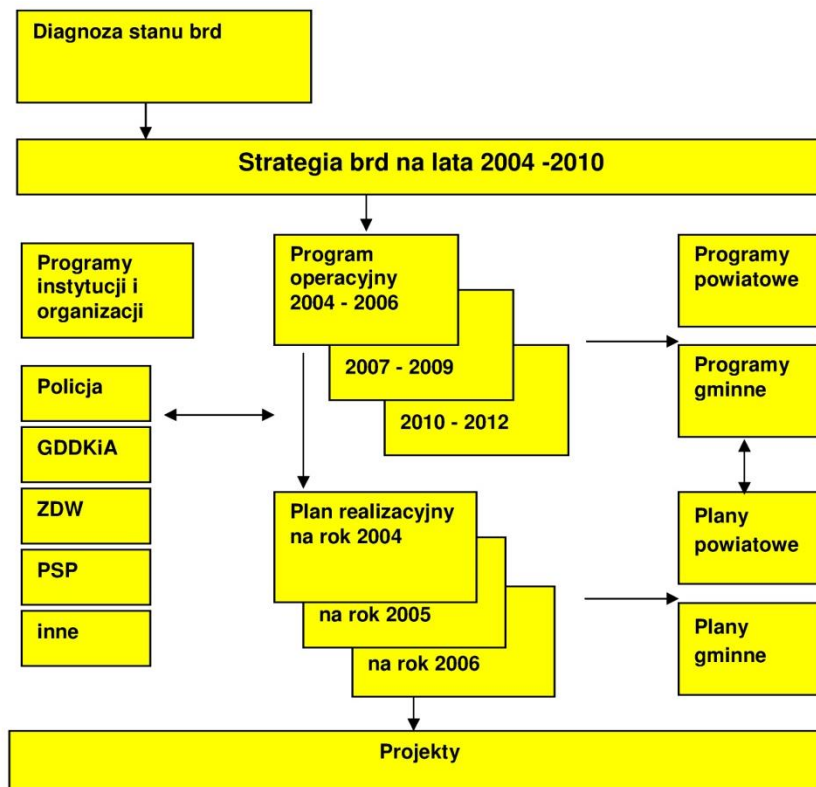
W przypadku Polski zgodnie z ustawą o „Prawo o ruchu drogowym” z 2002 roku województwa stworzyły Wojewódzkie Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego WRBRD. Uchwalona w 2005 roku ustawa o zmianie niektórych ustaw w związku ze zmianami w podziale zadań i kompetencji administracji terenowej, wprowadziła kolejne reformy w ustawie „Prawo

o ruchu drogowym”. Zgodnie z tymi zmianami od 2006 roku zmodyfikowano dotychczasowe kompetencje wojewody dotyczące Wojewódzkiej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego. Wojewoda przestał być przewodniczącym tej rady, a funkcję tę przejął marszałek województwa. WRBRD koordynuje i wskazuje kierunki działań administracji publicznej w sprawach brd.

Do obowiązków WRBRD między innymi należy: opracowywanie regionalnych programów brd, opiniowanie projektów aktów prawa miejscowego w zakresie brd, współpraca z organizacjami społecznymi i instytucjami pozarządowymi, działalność edukacyjno-informacyjna, analiza i ocena podejmowanych działań. W praktyce WRBRD nie dysponuje własnymi środkami finansowymi na te działania, ale pozyskuje je poprzez Wojewódzkie Ośrodki Ruchu Drogowego, stąd skuteczność działań jest ograniczona.

Można postawić tezę, że obecnie brak jest narzędzi do analizowania podejmowanych działań oraz narzędzi do prognozowania jak przewidywane lub zakładane zmiany przełożą się na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w danym województwie. W struktury zarządzania brd zaangażowanych jest bardzo dużo instytucji, ale widać wyraźnie w przestudiowanych programach poprawy brd, że bardzo potrzebne jest naukowe podejście do zagadnienia, aby wspomóc zarządzających. Dzięki analizom czynnikowym oraz modelom możliwe byłoby celniejsze kierowanie środków na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego. Prawdopodobnie są województwa, które np. z uwagi na stosunkowo duży ruch tranzytowy mogłyby dość szybko zredukować liczbę ofiar śmiertelnych na drogach poprzez budowę tras szybkiego ruchu z wyeliminowanym ruchem niechronionych użytkowników dróg. Inne województwa powinny natomiast położyć nacisk na budowę ciągów pieszo-rowerowych wzdłuż dróg, bo piesi poruszają się dalej w wielu miejscach po jezdni stwarzając zagrożenie dla siebie samych i pojazdów. Oba te czynniki mają najprawdopodobniej wpływ, we wszystkich województwach, ale może nie jest to wpływ tak samo duży. Dzięki naukowemu podejściu można by zweryfikować, na które działania położyć nacisk i gdzie kierować środki w pierwszej kolejności.

Obecnie wdrażane programy brd na poziomie regionalnym i lokalnym mają względnie dopracowane cztery z wymienionych powyżej pięciu punktów jednak najsłabszym ogniwem powyższego procesu zarządzania okazuje się dobór narzędzi i metod mogących wspomóc efektywniejsze zarządzanie. Przykład procedury zarządzania brd na poziomie województwa można zobrazować schematem przedstawionym na rys. 2.6. Narzędziami realizacji założonej Strategii są wieloletnie programy operacyjne i roczne programy realizacyjne.



Rys. 2.6 Narzędzia realizacji strategii.

Źródło:[120]

Na podstawie analizy dostępnych regionalnych programów bezpieczeństwa ruchu drogowego [22,81,83–86] wynika, że brakuje analiz czynnikowych i prognoz liczby ofiar śmiertelnych bazujących na modelach matematycznych. Zakłada się wdrażanie pewnych działań przy założeniu ich efektywności bez wykonania modeli matematycznych uwzględniających czynniki, na które chce się wpływać. Przez to autorzy programów bardzo często nie wiedzą jakie mogą być efekty zalecanych interwencji. Prognozują, że takie czy inne działania w znaczący sposób poprawią poziom brd. Gdy po latach następuje weryfikacja stanu zaistniałego i prognoz, często okazuje się, że przewidywania się nie sprawdziły. Dlatego konieczne jest opracowanie naukowego narzędzia wspomagania zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego.

2.2 Przegląd i analiza modeli matematycznych miar bezpieczeństwa

2.2.1 Klasyfikacja modeli

Studia literatury pozwoliły na identyfikację zbioru modeli wykorzystywanych do szacowania wybranych miar bezpieczeństwa i przyjmowanych także jako miary ryzyka takich jak: liczba wypadków, ofiar śmiertelnych i ofiar rannych, wskaźniki względne wypadków i ofiar wypadków.

Modele matematyczne miar brd podzielono ze względu na trzy kryteria [60,71,116,130,206]:

- 1) liczba zastosowanych zmiennych niezależnych w modelu: jednowymiarowe lub wielowymiarowe,

- 2) użyte narzędzia matematyczne do budowy modelu:
 - modele regresyjne (liniowe, nieliniowe, szeregi czasowe),
 - modele probabilistyczne (np. metody Bayesowskie, modele logitowe, modele logistyczne),
 - ekonometryczne,
 - strukturalne (iloczynowe, wielopoziomowe),
 - bazujące na ryzyku (np. modele DRAG),
- 3) celu zastosowania modelu na: modele opisowe, i prognostyczne.

Modele jednowymiarowe to modele zawierające jedną zmienną niezależną, natomiast modele wielowymiarowe to modele składające się z co najmniej dwóch zmiennych niezależnych.

Narzędzia matematyczne różnią się zastosowanym aparatem matematycznym zastosowanym do budowy modeli. Ze względu na ich znaczenie w niniejszej pracy szczegółowo opisano te modele w kolejnych podrozdziałach. Matematyczne modele brd stosuje się w co najmniej dwóch przypadkach, tj. do opisu (aproxymacji) wyników badań lub danych istniejących oraz do prognozowania zmian miar brd w okresie krótko lub długoterminowym z uwzględnieniem zmiany czynników uwzględnionych w modelu [206].

2.2.2 Modele regresyjne

Z analizy wielu raportów z badań wynika, że najczęściej stosowanym modelem opisującym rozkład miar bezpieczeństwa jest **model Poissona**, przy czym najchętniej do modelowania przyjmuje się model uogólniony z tej rodziny [129,150,151,175,213].

W modelu regresji Poissona zakłada się, że zmienna licznikowa ma rozkład Poissona [66]. Funkcja rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej licznikowej o rozkładzie Poissona ma postać:

$$P(Y = y_i) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^{y_i}}{y_i!}, \quad \lambda > 0, \quad y_i = 0, 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

gdzie:

λ – wartość oczekiwana rozkładu, ponadto:

$$E(y) = Var(y) = \lambda \quad (2.2)$$

Model regresji Poissona zakłada, że wartość zmiennej objaśnianej dla każdej obserwacji y_i pochodzi z innego rozkładu Poissona, tym samym charakteryzuje się różnymi parametrami λ_i . Wobec tego przyjmuje się, że y_i ma warunkowy rozkład Poissona, warunkowy względem wektora charakterystyk x_i o wartości oczekiwanej i wariancji równych:

$$E(y_i | x_i) = Var(y_i | x_i) = \lambda_i \quad (2.3)$$

Parametr λ_i , opisujący warunkowy rozkład powinien być funkcją wektora x_i , o wartościach nieujemnych. Wobec czego przyjmuje postać funkcji wykładniczej:

$$\lambda_i = e^{x_i' \beta} \quad (2.4)$$

Podstawą tak zwanej regresji poissonowskiej, czyli modelu Poissona jest formuła:

$$\ln E(y_i | x_i) = \ln \lambda_i = x_i' \beta \quad (2.5)$$

Parametry modelu Poissona szacowane są metodą największej wiarygodności.

Obliczone parametry modelu można interpretować przy pomocy średnich efektów krańcowych. Krańcowy efekt zmiennej x_i obliczamy jako:

$$\frac{\partial E(y_i|x_i)}{\partial x_{il}} = e^{x_i' \beta_l} \quad (2.6)$$

Wzrost x_l o jednostkę równa się zmianie warunkowej wartości oczekiwanej o $e^{x_i' \beta_l}$, a w przypadku regresji wielorakiej byłoby to β_l . Efekt krańcowy zależy od wartości x_i , dlatego zazwyczaj podaje się średni efekt krańcowy. Ponadto interpretuje się relatywną zmianę warunkowej wartości oczekiwanej zmiennej y_i związaną z małą zmianą jednej ze zmiennych objaśniających.

$$\frac{\frac{\partial E(y_i|x_i)}{\partial x_{il}}}{E(y_i|x_i)} = \frac{e^{x_i' \beta_l}}{e^{x_i' \beta}} = \beta_l \quad (2.7)$$

Parametr β_l można interpretować następująco: wzrost wartości zmiennej x_l o jedną jednostkę powoduje wzrost wartości oczekiwanej y (zakładając pozostałe zmienne objaśniające niezmiennione) o $100\beta_l\%$. Jeśli zlogarytmujemy zmienną x_{il} , to β_l jest elastycznością. W takim przypadku wzrost x_{il} o 1% pociąga za sobą wzrost zmiennej objaśnianej o około $\beta_l\%$. Relatywna zmiana $E(y_i|x_i)$ związana jest z dyskretną zmianą zmiennej x_{il} o Δx_{il} i zapisuje się ją równaniem:

$$\frac{E(y_i|x_i + \Delta x_{il}) - E(y_i|x_i)}{E(y_i|x_i)} = \frac{e^{x_i' \beta + \Delta x_{il} \beta_l} - e^{x_i' \beta}}{e^{x_i' \beta}} = e^{\Delta x_{il} \beta_l} - 1 \quad (2.8)$$

Uogólnieniem regresji Poissona jest **model dwumianowy ujemny**. Stosuje się go, gdy wariancja zmiennej licznikowej jest większa niż jej wartość oczekiwana (overdispersion). W takim wypadku nie można całkowicie wyjaśnić zmienności y_i . Nie można również dokładnie oszacować wpływu zmiennych x_i na parametr λ . Występuje wtedy „nadmierne rozproszenie” czyli heteroskedastyczność. W takiej sytuacji część zmienności Y oznaczono jako ϵ_i , zwane nieobserwowaną heterogenicznością, a gęstość prawdopodobieństwa rozkładu dwumianowego ujemnego może być przedstawiona jako:

$$Pr(n_i/\mu_i, k) = \frac{\Gamma\left(n_i + \frac{1}{k}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{k}\right) \Gamma(n_i + 1)} \left(\frac{k\mu_i}{1 + k\mu_i}\right)^{n_i} \left(\frac{1}{1 + k\mu_i}\right)^{1/k} \quad (2.9)$$

gdzie:

$k (\geq 0)$ - nadmiarowość, gdy $k=0$ model przekształca się w klasyczny model Poissona.

W pracy Law z zespołem [129] zmodyfikował model dwumianowy ujemny poprzez zastosowanie funkcji Kuznetza i otrzymano wzór o postaci:

$$\ln(\lambda_{it}) = \alpha_i + \ln(pop_{it}) + \beta_1 Time + \beta_2 \ln(GDP_{it}) + \beta_3 (\ln(GDP_{it}))^2 + \beta_4 I_{it} + \beta_5 M_{it} + \beta_6 X_{it} + \epsilon_{it} \quad (2.10)$$

gdzie:

λ_{it} - przewidywana liczba zabitych w wypadkach drogowych w i -tym kraju, w okresie t ,

GDP - dochód w tys. dolarów na osobę (w dolarach ustalonych na rok 2000),

pop - populacja [tys. osób],

I_{it} - zmienne instytucjonalne,
 M_{it} - zmienna opisująca opiekę medyczną,
 X_{it} - inne zmienne kontrolne ,
 α_{it} - stała charakteryzująca i-ty kraj w t okresie,
 $Time$ – zmienna uwzględniająca czas,
 ε_{it} – błąd.

Model ten opracowano do szacowania liczby ofiar śmiertelnych na obszarze kraju. Autor wykazał, że funkcje opisujące zależność mają inny przebieg dla krajów wysoko i nisko rozwiniętych. W przypadku obu grup krajów, w redukcji liczby ofiar śmiertelnych na drogach, miały udział: zmniejszenie poziomu korupcji i polepszenie opieki zdrowotnej.

Model uogólnionej regresji liniowej oraz modele regresji nieliniowej. Wielowymiarowy model regresji jest zdefiniowany następująco [185]:

$$y_i = g(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}) + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.11)$$

gdzie:

y_i - i-ta wartość zmiennej objaśnianej (zależnej),

x_{ij} - i-ta wartość j-tej zmiennej objaśniającej (niezależnej; $j=1,2,\dots,k$),

ε_i - i-ta reszta (błąd) modelu (różnica między oszacowaną empiryczną wartością y_i),

n - liczba obserwacji,

k - liczba zmiennych objaśniających (jeżeli w modelu występuje wyraz wolny to pozwalająca oszacować odpowiedni parametr kolumna jedynek jest traktowana jako dodatkowa, $k + 1$ -sza zmienna).

Postać funkcji g określa typ modelu. W większości omawianych tu przypadków będzie to funkcja liniowa. Model ma wtedy następującą postać:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i = \mathbf{X}_i \mathbf{a}' + \varepsilon_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (2.12)$$

gdzie:

ε_i - błędy losowe o takim samym rozkładzie, mającym wartość średnią 0 i nieznaną wariancję σ^2 ,

β_0, \dots, β_k - nieznane parametry.

Alternatywna definicja modelu regresji jest następująca:

$$g(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}) = E[\mathbf{Y}|\mathbf{X} = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik})] \quad (2.13)$$

Funkcja regresji g oznacza w tym przypadku warunkową wartość oczekiwaną zmiennej objaśnianej, pod warunkiem, że zmienne objaśniające przyjęły wartości określone przez (k-wymiarowy) wektor \mathbf{X}^1 . Aby modele zapisane za pomocą równań (2.11) i (2.13) były równoważne, musi być spełniony warunek:

$$E(\varepsilon|\mathbf{X}) = 0^2 \quad (2.14)$$

tzn. wartość oczekiwana reszty modelu dla dowolnego wektora zmiennych objaśniających \mathbf{X} wynosi 0. Charakter zależności między warunkową wartością oczekiwaną Y i zmienną X przesądzający o wyborze funkcji g jest (tak jak każdy model) przyjętym założeniem na temat rzeczywistości. Może ono być zatem spełnione lub nie (dokładnie nie jest spełnione praktycznie nigdy). O tym czy przyjęcie danej postaci jest słuszne można się przekonać m. in. analizując

rozkład reszt modelu $\varepsilon=(\varepsilon_1,\dots,\varepsilon_n)$. Występowanie w modelu reszt czyli różnic między teoretyczną i empiryczną wartością modelu jest wynikiem m. in. faktu, iż na wartości Y mają wpływ nie tylko zmienne zawarte w wektorze \mathbf{X} . Znaczenie (często niedoceniane, zwłaszcza w badaniach o charakterze aplikacyjnym) analizy reszt modelu wynika m. in. z następujących przesłanek:

- optymalną metodę szacowania parametrów modelu można wybrać jedynie po weryfikacji założeń odnośnie rozkładu reszt,
- oszacowanie „teoretycznych wartości” zmiennej objaśnianej oraz parametrów modelu zawiera błędy losowe, które można ocenić jedynie za pomocą analizy reszt,
- jedynie za pomocą oceny rozkładu reszt można stwierdzić czy przyjęcie określonej postaci modelu jest uzasadnione.

Znajomość rozkładu reszt jest zatem konieczna zarówno na etapie modelowania jak i weryfikacji. Zakłada się, że wartość oczekiwana reszt wynosi zero oraz są one niezależne od wartości zmiennych objaśniających. Możemy zapisać to równaniem:

$$E(\boldsymbol{\varepsilon}|\mathbf{X}) = E(\boldsymbol{\varepsilon}) = 0 \quad (2.15)$$

Dodatkowo reszty nie mogą być ze sobą skorelowane (brak autokorelacji) a ich warunkowa wariancja jest równa stałej σ^2 niezależnie od wartości X (homoskedastyczność reszt). Zapisujemy to równaniem:

$$E(\boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}'|\mathbf{X}) = \sigma^2\mathbf{I} \quad (2.16)$$

Gdzie \mathbf{I} to macierz diagonalna z wartościami 1 na przekątnej. Jednocześnie kolejny warunek zakłada normalny rozkład reszt, z wartością oczekiwaną równą 0 a wariancją równą σ^2 . Zapisujemy to równaniem:

$$(\boldsymbol{\varepsilon}|\mathbf{X}): N(0, \sigma\mathbf{I}) \quad (2.17)$$

Parametry modelu estymowane mogą być metodą najmniejszych kwadratów lub metodą największej wiarygodności. Ponieważ modele opracowywane na potrzeby niniejszej dysertacji powstawały przy pomocy programu STATISTICA, a program ten bazuje na **metodzie najmniejszych kwadratów**, poniżej opisano tę właśnie metodę.

Założmy, że badane zjawisko jest opisane za pomocą modelu parametrycznego(tj. rozkładu lub rodziny rozkładów prawdopodobieństwa identyfikowanych przez wartości parametrów). Wartości otrzymane z modelu (tzw. wartości teoretyczne) oznaczamy przez $\hat{y}(\theta_1,\dots,\theta_n)$, gdzie n jest liczbą nieznanych parametrów. Niech y_1,\dots,y_n oznaczają zaobserwowane realizacje zjawiska. Metoda najmniejszych kwadratów polega na wyznaczeniu parametrów θ_1,\dots,θ_n , które minimalizują błąd dopasowania modelu do obserwacji y_1,\dots,y_n . Błąd można definiować na wiele sposobów np.: jako sumę wartości bezwzględnych czy sumę kwadratów różnic:

$$\mu = \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i(\theta_1, \dots, \theta_n)|, \quad \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i(\theta_1, \dots, \theta_n))^2 \quad (2.18)$$

Jeszcze łatwiej wyznaczyć minimalny błąd, gdyż pochodna funkcji kwadratowej istnieje dla każdego argumentu. Przy takim założeniu metoda najmniejszych kwadratów polega na wyznaczeniu θ_1,\dots,θ_n spełniających minimum:

$$\min_{\theta_1, \dots, \theta_n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i(\theta_1, \dots, \theta_n))^2 \quad (2.19)$$

Warto podkreślić, iż estymatory uzyskane metodą najmniejszych kwadratów w wielu zastosowaniach praktycznych są estymatorami nieobciążonymi i zgodnymi [116].

W niektórych opracowaniach dotyczących bezpieczeństwa regionalnego, gdzie badacze chcieli uwzględnić wiele czynników wpływających na brd autorzy tworzyli modele regresji liniowej. [39,45,193]. Na przykład Young i Likens [39] analizowali dane z 9 lat, z 48 stanów USA. Były to dane o regulacjach prawnych dotyczących zapinania pasów bezpieczeństwa, sprzedaży alkoholu, dochodu mieszkańców danego regionu oraz bezrobocia, przedstawili model liniowy opisany równaniem (2.20):

$$y_{it} = x_{it}\beta + w_{it} \quad (2.20)$$

gdzie:

t - rok z którego pochodzą dane,

y_{it} – wskaźnik liczby ofiar śmiertelnych,

x_{it} – wektor zmiennych niezależnych,

β – wektor obliczanych współczynników,

w_{it} – niezaobserwowane zaburzenie reprezentujące czynniki niepomierzone, a mogące wpływać na liczbę ofiar śmiertelnych.

Podobną metodologię zastosował Traynor [193], który opracował model (2.21) bazując na danych z 88 hrabstw stanu Ohio.

$$\begin{aligned} FR_i = & \alpha + \beta_1 INCOME_i + \beta_2 LPOP DEN_i + \beta_3 HIGHWAY_i \\ & + \beta_4 INCOME HIGHWAY_i + \beta_5 RURALISTATE + \beta_6 ALCDEATH_i \\ & + \beta_7 TEEN + \beta_8 COLLEGE + \beta_9 AMISH + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (2.21)$$

gdzie:

FR - wskaźnik ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w stosunku do pracy przewozowej [ofiary śmiertelne./tys. poj. milę],

$INCOME$ - dochód na osobę [tys. dolarów],

$LPOP DEN$ - logarytm naturalny z gęstości zaludnienia na jednostkę powierzchni [tys. osób/milę kwadratową],

$HIGHWAY$ – udział procentowy pracy przewozowej wykonywanej na autostradach [%],

$INCOME HIGHWAY$ -zmienna będąca funkcją $INCOME$ i $HIGHWAY$,

$RURALISTATE$ - zmienna oznaczająca zwiększony ruch tranzytowy,

$ALCDEATH$ - liczba zgonów po alkoholu w przeliczeniu na 100 tys. mieszkańców,

$TEEN$ - procent kierowców poniżej 20 roku życia [%],

$COLLEGE$ - zmienna jakościowa określająca hrabstwa z liczbą ponad 10 tys. studentów,

$AMISH$ - zmienna dodatkowa dla jednego ze hrabstw z dużą liczbą Amiszów.

W Belgii [36] opracowano model ryzyka przy pomocy funkcji log-liniowej (wzór 2.22). Podobne podejście takie zastosował dużo wcześniej w badaniach demograficznych Murphy [118].

$$h_i(t) = h_0(t) \exp(\sum_k \beta_k X_{ik}) \quad (2.22)$$

gdzie:

$h_0(t)$ - podstawowa funkcja ryzyka,

$\exp(\sum_k \beta_k X_{ik})$ - czynnik, przez który podstawowa funkcja musi być pomnożona by uzyskać względne ryzyko obszaru i o charakterystyce X_k .

Do szacowania miar brd w Polsce stosuje się modele liniowe i nieliniowe. Gaca w rozprawie habilitacyjnej [56] opracował modele prognozowania liczby wypadków w zależności od prędkości na przejściach przez małe miejscowości (przykład pokazany równaniem 2.23).

$$\begin{aligned} \ln(LW) = & 0,000073 \cdot Q + 0,283 \cdot L_p + 0,128 \cdot B_j + 0,202 \cdot KL_A \\ & - 0,0977 \cdot KL_B - 0,104 \cdot KL_C + 0,474 \end{aligned} \quad (2.23)$$

gdzie:

Q – średnioroczne dobowe natężenie ruchu [poj./ rok],

L_p – długość przejazdu przez miejscowość [km],

B_j – szerokość jezdni [m],

KL_A, KL_B, KL_C -symbol klasy przekroju, zmienna przyjmuje wartość 1, jeśli przekrój kwalifikowany jest do danej klasy lub 0, gdy opisywany jest przez inną klasę.

Kieć w pracy doktorskiej [111] opracował modele szacujące wpływ dostępności do dróg na poziom zagrożenia. Przykład modelu szacowania liczby wypadków na drodze krajowej, przechodzącej przez miejscowość przedstawia równanie (2.24):

$$\begin{aligned} A = & AADT^{0,659} \cdot L^{1,102} \cdot \exp(-4,9221 + 0,066 \cdot G_{sk} + 0,078 \cdot G_{pp} \\ & + 0,012 \cdot CH_I + 0,095 \cdot PU + 0,174 \cdot PN - 0,269 \cdot CH) \end{aligned} \quad (2.24)$$

gdzie:

G_{sk} – wskaźnik gęstości skrzyżowań [liczba skrzyż./km],

G_{pp} – wskaźnik przejść dla pieszych [liczba przejść/km],

CH_I – wskaźnik charakteru zabudowy dla budynków „innych” [%],

PU – droga jednojezdniowa dwupasowa szerokości ok. 7m, przekroju z pobocznymi utwardzonymi,

PN – droga jednojezdniowa dwupasowa szerokości ok. 7 m, przekroju z pobocznymi gruntowymi,

CH – wskaźnik charakteru zabudowy.

Zielenkiewicz w pracy doktorskiej [214] zaprezentował modele szacowania liczby wypadków na drogach krajowych i wojewódzkich w województwie małopolskim ze szczególnym uwzględnieniem wpływu nocnych ograniczeń widoczności na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Przykład modelu dla dróg krajowych w okresie nocy na obszarze zabudowanym i niezabudowanym przedstawia równanie (2.25):

$$\begin{aligned} A_{-alzm} = & AADT^{0,128} \cdot L^{0,890} \cdot \exp(0,107 \cdot CH - 0,130 \cdot G + 0,020 \cdot B \\ & + 0,003 \cdot K) \end{aligned} \quad (2.25)$$

gdzie:

A_{-alzm} – liczba wypadków z pominięciem wypadków związanych z alkoholem, zmęczeniem lub zaśnięciem,

G – występowanie pobocza gruntowego,

B – występowanie pobocza bitumicznego,

CH – występowanie przekroju z chodnikiem,

K – występowanie przekroju z krawężnikiem.

Budzyński w pracy doktorskiej [21] budował modele umożliwiające szacowanie wpływu elementów infrastruktury na liczbę wypadków, ofiar śmiertelnych i wskaźniki wypadków na wybranych drogach krajowych i wojewódzkich. Przykład modelu do szacowania liczby ofiar śmiertelnych przedstawia równanie (2.26):

$$Z = 2,71 \cdot 0,003 \cdot PP \cdot \exp(-0,027 \cdot TZ\% + 1,04 \cdot P + 0,015 \cdot DZ\% + 0,02 \cdot SK - 0,1 \cdot L + 0,385 \cdot L/km) \quad (2.26)$$

gdzie:

Z – liczba ofiar śmiertelnych,

PP – praca przewozowa [poj km/rok],

$TZ\%$ – udział procentowy odcinków z terenem zabudowanym [%],

P – występowanie poboczy,

$DZ\%$ – udział odcinków z drzewami blisko krawędzi jezdni [%],

SK – liczba skrzyżowań (liczba),

L – liczba łuków (liczba),

L/km – liczba łuków na km [liczba łuków/km].

Bebyn w pracy doktorskiej [8] zbudował modele komórkowe dla szacowania występowania różnego rodzaju zdarzeń na skrzyżowaniach w zależności od wybranych parametrów. Przykład takiego modelu dla tylnych ekwiwalentnych zderzeń pojazdów na wlocie podporządkowanym przedstawiono w równaniu (2.27):

$$ZTXA = (-5,253) + 0,00005 \cdot V_{SR}^3 + 0,09408 \cdot R_P - 0,203 \cdot U_{PCW} + 0,00015 \cdot Q_K + 0,00185 \cdot Q_L + 1,0637 \cdot L_{PKT} + 0,00247 \cdot R_L + 0,00093 \cdot Q_W - 0,26337 \cdot W_{PK} \quad (2.27)$$

gdzie:

$ZTXA$ – tylne ekwiwalentne zderzenia pojazdów na wlocie podporządkowanym [liczba],

V_{SR} – prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie [km/h],

R_P – promień skrętu w prawo [m],

U_{PCW} – udział pojazdów ciężkich na wlocie [%],

Q_K – natężenie ruchu pojazdów kolizyjnych [poj./h],

Q_P – natężenie ruchu pojazdów na wlocie w prawo [poj/h],

Q_L – natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo [poj./h],

L_{PKT} – liczba punktów kolizji z tramwajem,

R_L – promień skrętu w lewo [m],

Q_W – natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost [poj./h],

W_{PK} - szerokość powierzchni kolizji od strony relacji podporządkowanej [m],

Kustra w pracy doktorskiej [124] zbudował modele dla występowania wypadków i ofiar na odcinkach dróg w zależności od różnych parametrów dla długich odcinków dróg. Przykład takiego modelu dla gęstości wypadków w roku na odcinku drogi przedstawiono w równaniu (2.28):

$$DA = 0,160 \cdot T \cdot AADT^{0,822} \cdot \exp(-0,412 \cdot PHV + 0,125 \cdot PBA - 0,21 \cdot PWS - 1,177 \cdot PAL + 0,054 \cdot DIT + 0,431 \cdot (DIS_N + DIS_R) - 0,211 \cdot T + 0,575 \cdot RLA) \quad (2.28)$$

gdzie:

DA - gęstość wypadków w roku i [liczba wypadków/km],

T – klasa, przekrój drogi [-],

PHV – udział pojazdów ciężarowych [%],

PWS - udział odcinków z szerokim poboczem bitumicznym $\geq 2m$ [%],

PAL - udział odcinków z dodatkowym pasem ruchu na wprost [%]

PBA - udział odcinków zabudowanych [%],

DIT - gęstość węzłów [liczba/km],

DIS_N – gęstość skrzyżowań z drogami krajowymi [liczba/km],

DIS_R – gęstość skrzyżowań z drogami wojewódzkimi [liczba/km],

RLA - lokalizacja drogi [-].

Jamroz w rozprawie habilitacyjnej [90] zbudował modele liczby ofiar rannych, śmiertelnych i kosztów wypadków drogowych w zależności od zbioru innych miar narażenia i miar źródeł zagrożeń i interwencji dla potrzeb zarządzania strategicznego na poziomie krajowym. Przykład takiego modelu dla ofiarochłonności demograficznej śmiertelnych w kraju przedstawiono w równaniu (2.29):

$$ODZ = 5,925 \cdot JPSN^{0,524} \cdot \exp(-0,070 \cdot JPSN + 0,081 \cdot SDPM) \quad (2.29)$$

gdzie:

ODZ - ofiarochłonność demograficzna śmiertelnych [of. śmiertelne /mln mk.],

$JPSN$ – jednostkowy parytet siły nabywczej ludności (jednostkowy produkt narodowy brutto) analizowanego kraju [mld ID/mk/rok],

$SDPM$ – średnia droga przebyta przez pojazdy, w przeliczeniu na mieszkańca w analizowanym kraju [km/mk/rok].

2.2.3 Modele probabilistyczne

Bayesowski model statystyczny charakteryzowany jest przez gęstość łącznego rozkładu prawdopodobieństwa wektora obserwowanego, wektora prognozowanego oraz wektora parametrów [170]. Zapis analityczny tego modelu dla zmiennych ciągłych jest następujący (wzór 2.30):

$$p(y, y_f, \theta) = p(y_f / y, \theta) p(y / \theta) p(\theta) \quad (2.30)$$

gdzie:

y – wektor obserwacji;

θ – wektor parametrów;

$p(\theta)$ –wstępna (niezależna od obserwacji) wiedza badacza o parametrze θ , wyrażona za pomocą rozkładu a priori o gęstości $p(\theta)$;

$p(y/\theta)$ –funkcja wiarygodności określająca stopień przekonania, dotyczący przyjmowanych przez badane zjawisko wartości względem hipotetycznych wartości parametru θ ;

$p(\theta/y)$ –wiedza badacza o parametrze θ oparta na całej dostępnej informacji (na podstawie próby i wiedzy wstępnej), wyrażona w postaci gęstości rozkładu a posteriori.

Estymacja parametrów modelu polega na wyznaczeniu na podstawie wektora obserwacji i wektora parametrów warunkowej gęstości parametrów, przy danym wektorze y , czyli gęstości rozkładu a posteriori. Wnioskowanie bayesowskie opiera się na twierdzeniu Bayesa (opisanym równaniem 2.31):

$$p(\theta / y) = \frac{p(y / \theta) p(\theta)}{\int p(y / \theta) p(\theta) d\theta} \quad (2.31)$$

gdzie:

$p(y) = \int p(\theta) p(y / \theta) d\theta$ - gęstość brzegowego rozkładu wektora X

Prognozowanie jest wyznaczeniem z łącznej gęstości $p(y, y_f, \theta)$ gęstości rozkładu warunkowego dla wektora prognozowanego, przy zaobserwowanym wektorze y ; jest to tzw. gęstość rozkładu predyktywnego:

$$p(y_f / y) = \frac{p(y, y_f)}{p(y)} = \frac{\int_{\theta} p(y, y_f, \theta) d\theta}{p(y)} = \int_{\theta} p(y_f / y, \theta) \frac{p(y, \theta)}{p(y)} d\theta = \int_{\theta} p(y_f / y, \theta) p(\theta / y) d\theta \quad (2.32)$$

Uzyskany rozkład a posteriori $p(\theta/y)$ i rozkład predyktywny $p(y_f, y)$ reprezentuje całą dostępną wiedzę o szacowanych wielkościach parametrów θ i wektorze y_f w następstwie wektora y . W stosowaniu metod bayesowskich podstawowymi problemami, z którymi należy się uporać, są problemy natury numerycznej. Wyznaczenie podstawowych charakterystyk rozkładów a posteriorii predyktywnego wymaga obliczenia całek wielokrotnych. Oznacza to, że w przypadku wielowymiarowych przestrzeni parametrów i zmiennych ukrytych, które są przedmiotem wnioskowania, jedynymi dostępnymi metodami obliczeniowymi są symulacyjne metody Monte Carlo. W procesie symulacyjnym wykorzystywane są różne metody, np. Gibbsa, Metropolisa i Hastingsa czy algorytm eliminacji. Metody Bayesowskie często wykorzystywane były do wizualizacji poziomu ryzyka na drogach w poszczególnych regionach [41–43,134,135,224]. Założenie badaczy opierało się na wspomnianej powyżej teorii, że wybrany wskaźnik zabitych na drogach można modelować przy pomocy modelu Poissona. Jednak poszerzono to podejście o przestrzenną zmienność ryzyka względnego. Eksler [41] zastosował pełen chwilowo-przestrzenny model Bayesa. Model ten pozwolił obliczyć podstawowy rozkład zdarzeń drogowych w regionach NUTS 3 w wybranych krajach.

Autor uzyskał przez to wygładzoną reprezentację rozkładu liczby zabitych w wypadkach na obszarze całego kraju. Model miał postać (opisaną równaniem 2.33):

$$\log(\theta_{ij}^v) = \alpha + \beta \cdot X_{ij} + v_i + (\varphi + \delta_i)t_j \quad (2.33)$$

gdzie:

θ_{ij}^v - wskaźnik liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w i-tym regionie, w j-tym roku,

α - stały okres,

X_{ij} - zmienna towarzysząca dla regionu i w roku j,

β - współczynnik regresji,

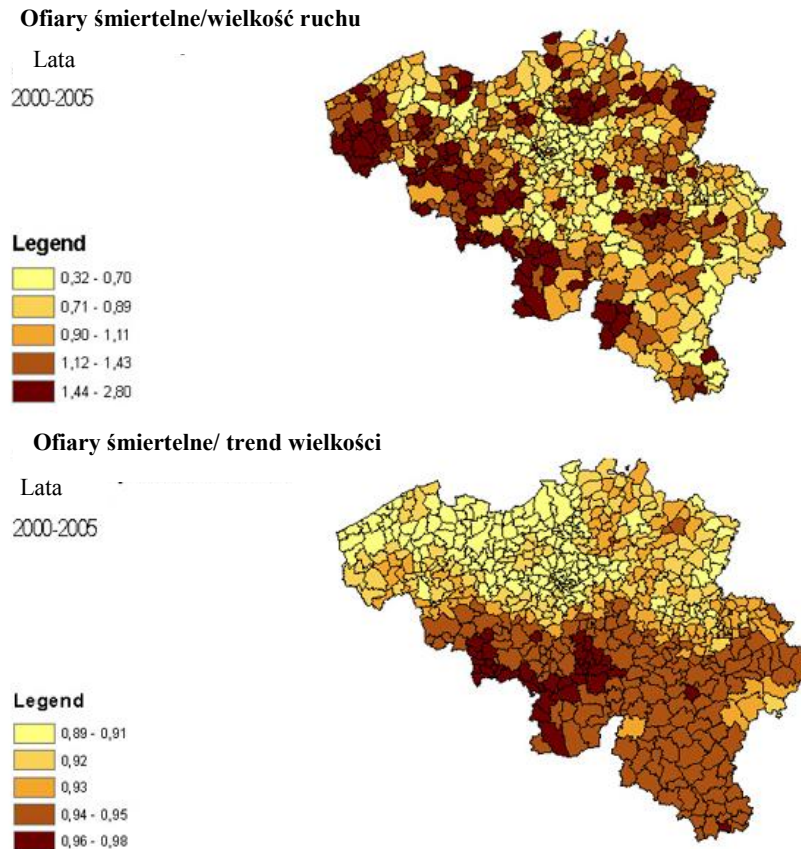
v_i - heterogeniczność punktu przejścia/przecięcia (składająca się z V_i chaotycznej heterogeniczności i U_i heterogeniczności przestrzennej),

φ - średni czasowy trend liniowy dla wszystkich regionów,

t_j - rok,

δ_i - przestrzenna heterogeniczność trendu czasowego.

Takie podejście umożliwiło oszacowanie liczby ofiar śmiertelnych w zależności od wielkości pracy przewozowej w regionie. Na rysunku 2.7 przedstawiono mapę obrazującą wskaźnik liczby ofiar śmiertelnych obliczony w stosunku do istniejącego ruchu oraz względny wskaźnik liczony w stosunku do ruchu. Rysunek ten w obrazowy sposób potwierdza potrzebę głębszego analizowania danych o wypadkach i ofiarach niż tylko na poziomie krajowym. Autor stosując pewien rodzaj standaryzacji zmiennej zależnej uchwycił, że generalnie Belgia podzielona jest na dwie strefy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Część północna kraju jest generalnie bezpieczniejsza niż część południowa. Taka analiza może być pierwszym krokiem do zbudowania modeli zależności analizowanej zmiennej zależnej od czynników istotnych na danym obszarze kraju czy w poszczególnych gminach (w tym przypadku). Modele te z kolei mogą być pomocnym narzędziem do zarządzania brd w wybranych obszarach.



Rys. 2.7 Strukturalna część względnego ryzyka Bayesa oraz względny trend oszacowany dla Belgijskich gmin.

Źródło: [41]

Dwumianowy model regresji logistycznej (model logitowy) wykorzystywany jest do objaśniania dychotomicznej zmiennej jakościowej Y w zależności od poziomu zmiennych egzogenicznych X_1, X_2, \dots, X_k (jakościowych bądź ilościowych). Zmienna objaśniana reprezentowana jest zwykle przez zmienną zero-jedynkową [75]:

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{zdarzenie wystąpiło} \\ 0 & \text{zdarzenie nie wystąpiło} \end{cases}$$

Model logitowy jest szczególnym przypadkiem modelu liniowego [142]:

$$g(\mu) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (2.34)$$

gdzie:

β_0, \dots, β_k - współczynniki regresji

g - funkcja wiążąca określająca związek średniej wartości zmiennej objaśnianej μ z liniową kombinacją predyktorów.

W modelu logitowym $\mu = p = P(Y = 1 | X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_k = x_k)$, a funkcja wiążąca nazywana logitem ma postać:

$$g(p) = \text{logit}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) \quad (2.35)$$

Podsumowując, model logitowy można zapisać w następujący sposób (2.36):

$$p = P(Y = 1 | X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_k = x_k) = \frac{\exp(\beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i)}{1 + \exp(\beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i)} \quad (2.36)$$

Powyższy sposób modelowania zastosował między innymi Sánchez-Mangas z zespołem [166], badający wpływ wpływu szybkości działań służb medycznych na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w Hiszpanii.

Kolejnym modelem spotykanym w literaturze jest **model logistyczny**. Ogólna postać regresji logistycznej jest następująca [49,63,73,152] (2.37):

$$Y \sim B(1, p),$$
$$p = E(Y|X) = \frac{\exp(\beta X)}{1 + \exp(\beta X)} \quad (2.37)$$

gdzie $B(1, p)$ jest rozkładem dwumianowym z prawdopodobieństwem sukcesu równym p

Ostatnia równość zakłada wybór kanonicznej funkcji łączącej - logitu. Modelowanie p za pomocą logitu umożliwia wygodną interpretację wyników regresji logistycznej w terminach szans, które są funkcją prawdopodobieństwa. Zamiast wyliczania klasycznego prawdopodobieństwa, czyli stosunku liczby sukcesów do liczby wszystkich prób, wyliczamy stosunek prawdopodobieństwa sukcesu do prawdopodobieństwa porażki. Niech o oznacza szansę oraz p prawdopodobieństwo sukcesu. Wtedy:

$$o = \frac{p}{1 - p} \quad (2.38)$$

$$p = \frac{o}{1 + o} \quad (2.39)$$

Jeżeli prawdopodobieństwo zdarzenia mieści się w przedziale $p \in (0, 1)$, to szansa przyjmuje wartości z zakresu $(0, \infty)$, a jej logarytm wartości z przedziału $(-\infty, \infty)$. W modelu regresji logistycznej dla jednej zmiennej objaśniającej X_1 szansa wynosi:

$$\frac{P(X)}{1 - P(X)} = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1) \quad (2.40)$$

Po zlogarytmowaniu otrzymujemy:

$$\log \frac{P(X)}{1 - P(X)} = \beta_0 + \beta_1 X_1 \quad (2.41)$$

Jak widać logarytm ten jest liniowo zależny od zmiennej objaśniającej X_1 . Przekształcając równanie otrzymujemy współczynnik e^{β_1} , będący relatywną zmianą możliwości wystąpienia zdarzenia pod wpływem czynnika X_1 . Współczynnik ten oznacza:

- gdy $e^{\beta_1} > 1$, to czynnik jest skorelowany dodatnio z badanym zjawiskiem,
- gdy $e^{\beta_1} < 1$, to czynnik jest skorelowany ujemnie z badanym zjawiskiem,
- gdy $e^{\beta_1} = 1$, to czynnik nie ma wpływu na badane zjawisko.

Iloraz szans stosuje się w przypadku porównywania dwóch klas obserwacji. Jest to iloraz szans, że dane zdarzenie zajdzie w pierwszej grupie elementów oraz, że zajdzie ono również w drugiej. Opisane jest wzorem:

$$OR = \frac{p_1}{1 - p_1} \frac{1 - p_2}{p_2} = \frac{p_1(1 - p_2)}{p_2(1 - p_1)} \quad (2.42)$$

gdzie:

p_i - prawdopodobieństwo zdarzenia w i -tej klasie obserwacji

Interpretacja wygląda następująco:

- jeżeli $OR > 1$, to w pierwszej grupie zajście zdarzenia jest bardziej prawdopodobne
- jeżeli $OR < 1$, to w drugiej grupie zajście zdarzenia jest bardziej prawdopodobne
- jeżeli $OR = 1$, to w obu klasach obserwacji zdarzenie jest tak samo prawdopodobne

Model regresji logistycznej nie wymaga niektórych założeń koniecznych dla regresji liniowej. Wektor zmiennych objaśniających i reszty nie muszą mieć rozkładu normalnego, dopuszczalna jest heteroskedastyczność. Jednak konieczne jest spełnienie kilku innych warunków:

- zależność między logarytmem szans a wektorem zmiennych objaśniających musi być liniowa,
- zmienna objaśniana musi być binarna, gdzie poziom zakodowany jako "1" reprezentuje pożądany wynik (sukces),
- obserwacje muszą być niezależne – korzystamy z tego wyprowadzając postać funkcji wiarygodności,
- model musi być dobrze dopasowany, to znaczy zawierać tylko te zmienne objaśniające, które mają wpływ na zmienną objaśnianą, oraz nie pomijać żadnej takiej zmiennej,
- w danych nie może występować silna współliniowość – jest ona źródłem problemów numerycznych.

Modele takie zastosowano m.in. w opracowaniu Jones'a [104] w badaniu danych o wypadkach z ciężko rannymi i zabitymi w Wielkiej Brytanii, gdzie badano wpływ dostępności do ratownictwa medycznego w przypadku wystąpienia wypadku na to czy ofiara będzie ciężko ranna, ale przeżyje (pierwsza grupa), czy też poszkodowany zginie (grupa druga). Oczywiście brano pod uwagę prawdopodobieństwa wynikające dodatkowo z wieku ofiary, czy był to pieszy, czy był to karambol czy pojedynczy wypadek. Rozróżniano statystyki ofiar na drogach o różnych prędkościach. Modele regresji logistycznej zastosowała również Nowakowska [152,153] w celu poszukiwania związków między cechami drogi a zagrożeniami w ruchu drogowym. Wykorzystali także Olszewski i Zielińska w opisie poziomu bezpieczeństwa pieszych [158,159].

2.2.4 Modele ekonometryczne

Modele ekonometryczne, wywodzące się z nauk ekonomicznych, są coraz częściej stosowane w wielu dziedzinach nauki w tym w transporcie i inżynierii drogowej [123]. Przykładem może być model opracowany przez Kopits i Crooper [114] zaczerpnięty z ekologii. Został stworzony na bazie danych z 88 krajów, z lat 1963-1999 i uwzględniał liczbę zabitych w wypadkach drogowych, liczbę mieszkańców, liczbę pojazdów, produkt narodowy brutto.

Model ekonometryczny miał postać:

$$\ln\left(\frac{F}{P}\right)_{it} = a_i + G(t) + F[\ln(Y_{it})] + \varepsilon_{it} \quad (2.43)$$

gdzie:

F - liczba zabitych,

P - liczba mieszkańców,

a_i - stała charakteryzująca kraj,

$G(t)$, $F[\ln(Y_{it})]$ - funkcje

Y_{it} - rzeczywisty, jednostkowy dochód narodowy w kraju i , w roku t ,

ε_{it} - błąd prognozy.

2.2.5 Modele strukturalne

Model strukturalny wywodzi się z modeli ekonometrycznych, jednak przez to, że posiada poziomy, odnosi się do struktury analizowanego systemu. Na przykład bardzo rozpowszechniony model DRAG [33,60], to model trzypoziomowy, zawierający w sobie strukturę transportową danego kraju. Poziom pierwszy, to reprezentant popytu (zapotrzebowania) na transport. Poziom drugi reprezentuje procedury realizacji zapotrzebowania, a trzeci realizację zapotrzebowania. Procedura obliczania liczby ofiar wypadków drogowych, w odniesieniu do całego systemu transportu jest również trójpoziomowa:

$$VI \leftarrow \begin{bmatrix} DR \leftarrow [X_1] \\ AC \leftarrow [X_2] \\ GR \leftarrow [X_3] \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

$$VI = DR \cdot AC \cdot GR \quad (2.45)$$

gdzie:

VI - liczba zabitych w wypadkach drogowych,

DR - zapotrzebowanie na transport drogowy (odpowiednik narażenia na ryzyko),

AC - częstość wystąpienia wypadku,

GR - ciężkość wypadku,

X_1, X_2, X_3 - zmienne wpływające na poszczególne składniki modelu.

Metodę tę zastosował Hermans z zespołem [72] z włączeniem dodatkowego wpływu interwencji (działań mających poprawić stan brd) na stan systemu z użyciem filtru Kalmana. W Polsce model ten próbowała zastosować Żukowska [219].

Kolejnym sposobem modelowania bezpieczeństwa ruchu drogowego jest zastosowanie **szeregów czasowych**. W procesie przewidywania liczą się dwa elementy: przetworzenie informacji o przeszłości oraz przejście od informacji przetworzonej do prognozy. W przypadku prognozowania na podstawie szeregu czasowego przetworzenie informacji o przeszłości następuje przez budowę odpowiedniego modelu formalnego. Przejście od informacji przetworzonej do prognozy przez wybór reguły prognozowania, którą jest najczęściej reguła podstawowa bądź reguła podstawowa z poprawką [225].

Modelem szeregu czasowego służącym do określenia przyszłej wartości zmiennej prognozowanej Y w momencie lub okresie prognozowanym t , tj. y_t^* , jest model formalny, którego zmiennymi objaśniającymi mogą być tylko zmienna czasowa oraz przeszłe wartości prognozy zmiennej Y . Prognoza zmiennej Y jest wartością funkcji zależnej od czasu t , przeszłych wartości i (lub) prognoz tej zmiennej:

$$y_t^* = f(t, y_{t-1}, \dots, y_{t-p}, y_{t-1}^*, \dots, y_{t-p}^*, \xi_t) \quad (2.46)$$

gdzie:

$y_t^*, y_{t-1}^*, \dots, y_{t-p}^*$ - prognozy zmiennej Y wyznaczone na moment lub okres $t, t-1, \dots, t-p$,
 y_{t-1}, \dots, y_{t-p} - zaobserwowane wartości zmiennej Y w momencie lub okresie $t, t-1, \dots, t-p$,
 t - zmienna czasowa,
 p - wielkość opóźnienia,
 ξ -składnik losowy.

Podczas tworzenia modelu można przeprowadzić dekompozycje szeregu czasowego. Wtedy w zależności od przyjętych założeń co do wpływu poszczególnych składowych szeregu czasowego na prognozowaną zmienną oraz wzajemnych relacji tych składowych, konstruowany model może mieć różną postać. Na ogół przyjmuje się addytywną lub multiplikatywną postać modelu. W modelu addytywnym zakłada się, że obserwowane wartości zmiennej prognozowanej są sumą (wszystkich lub niektórych) składowych szeregu czasowego. Jeśli jedyną zmienną objaśniającą modelu jest zmienna czasowa, to postać modelu może wyglądać następująco:

$$y_t = f(t) + g(t) + h(t) + \xi_t \quad (2.47)$$

lub:

$$y_t = const + g(t) + h(t) + \xi_t \quad (2.48)$$

gdzie:

$f(t)$ - funkcja czasu, charakteryzująca tendencję rozwojową, nazywana funkcją trendu,
 $g(t)$ - funkcja czasu, charakteryzująca wahania sezonowe,
 $h(t)$ - funkcja czasu, charakteryzująca wahania cykliczne,
 ξ_t -zmienna losowa (składnik losowy),
 $const$ - stały (średni) poziom prognozowanej zmiennej.

Przy założeniu niezależności poszczególnych składowych szeregu, każda ze składowych jest wyrażona w tych samych jednostkach miary co zmienna prognozowana. W procesie dekompozycji wahania okresowe (cykliczne i sezonowe) oraz przypadkowe są wyrażane jako odchylenia od tendencji rozwojowej lub od stałego (średniego) poziomu zmiennej prognozowanej. Drugi rodzaj modelu to model multiplikatywny, gdzie obserwowane wartości zmiennej prognozowanej są iloczynem składowych szeregu czasowego. Jeśli jedyną zmienną objaśniającą modelu jest zmienna czasowa, to postać modelu może być następująca:

$$y_t = f(t)g(t)h(t)\xi_t \quad (2.49)$$

lub

$$y_t = \text{const } g(t)h(t)\xi_t \quad (2.50)$$

Model multiplikatywny jest często używanym modelem w dekompozycji szeregów czasowych. W modelu tylko jedna ze składowych, na ogół tendencja rozwojowa model (2.49) lub stały (średni) poziom prognozowanej zmiennej model (2.50) są wyrażane w jednostkach zmiennej prognozowanej. Pozostałe składowe szeregu są w procesie dekompozycji opisywane jako względne odchylenia bądź od tendencji rozwojowej, bądź od stałego (średniego) poziomu zmiennej.

Spotyka się również modele postaci mieszanej np.:

$$y_t = f(t) + g(t) + h(t)\xi_t \quad (2.51)$$

$$y_t = f(t) + g(t) + h(t)\xi_t \quad (2.52)$$

$$y_t = f(t)g(t)\xi_t + h(t) \quad (2.53)$$

$$y_t = f(t)h(t) + g(t)\xi_t \quad (2.54)$$

$$y_t = f(t)h(t)\xi_t + g(t) \quad (2.55)$$

Podczas dekompozycji szeregu czasowego określa się wpływ każdej ze składowych na zmienną prognozowaną. Konstrukcja prognozy polega na ekstrapolacji funkcji trendu i jej korekcie uwzględniającej oddziaływanie wahań okresowych (sezonowych i cyklicznych) na prognozowaną zmienną. Zakłada się, że wartość oczekiwana składnika losowego dla modeli, w których oddziaływanie wahań przypadkowych nakłada się multiplikatywnie na składowe szeregu, równa się jeden, w przypadku zaś, gdy wahania przypadkowe nie występują jako iloczyn z inną składową szeregu czasowego - zero. W zależności od zmiennych objaśniających oraz postaci modelu można wyróżnić modele:

- naiwne,
- średniej ruchomej,
- wygładzania wykładniczego,
- tendencji rozwojowej,
- składowej periodycznej,
- autoregresyjne.

Z kolei od rodzaju składowych danego szeregu czasowego, liczby obserwacji, decyzji o przeprowadzaniu (bądź nie przeprowadzaniu) dekompozycji szeregu, przyjętych przesłanek prognostycznych, zależy wybór metody prognozowania, tj. modelu i reguły prognozowania. Szeregi czasowe to metoda matematyczna stosowana w analizie danych krajowych i międzynarodowych. Niektórzy autorzy analizowali trend zmian w czasie używając do tego szeregów czasowych [11,32,137,212,219]. W Polsce za pomocą szeregów czasowych Żukowska [12,220] modelowała miesięczną liczbę ofiar śmiertelnych i ciężko rannych w następujący sposób:

$$KSI_t = \mu_t + \gamma_t + \beta x_t + \sum_{k=1}^K \lambda_t w_{kt} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t = N(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (2.56)$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \sum_{l=1}^L \lambda_t w_{lt} + \eta_t \quad \eta_t = N(0, \sigma_\eta^2)$$

$$b_t = b_{t-1} + \zeta_t \quad \zeta_t = N(0, \sigma_\zeta^2)$$

$$\gamma_t = - \sum_{j=1}^{s-1} \gamma_{t-j} + \omega_t \qquad \omega_t = N(0, \sigma_\omega^2)$$

gdzie:

KSI - liczba ofiar śmiertelnych i ciężko rannych w miesiącu [liczba],

x_t – zmienna odwzorowująca czynnik ekonomiczny w miesiącu, ze współczynnikiem β ,

w_{kt} , $k=1, \dots, K$, i w_{lt} , $l=1, \dots, L$, i $K+L$ – zmienne interwencji, ze współczynnikami λ_k i λ_l ,

μ_t i b_t – poziom i nachylenie lokalnego trendu liniowego,

γ_t – składnik sezonowości zapisany w formie zmiennej fikcyjnej,

ε_t , η_t , ζ_t i ω_{it} , $i=1, \dots, I$, - składniki błędu z wariancjami σ_ε^2 , σ_η^2 , σ_ζ^2 i $\sigma_{\omega_{it}}^2$ wzajemnie ze sobą nie skorelowane, dla $t=1, \dots, n$.

2.2.6 Modele bazujące na ryzyku

Ryzyko strategiczne w inżynierii drogowej wybranego regionu związane jest z realizacją celów strategicznych funkcjonowania kraju, jakimi są: ochrona życia i zdrowia uczestników ruchu drogowego, ochrona krytycznej infrastruktury i wzmocnienie systemu ratownictwa. Ryzyko strategiczne swym zasięgiem obejmuje funkcjonowanie całego systemu transportu drogowego, w tym funkcjonowanie infrastruktury drogowej [121]. Podstawą myślenia o ryzyku strategicznym jest zmienność i niepewność strat:

- 1) łącznych strat (społecznych, ekonomicznych) w ruchu drogowym na sieci drogowej wybranego regionu, nazywane w niniejszej pracy ryzykiem społecznym,
- 2) wystąpienie określonej wielkości strat, w tym katastrofy drogowej, nazywane w niniejszej pracy ryzykiem grupowym,
- 3) średnich strat w odniesieniu do pojedynczego mieszkańca lub uczestnika ruchu drogowego danego kraju, nazywane ryzykiem indywidualnym.

Biorąc pod uwagę powyższe autorka przyjęła następujące rodzaje ryzyka strategicznego:

1) ryzyko społeczne:

- ogólne,
- unormowane,

2) ryzyko grupowe,

3) ryzyko indywidualne.

Ryzyko społeczne w ujęciu strategicznym odnosi się do ogółu zachowań w ruchu drogowym całych grup społecznych na wybranym obszarze. Wobec tego jest to strata (liczba ofiar, a także straty materialne poniesione w wypadkach drogowych) w przyjętym przedziale czasu (najczęściej w danym roku), na wybranym obszarze (np. region, województwo), które mogą przewidywalnie wystąpić w wyniku zdarzeń niebezpiecznych, wywołanych przez funkcjonowanie systemu ruchu drogowego. Ryzyko to charakteryzuje się powolnymi zmianami a czynnikami determinującymi ten proces są: rozwój ekonomiczny regionu, zmiany społeczne, wzrost poziomu edukacji itp. [121, 164]. W zależności od miary reprezentującej dany obszar, można wyróżnić:

- 1) ryzyko ogólne, liczone jako straty ogółem poniesione w wypadkach drogowych (liczba ofiar, koszty)
- 2) ryzyko unormowane, liczone jako straty ogółem w stosunku do:
 - liczby ludności zamieszkującej dany region,

- liczby pojazdów zarejestrowanych na danym obszarze,
- wielkości produktu narodowego w danym regionie,
- długości sieci drogowej.

Ryzyko grupowe odnosi się do grupy osób znajdujących się w miejscu lub poblizu miejsca zagrożenia. Ryzyko grupowe pokazuje podatność systemu transportu drogowego na wypadki z wieloma ofiarami śmiertelnymi i jest miarą braku społecznej akceptacji dla tego typu wypadków, albo miarą ogólnej awersji do wypadków z dużą liczbą ofiar śmiertelnych [87].

Ryzyko indywidualne w ujęciu strategicznym można zdefiniować jako średni poziom prawdopodobieństwa strat jednego członka analizowanej społeczności, w czasie aktywności na sieci drogowej (w przeliczeniu na jednostkę pracy przewozowej), wykonywanej na analizowanym obszarze w przyjętym okresie czasu [87].

Model LTR (*latent risk time series*) z grupy modeli DRAG [15] jest przykładem połączenia podejścia bazującego na ryzyku i modelowania ekonometrycznego. Uwzględnia on trzy składowe ryzyka społeczne: narażenie na ryzyko, częstość wypadków drogowych i ich ciężkość. Podstawowe formuły mają postać multiplikatywną:

$$\begin{aligned}x_{it} &= E_{it} \cdot U_{it}^{(x)} \\y_{it} &= E_{it} \cdot R_{it} \cdot U_{it}^{(x)} \\z_{it} &= E_{it} \cdot R_{it} \cdot S_{it} \cdot U_{it}^{(x)}\end{aligned}\tag{2.57}$$

gdzie:

- x_{it} - obserwowane zmienne niezależne narażenia na ryzyko w kraju i w okresie t ,
- y_{it} - obserwowane zmienne niezależne narażenia na ryzyko w kraju i w okresie t ,
- z_{it} - obserwowane zmienne niezależne narażenia na ryzyko w kraju i w okresie t ,
- E_{it} - zmienne niezależne narażenia na ryzyko w kraju i w okresie t ,
- R_{it} - zmienne niezależne częstości wypadków w kraju i w okresie t ,
- S_{it} - zmienne niezależne ciężkości wypadków w kraju i w okresie t ,
- $U_{it}^{(x)}$ - zmienne niezależne reprezentujące źródła zagrożenia w kraju i w okresie t .

Bhalla [14] przeanalizował wpływ struktury rodzajowej uczestników ruchu i rodzaju pojazdów na liczbę zabitych w wypadkach drogowych, obserwowanych w krajach rozwijających się. Opracowany **model czynnikowy** przetestowano w mieście Delhi w Indiach, gdzie analizowano wpływ różnych scenariuszy rozwoju floty pojazdów na liczbę ofiar śmiertelnych. Klasycznym podejściem do szacowania zabitych w wypadkach drogowych jest podejście zaproponowane przez Rumara w roku 1988 [164]:

$$I = E \cdot \frac{A}{E} \cdot \frac{I}{A}\tag{2.58}$$

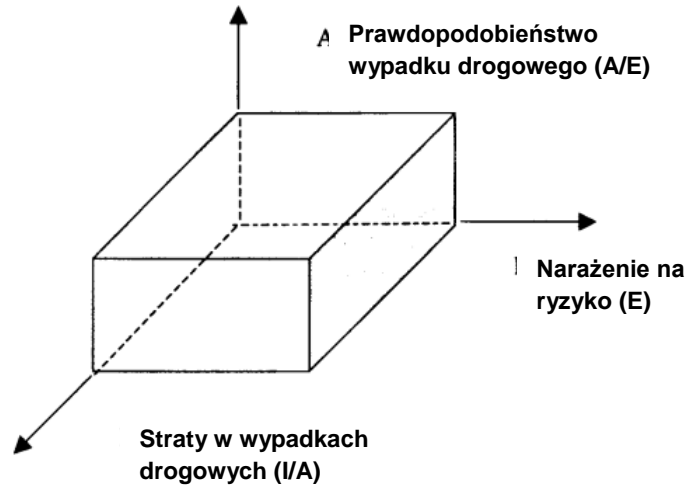
gdzie:

- I - liczba ofiar (śmiertelnych, rannych),
- A - liczba wypadków,
- E - narażenie na ryzyko,
- A/E - ryzyko wypadku (prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku),
- I/A - ciężkość (konsekwencje) wypadku.

Równanie (2.58) można zapisać w jeszcze prostszy sposób:

$$\text{LICZBA OFIAR ŚMIERTELNYCH} = \text{NARAŻENIE NA RYZYKO} \cdot \text{PRAWDOPODOBIENSTWO WYPADKU} \cdot \text{STRATY W WYPADKU}$$

Zostało to nawet zobrazowane na rysunku 2.8:



Rys. 2.8 Wizualizacja równania Rumara.

Źródło: [165]

Jest to podejście stosowane dość powszechnie w budowaniu modeli miar bezpieczeństwa ruchu drogowego. Trójwymiarowy opis bezpieczeństwa ruchu drogowego: narażenie - ryzyko (prawdopodobieństwo) wypadków - konsekwencje wypadków może być przedstawiany w postaci łańcucha współczynników (wymiarów bezpieczeństwa), gdzie licznikiem jest zawsze ostatni współczynnik odnoszący się do opisanego stanu bezpieczeństwa. Tego rodzaju zapis bezpieczeństwa ruchu drogowego nazywamy wskaźnikiem rozszerzenia. Podejście takie zaprezentował już w 1982 roku Assmusseb i Kranenburg [6]. Śmiertelność można wyrazić również jako łańcuch zawierający: przybliżoną wartość średniego narażenia mieszkańca na ryzyko (ruchliwość), wskaźnik wypadków drogowych oraz liczby zabitych w wypadku [148]:

$$\frac{F}{P} = \frac{E}{P} \cdot \frac{A}{E} \cdot \frac{I}{A} \quad (2.59)$$

Intensywność ofiar śmiertelnych może być oszacowana jako łańcuch zawierający: częstość zdarzeń drogowych, częstość wypadków w zdarzeniach oraz częstość zabitych w wypadku drogowym:

$$\frac{F}{E} = \frac{C}{E} \cdot \frac{A}{C} \cdot \frac{F}{A} \quad (2.60)$$

gdzie:

F - liczba ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych,

P - liczba mieszkańców na danym obszarze,

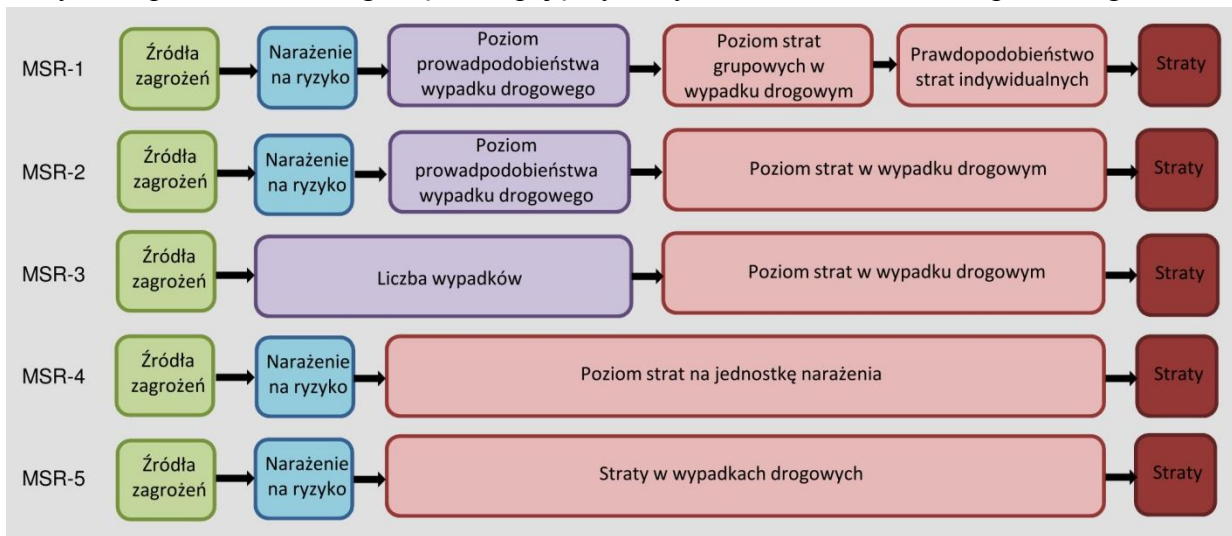
E - narażenie na ryzyko,

C - liczba zdarzeń drogowych (zdarzeń niebezpiecznych),

A - liczba wypadków drogowych w danym obszarze.

Powyższa analiza pokazuje, że prognozowanie miar ryzyka jest najtrudniejszym problemem naukowym w procesie zarządzania ryzykiem. Jeśli celem ma być modelowanie ryzyka strategicznego konieczne jest opracowanie modeli narażenia na ryzyko, poziomu prawdopodobieństwa zdarzeń niebezpiecznych i poziomu strat w zdarzeniu niebezpiecznym. Trzeba również stworzyć modele zmiennych niezależnych, wykorzystywanych do budowy składowych modeli miar ryzyka.

Jamroz [90] wyróżnił **pięć poziomów modeli cząstkowych strategicznego ryzyka społecznego**. Modele te różnicuje stopień dekompozycji elementów składowych ryzyka. Na rys. 2.9 przedstawiono ogólną koncepcję wybranych modeli szacowania społecznego



Rys. 2.9 Postać graficzna modeli społecznego ryzyka strategicznego MSR na sieci dróg.
Źródło: [90]

Pierwszy z modeli MSR-1 jest modelem czteroskładnikowym najbardziej zdekomponowanym. Ryzyko społeczne liczone jest jako iloczyn narażenia na ryzyko wybranego rodzaju E_k , poziom prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego na jednostkę narażenia $P_{LZN/Ek}$, prawdopodobieństwa wystąpienia ofiar w wypadku drogowym $P_{(LOO/LZN)}$, prawdopodobieństwa wystąpienia ofiar w zbiorze ofiar zdarzeń niebezpiecznych $P_{(Sn/LOO)}$ na sieci dróg analizowanego regionu w przyjętym przedziale czasu. Model ten wykorzystywany jest do szacowania ryzyka osobowego; opisany jest wzorem:

$$RS_r^{(s)} = E_k \cdot P_{LZN/Ek} \cdot P_{(LOO/LZN)} \cdot P_{(Sn/LOO)} \quad (2.61)$$

Model MSR-2 jest modelem trójskładnikowym, w którym ryzyko społeczne przyjmowane jest jako iloczyn narażenia na ryzyko wybranego rodzaju E_k , poziomu prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego na jednostkę narażenia $P_{LZN/Ek}$ i średniej straty wybranej kategorii $S_{(Sl,m/LZN)}$ w zdarzeniach niebezpiecznych, występujących na sieci dróg analizowanego kraju w przyjętym przedziale czasu. Model ten wykorzystywany jest do szacowania ryzyka osobowego i ekonomicznego; opisany jest wzorem:

$$RS_r^{(s)} = E_k \cdot P_{LZN/Ek} \cdot S_{(Sl,m/LZN)} \quad (2.62)$$

Model MSR-3 jest modelem dwuskładnikowym, gdzie ryzyko społeczne liczone jest jako iloczyn liczby zdarzeń niebezpiecznych LZN i średniej straty wybranej kategorii $S_{(Sl,m/LZN)}$, w zdarzeniach niebezpiecznych występujących na sieci dróg analizowanego kraju w przyjętym przedziale czasu. Zapisujemy go wzorem:

$$RS_r^{(s)} = LZN \cdot S_{(Sl,m/LZN)} \quad (2.63)$$

Model MSR-4 jest również modelem dwuskładnikowym, w którym ryzyko społeczne jest iloczynem narażenia na ryzyko wybranego rodzaju Ek i średniej straty wybranej kategorii $S_{(Sl,m/LZN)}$ w odniesieniu do jednostki narażenia na ryzyko, występującego na sieci dróg analizowanego regionu w przyjętym przedziale czasu. Model zapisujemy wzorem:

$$RS_r^{(s)} = E_k \cdot S_{(Sl,m/Ej)} \quad (2.64)$$

Model jednoskładnikowy MSR-5, gdzie ryzyko społeczne to suma wybranej kategorii strat $S_{l,m}$, ponoszonych na sieci dróg analizowanego regionu w przyjętym przedziale czasu. Model ten opisany jest wzorem:

$$RS_r^{(s)} = S_{l,m} \quad (2.65)$$

Gdzie:

E_k - narażenie na ryzyko k-tego rodzaju,

$RS_r^{(s)}$ - strategiczne ryzyko społeczne r-tego rodzaju strat,

$P_{(LZN/Ek)}$ - poziom prawdopodobieństwa zaistnienia zdarzenia niebezpiecznego pod warunkiem przyjęcia do analiz k-tego rodzaju narażenia na ryzyko,

$P_{(LOO/LZN)}$ - poziom prawdopodobieństwa wystąpienia ofiar ogółem w zdarzeniach niebezpiecznych,

$P_{(Sm/LOO)}$ - poziom prawdopodobieństwa wystąpienia wybranej kategorii ofiary w zbiorze ofiar ogółem w zdarzeniach niebezpiecznych,

$S_{l,m}$ - suma wybranej kategorii strat poniesionych w zdarzeniach niebezpiecznych,

$S_{(Sl,m/Ek)}$ - poziom wybranej kategorii strat poniesionych w wypadkach drogowych w odniesieniu do rodzaju narażenia na ryzyko,

$S_{(Sl,m/LZN)}$ - poziom wybranej kategorii strat poniesionych w zdarzeniach niebezpiecznych,

$S_{(Sm/LOO)}$ - poziom wybranej kategorii strat w zbiorze ofiar zdarzeń niebezpiecznych,

LZN - łączna liczba zdarzeń niebezpiecznych,

LOO - łączna liczba ofiar w zdarzeniach niebezpiecznych,

$WRS_m^{(s)}$ - ważność n-tej kategorii strat w zbiorczym modelu strategicznego ryzyka społecznego.

2.3 Czynniki wpływające na brd

Ze studiów literatury wynika, że czynniki analizowane jako wpływające na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego można podzielić na następujące grupy: czynniki ruchowe i motoryzacyjne, demograficzne, geograficzne, ekonomiczne i społeczne.

Czynniki ruchowe i motoryzacyjne. Gdyby uczestnicy ruchu nie poruszali się po drogach, nie byłoby elementu narażenia na ryzyko, a tym samym wypadki drogowe nie mogłyby zaistnieć. Jest to stwierdzenie z gruntu prawdziwe, jednak nie można zakazać ludziom poruszania się po drogach w celu wyeliminowania zagrożenia. Należy sprawdzić co można zrobić by je ograniczyć oraz co ma wpływ na to zagrożenie.

Na początku próbowano postawić tezę, że im więcej mieszkańców na danym obszarze i im więcej ci mieszkańcy mają pojazdów tym więcej ofiar na drogach. W 1949 roku R.J. Smeed [171] sformułował model na prognozowanej liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w zależności od liczby pojazdów oraz liczby mieszkańców:

$$D = 0,0003(np^2)^{\frac{1}{3}} \quad (2.66)$$

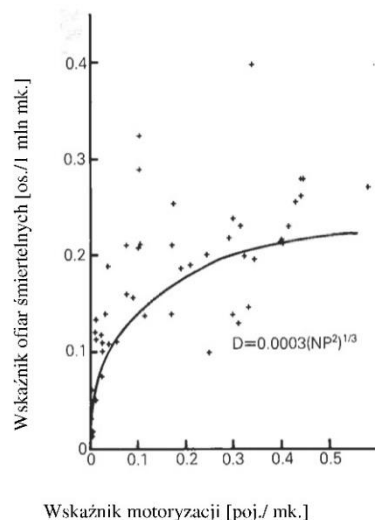
gdzie:

D - liczba ofiar śmiertelnych,

n - liczba zarejestrowanych pojazdów,

p - liczba mieszkańców.

Jak wynika z powyższego wzoru wg. Smeeda oraz ilustracji jego funkcji na rysunku 2.10, liczba ofiar śmiertelnych powinna rosnąć wraz ze wzrostem populacji oraz wraz ze wzrostem wskaźnika motoryzacji. Jednak w kolejnych latach naukowcy zajmujący się problematyką brd [2,4,19,160] zaobserwowali, że powyższe równanie jest dużym uproszczeniem i nie sprawdza się w sytuacji, gdy kraje podejmują interwencje legislacyjne i edukacyjne w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. W związku z niejednoznacznym wpływem rozwoju motoryzacji w danym regionie, w celu stworzenia modeli opisowych liczby ofiar śmiertelnych na drogach konieczne było poszukiwanie innych zmiennych mających wpływ na stan brd w danym kraju czy regionie.

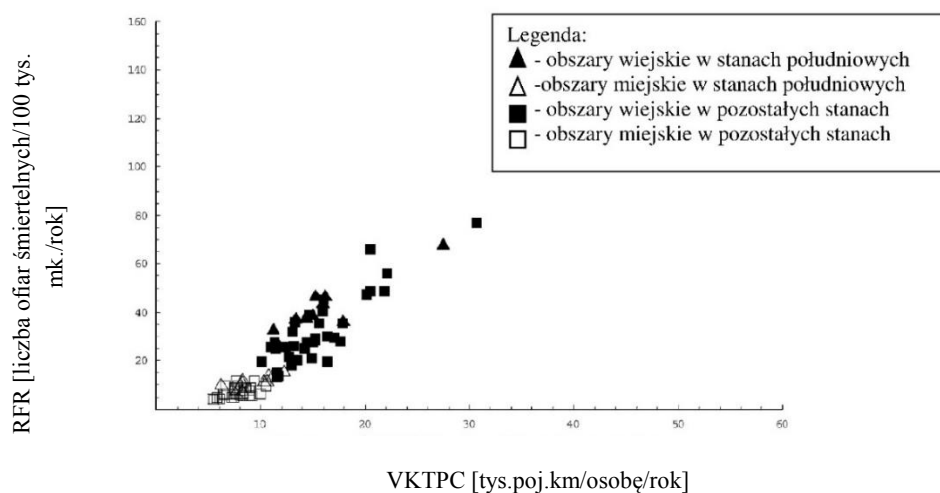


Rys. 2.10 Wykres funkcji zależności wskaźnika ofiar śmiertelnych na drogach w zależności od wskaźnika motoryzacji.

Źródło: [2]

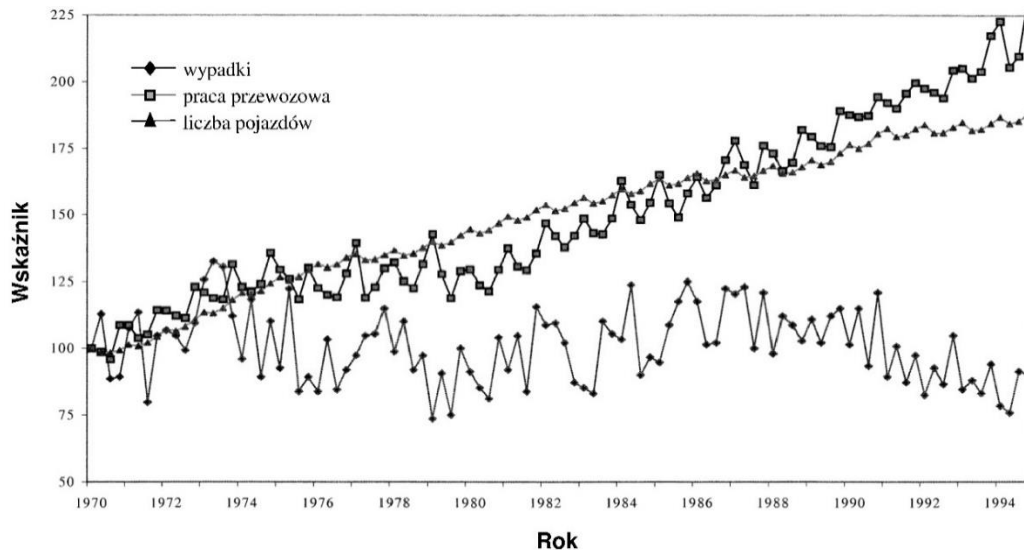
W latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku [20,163,167] zauważono i dowiedziono istnienie zależności pomiędzy liczbą przejechanych kilometrów a prawdopodobieństwem zaistnienia zdarzenia drogowego. Przykładem może być zespół Clarka [31], który w roku 2004 doszedł do identycznych wniosków badając poszczególne stany USA.

Na rysunku 2.11 przedstawiono wpływ zmiany pracy przewozowej na zmianę wartości wskaźnika ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych z podziałem na obszary wiejskie (znaczkę wypełnioną) i miejskie (znaczkę pustą). Trójkąty oznaczają stany położone na południu kraju, a kwadraty pozostałe stany.



Rys. 2.11 Wpływ zmiany pracy przewozowej na wartość wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych.
Źródło: [31]

Dane o pracy przewozowej nie są łatwo dostępne, a na poziomie administracyjnym, niższym od krajowego praktycznie nieosiągalne (chlubnym wyjątkiem są dane z poszczególnych stanów USA) naukowcy zaczęli poszukiwać innych zmiennych mogących zastąpić tą trudno dostępną daną. Niektórzy z nich wskazywali wysoką liniową korelację, rzędu 90% pomiędzy pracą przewozową a liczbą pojazdów na danym obszarze. Przykładem jest choćby analiza Scuffhama i Langleya [169] (rys. 2.12).



Rys. 2.12 Szeregi czasowe przedstawiające liczbę wypadków, pracę przewozową i liczbę pojazdów w Nowej Zelandii w latach 1970-1995.

Źródło: [169]

Mimo, że zauważono wyraźną zbieżność pracy przewozowej i liczby pojazdów, to wpływ dowolnej z tych zmiennych na liczbę zdarzeń nie jest łatwy do ustalenia. Wyraźnie widać to również na rysunku, gdzie obie linie potencjalnych estymatorów pną się w czasie do góry, natomiast wykres wypadków nie ma jednoznacznej tendencji. Na rysunku tym przedstawiono jedynie dane z Nowej Zelandii, jednak nie jest to odosobniony przypadek podobnej rozbieżności.

Czynniki demograficzne. W opracowaniach na poziomie regionalnym zmienną często wskazywaną jako istotnie różnicującą regiony, a jednocześnie silnie skorelowaną ze śmiertelnością na drogach danego regionu, jest gęstość zaludnienia. Na przykład Fridstrom wraz z zespołem [55] 1995 w roku dokonali szczegółowej analizy dużego zbioru danych z krajów skandynawskich i stwierdzili, że zmienne wyjaśniające poziom bezpieczeństwa na drogach można ograniczyć do gęstości zaludnienia. Jednak studia te nie biorą pod uwagę strukturalnych i kulturowych różnic pomiędzy regionami, z których wynikają następnie różnice w warunkach ruchu drogowego. Podobną metodologię zastosował Wegman z zespołem w roku 2005 [205]. Lassare i Thomas [127] postawili tezę, że gęstość zaludnienia służy jako doskonała zmienna wyjaśniająca poziom śmiertelności na drogach regionów europejskich, Clark [29] i Muelleman [145] także stwierdzili podobną zależność dla regionów amerykańskich. Wskaźnik ten bowiem wg autorów uwzględnia wiele czynników często niedostępnych w bazach danych regionalnych, takich jak praca przewozowa na różnych typach dróg, struktura sieci drogowej, poziom zurbanizowania. Autorzy zakładają, że regiony o wyższej gęstości zaludnienia mają bardziej rozwiniętą i bezpieczniejszą strukturę sieci drogowej, a także większy dostęp do różnych środków transportu publicznego. Jest to niejako odpowiedź na potrzebę większej mobilności i częściowo uzależnione jest od lepszego rozwoju ekonomicznego, pozwalającego na poprawę poziomu brd infrastruktury drogowej. W obszarach wysoko zurbanizowanych zatłoczenie można rozpatrywać jako znaczący czynnik wpływający na wybór innego środka transportu publicznego. Eksler wraz z zespołem [43] w swoim artykule sprawdził korelację pomiędzy zlogarytmowaną wartością względnego

wskaźnika ofiar śmiertelnych na drogach (obliczonego wg wzoru poniżej, liczonego na 100 tys. mieszkańców) oraz gęstością ludności na wielu poziomach agregacji (NUTS-0, NUTS-1, NUTS-2, NUTS-3)

$$T_{mi}^* = \frac{Y_i}{N_i} \cdot \frac{100000}{11,03} \quad (2.67)$$

gdzie:

T_{mi} – względny wskaźnik liczby ofiar śmiertelnych,

Y_i - liczba ofiar śmiertelnych w i-tym regionie w danym roku,

N_i - liczba mieszkańców w i-tym regionie w danym roku,

11.03 - to średni wskaźnik ofiar śmiertelnych na obszarze 25 krajów UE.

W niniejszym artykule wskazano, że współczynniki korelacji Pearsona R jest wysoce istotny. Dla obszarów NUTS-3 współczynnik ten wynosił powyżej 0,45 ($P < 0.001$) dla obszarów o dużej gęstości zaludnienia, jednak już na obszarach o gęstości mniejszej niż 50 os/km² korelacja wynosiła $R=0,25$ ($P < 0.01$). Okazało się, że na poziomie regionów NUTS-3 można wywnioskować, że 10% spadek w gęstości populacji prowadzi do 3.3% wzrostu wskaźnika ofiar śmiertelnych.

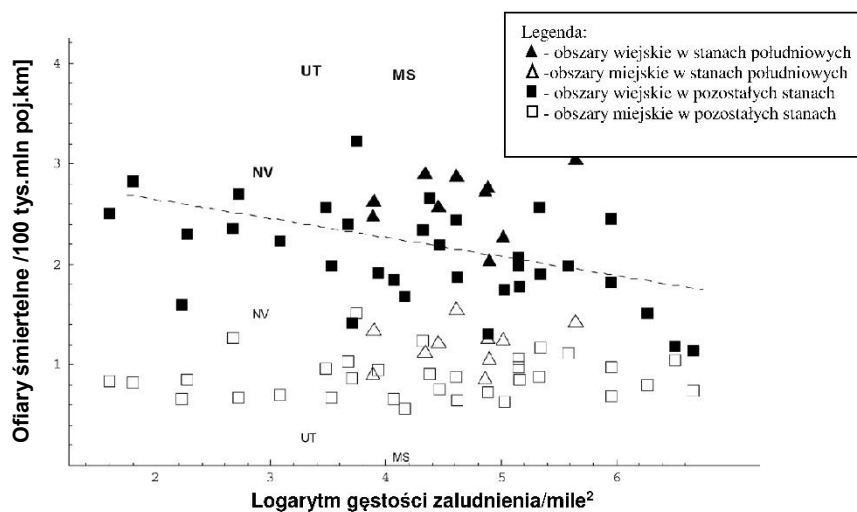
W badaniach angielskich [150] również stwierdzono, że obszary intensywnie zaludnione charakteryzują się mniejszą wypadkowością.

Wykorzystanie danych o ludności pozwoliło na wprowadzenie do modeli stosowanych do szacowania liczby ofiar śmiertelnych zmiennych związanych z płcią oraz wiekiem populacji zamieszkującej dany region. Badania szwajcarskie [175] i włoskie [194] wykazały, że mężczyźni są bardziej narażeni na bycie ofiarą śmiertelną wypadku samochodowego niż kobiety. Dodatkowo badania struktury wiekowej wykazały, że w przypadku ofiar pieszych potencjalnie bardziej zagrożoną grupą są osoby poniżej 30 lat i powyżej 65 lat [194]. Derring [38] zauważył, że większy odsetek ludzi w wieku 18-24 lata w społeczeństwie to więcej ofiar śmiertelnych, Traynor [193] wskazał jako zmienną zwiększającą ryzyko, znaczący odsetek młodych kierowców. Bentham [104] stwierdził, że w przypadku osób starszych wraz z wiekiem rośnie ryzyko śmierci w przypadku zaistnienia wypadku z uwagi na gorszy stan ogólny organizmu osób starszych. Olszewski również analizował zagadnienie bezpieczeństwa ruchu drogowego wśród pieszych [157–159].

Rakauskas z zespołem [162] badał dane z 87 hrabstw Minnesoty i zauważyli różnice pomiędzy miejscem zamieszkania kierowców, wiekiem oraz płcią. Kierowcy mieszkający na wsi nie reagują tak wyraźnie jak mieszkańcy miast na zmiany w prawie związane z ruchem drogowym oraz zmiany wynikające z przebudowy infrastruktury drogowej. Kierowcy z obszarów miejskich rzadziej przekraczają dozwolone prędkości, jednak jednocześnie rzadziej zapinają pasy bezpieczeństwa. Starsi kierowcy częściej jeździli zgodnie z prawem, byli mniej agresywni i pozytywnie reagowali na kampanie społeczne. Jeżeli chodzi o płeć mężczyźni są bardziej predestynowani do niebezpiecznych zachowań na drodze, bardziej „odporni” na wprowadzane programy i kampanie.

Czynniki geograficzne. Stopień zurbanizowania, który okazał się kolejnym istotnym czynnikiem mającym wpływ na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego. Deboosere P., Gadeyne S [36] wskazują na spadek liczby ofiar śmiertelnych na drogach w zależności

od poziomu zurbanizowania regionu podobną zależność wskazują Lambert [126] i Baker [7]. Wzrost liczby obszarów metropolitalnych to mniej ofiar śmiertelnych. Powód takiego stanu rzeczy upatrywany jest między innymi w lepszym dostępie do służb ratowniczych [28,31,38,149,166]. Wykorzystywanymi zmiennymi niezależnymi w modelach były: średni czas przewozu poszkodowanego do szpitala (dane amerykańskie), wskaźnik szpitali czy lekarzy liczony w przeliczeniu na mieszkańca. Poniżej pokazano przykład z analiz Clarka z zespołem, gdzie wykazał on iż na terenach wiejskich śmiertelność na drogach jest większa niż na terenach miejskich. Jednocześnie jak widać na rysunku 2.13 dla obszarów wiejskich można zauważyć tendencję malejącą wskaźnika liczby zabitych wraz ze wzrostem gęstości zaludnienia.



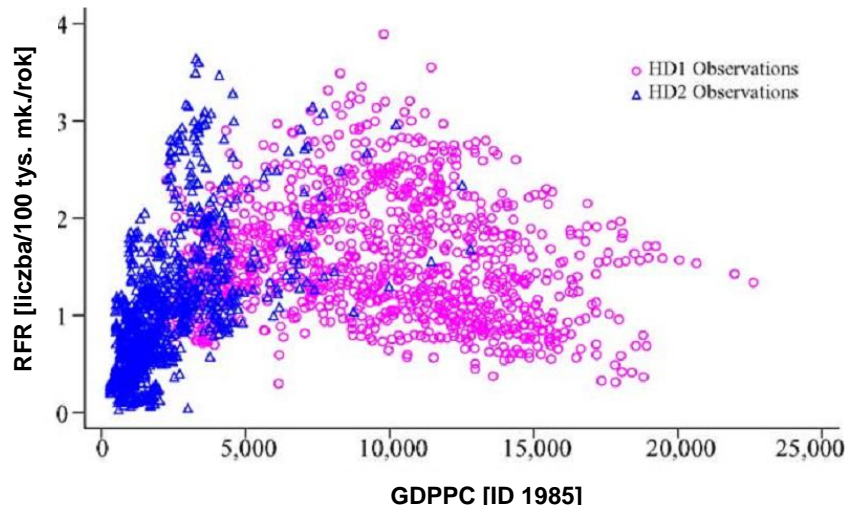
Rys. 2.13 Zależność wskaźnika zabitych liczonego w ofiarach na milion pojazdo-kilometrów od zlogarytmowanej wartości gęstości zaludnienia oraz rodzaju zagospodarowania.

Źródło: [31]

Czynniki infrastrukturalne. Gęstość sieci drogowej była czynnikiem często wskazywanym w literaturze, zazwyczaj związana ze zwiększonym zurbanizowaniem regionu. Jej wzrost powoduje zmniejszenie śmiertelności na drogach [13,45], a większa ilość tranzytowych dróg średniej klasy powoduje efekt odwrotny [193]. Opracowania koncentrujące się na jeszcze bardziej szczegółowych problemach związanych z infrastrukturą wskazują na problemy nieprawidłowego instalowania lub braku barier ochronnych na drogach, lokalizacji przejść drogowych na drogach o dużych prędkościach, braku oddzielenia ruchu pieszego wzdłuż jezdni (brak chodników) [21,23,96,98,99,102,109,119,136,183,192], parametry geometryczne dróg [107,108,110] budowa dróg niezgodnie ze standardami lub niski standard utrzymania [58,109,110,122,156,184,237], udział dróg twardych czy udział autostrad w całej infrastrukturze drogowej regionu [90].

Czynniki ekonomiczne. Najczęściej wymienianym czynnikiem z tej grupy jest produkt krajowy brutto w przeliczeniu na jednego mieszkańca [39,68,125,169,193,208] i poziom bezrobocia [39,61,68,90,168,208]. Kopits i Cropper (2005) [114] analizując dane krajowe stwierdzili, że doskonałym i wystarczającym determinantem wpływającym na bezpieczeństwo jest produkt krajowy w przeliczeniu na mieszkańca. Dodatkowo podzielili kraje na dwie grupy. HD1 to kraje z wysokim wskaźniku rozwoju HDI, natomiast kraje oznaczone jako HD2

to pozostałe kraje. Zauważyli, że kraje rozwinięte mają tendencję do zmniejszania liczby ofiar śmiertelnych na drogach wraz ze wzrostem jednostkowego produktu krajowego. Kraje dopiero się rozwijające wykazują tendencję wzrostu liczby ofiar na drogach wraz ze wzrostem jednostkowego produktu krajowego (rys. 2.14)



Rys. 2.14 Zależność wskaźnika ofiar śmiertelnych na 10 tys. mieszkańców od jednostkowego produktu krajowego w dolarach międzynarodowych z roku 1985. Dane z wielu krajów.

Źródło: [114]

Do podobnych wniosków doszli również Evans [47] oraz Van Beck, Firth i McCullagh z zespołem [9,50,142] oraz Jamroz [90]. W badaniach na poziomie krajowym Söderlund z zespołem oraz Beeck [10,173] zauważyli, że wraz ze zwiększaniem się dochodu na osobę zmniejszała się liczba zabitych na drogach. Bishai [16] zauważył ten sam efekt po osiągnięciu dochodu na osobę 1600\$, jednak za redukcją liczby zabitych nie szła redukcja liczby rannych i wypadków. Podobny kształt funkcji jak Kopitz odnotował Garg i Hyder [59] dla danych z Indii oraz Strucinskiene z zespołem [179] dla danych litewskich. Jamroz w swoich analizach punkt przegięcia tej funkcji określił dla wartości jednostkowego produktu krajowego na mieszkańca w wysokości ok. 6,8 ID [90]. Zmienna ta została uwzględniona w bardzo wielu opracowaniach.

Kolejnym czynnikiem ekonomicznym analizowanym w przestudiowanej literaturze był wskaźnik bezrobocia. Co ciekawe, wnioski z opracowań bywały sprzeczne. Np. Scuffham [168] badał dane z Nowej Zelandii w latach 1970-1994 i stwierdził, że wzrost rzeczywistego GDP oraz wzrost bezrobocia wpływa na zmniejszenie liczby ofiar śmiertelnych i zmniejszenie pracy przewozowej. Inni badacze stwierdzili zupełnie odwrotnie, że ofiary śmiertelne są odwrotnie skorelowane z rozwojem ekonomicznym. Czynniki najczęściej wymieniane jako zwiększające liczbę tych ofiar to krótkotrwały wzrost ekonomiczny, wpływający na większą ruchliwość (pracę przewozową), zwiększenie prędkości jazdy oraz zwiększanie konsumpcji alkoholu przez kierowców [68,208]. Czynniki zmniejszające śmiertelność na drogach, towarzyszące długotrwałemu wzrostowi ekonomicznemu to używanie bezpieczniejszych pojazdów i systemów zwiększających bierne bezpieczeństwo użytkowników pojazdów, poprawa zachowań kierowców z uwagi na wyższy poziom życia, redukcja spożycia alkoholu w barach, częstsze kontrole policyjne i szybsza pomoc medyczna czy ratunkowa. Peltzman

[161] również odnotował poprawę bezpieczeństwa na drogach wraz ze wzrostem ekonomicznym. Gdy wzrasta dochód, wzrasta chęć posiadania bezpieczniejszych samochodów, a to prowadzi do mniejszej wypadkowości. Ponadto podczas koniunktury gospodarczej zwiększane są środki na poprawę infrastruktury drogowej. Nieco inne wnioski ze swoich badań wyciągnęli Blum i Gaundry [18] badający wpływ dochodu na rodzinę na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Zaobserwowali oni, że wraz ze wzrostem dochodu, wzrasta wskaźnik motoryzacji i zwiększa się liczba wypadków. Bezrobocie miało statystyczny wpływ na ruchliwość, ale niejednoznaczny wpływ na ilość zdarzeń. Fournier i Simard [52] badali jak wskaźnik liczby bezrobotnych do liczby kierowców wpływa na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Wskazali, że wzrost takiego wskaźnika powiązany jest ze zmniejszeniem pracy przewozowej i tym samym redukcją liczby wypadków. Jednak Jaeger i Lassare [79] nie stwierdzili znaczącego wpływu poziomu bezrobocia na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego. Hoxie i Skinner [74] zauważyli, że w okresie recesji gospodarczej ilość śmiertelnych ofiar wypadków w wyniku jazdy młodych kierowców ulega zmniejszeniu, nawet bez zmian w pracy przewozowej.

Czynniki społeczne. Wśród czynników z tej grupy wyróżniono głównie: spożycie alkoholu, zapinanie pasów bezpieczeństwa, przekraczanie dopuszczalnych prędkości, reakcja społeczności na kampanie i działania prewencyjne, wskaźnik korupcji oraz wskaźnik rozwoju społecznego.

W przypadku spożycia alkoholu Zlatoper [217], Loeb [132] i Hoxie i Skinner [74] stwierdzili, że spożycie alkoholu zwiększa liczbę ofiar śmiertelnych na drogach. Blum i Gaundry [18] zauważyli, że zwiększone spożycie piwa zwiększa liczbę ofiar śmiertelnych, ale zmniejsza częstotliwość wypadków. Wywnioskowali oni, że kierowcy pijący małe ilości byli bardziej ostrożni na drodze i stanowili mniejsze zagrożenie, natomiast pijący w dużych ilościach zwiększali ryzyko wypadku na drodze. Takie same wnioski w wypadku wina wyciągnęli Jaeger i Lassare [79] oraz Tegnér [190]. Natomiast Friedstrom [54] zauważył zwiększone ryzyko niezależnie od spożytego alkoholu w regionach Norwegii. Derring z zespołem [38] stwierdził, że wraz ze zwiększonym spożyciem alkoholu pogarsza się poziom bezpieczeństwa na drogach. Jeszcze inni wskazywali, że obniżanie wieku pozwalającego na spożywanie alkoholu [39], a także większy odsetek nadużywających alkohol [193] powoduje ten sam efekt. W przypadku badań akcji przeciwdziałających powyższym problemom Welki z zespołem [207] zauważył, że wprowadzenie aresztowań pijanych kierowców miało krótkoterminowy pozytywny wynik w redukcji wypadków. Natomiast w Holandii [139] zauważono krótkoterminowy wpływ zmniejszania się liczby pijanych kierowców po wprowadzeniu ostrzejszego prawa.

Kolejnym elementem był stosunek kierowców do obowiązujących limitów prędkości oraz wpływu samych limitów prędkości. Odnotowano, że częstsze kontrole prędkości spowodowały polepszenie wskaźników brd [25,64,197]. Bentham [104] stwierdził, że w przypadku dróg o wyższych limitach prędkości ryzyko jest większe niż na drogach o ograniczeniu 30 mil/h. W badaniach polskich również czynnik prędkości okazywał się statystycznie istotny jeśli chodzi o wpływ na poziom bezpieczeństwa [8].

Analiza zachowań takich jak zapinanie pasów bezpieczeństwa w krajach, gdzie dane są powszechnie dostępne jest trudne z uwagi na niewielkie różnice regionalne np. pomiędzy różnymi stanami USA. Dlatego trudno wskazać ten czynnik jako istotnie wpływający na liczbę

ofiar śmiertelnych na drogach. Ten aspekt analizowany jest raczej pod kątem, kto częściej jest skłonny do zapinania pasów. Dee [37] stwierdził, że osoby mające skłonność do spożywania alkoholu są mało skore do zapinania pasów. Inne badanie [51] wskazuje, że w przypadku dłuższych podróży tendencja do zapinania pasów wzrasta.

Majumdar z zespołem [137] badający dane z poszczególnych stanów USA nie zauważyli dodatniej korelacji pomiędzy większym dochodem na osobę a zapinaniem pasów bezpieczeństwa, co ciekawe wniosek taki był sprzeczny z wynikami innego badacza [133]. Z kolei Derring [38] zauważył, że częstsze zapinanie pasów bezpieczeństwa nie koniecznie musi się przekładać na redukcję ofiar śmiertelnych. Kierowcy zapinający pasy zwiększają swoje poczucie biernego bezpieczeństwa, co skutkuje jazdą np. z większymi prędkościami, a to powoduje wzrost ryzyka. McCarthy [141] natomiast wskazał, że zapinanie pasów nie wpływa na częstotliwość wypadków śmiertelnych, a zwiększa ilość kolizji i wypadków z lekko rannymi.

W badaniach na poziomie krajowym, gdzie te dane są bardziej dostępne zauważono ponadto, że wraz ze wzrostem poziomu korupcji wzrasta śmiertelność na drogach danego kraju [3]. Natomiast gdy wzrasta wskaźnik rozwoju społecznego HDI, spada ryzyko bycia ofiarą śmiertelną na drodze [13].

2.4 Proces konstruowania modelu matematycznego

Konstruowanie modelu matematycznego musi zostać poprzedzone określeniem celu modelowania. Cel badania zjawiska powinien być określony precyzyjnie i sformułowany w jak najwcześniejszym etapie prac. Dzięki wskazaniu celu badań można wyznaczyć pożądane kierunki badań, ograniczyć zakres i stopień szczegółowości analiz danych rzeczywistych.

Kolejnym etapem budowy modelu jest wyodrębnienie tych składników bazy danych, które powinny zostać uwzględnione w procesie badawczym.

Następnie wybiera się modele matematyczne. Polega to na przetworzeniu całej, istotnej z punktu widzenia celu modelowania, wiedzy o badanym zjawisku w zbiór niesprzecznych relacji matematyczno-logicznych. Często etap ten nazywa się etapem modelowania właściwego. Po jego zakończeniu model znany jest z dokładnością do struktury i dalej należy sformułować zadanie optymalizacyjne [76].

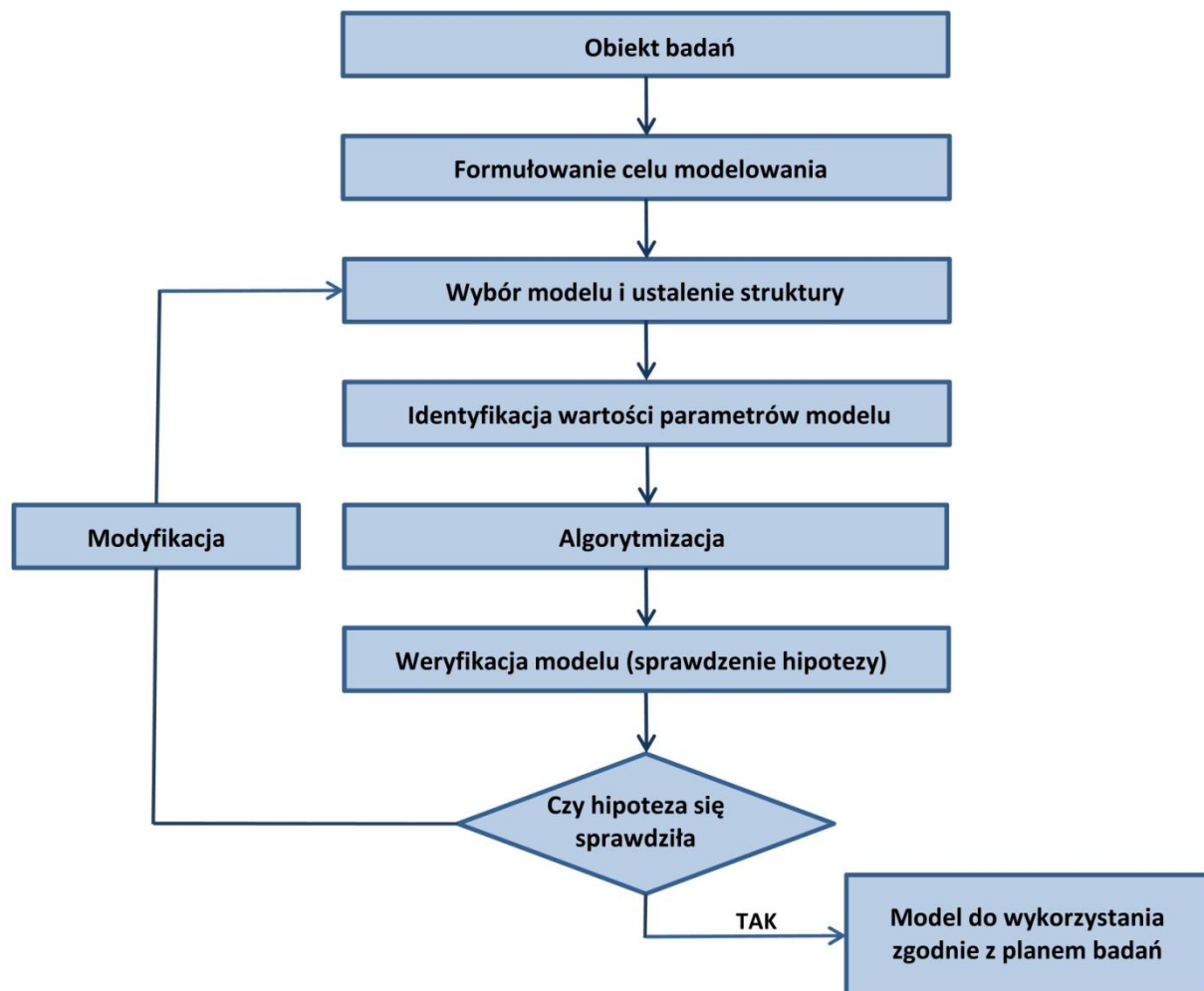
Ważnym etapem budowy modelu jest wykorzystanie efektywnego algorytmu rozwiązania sformułowanego zadania optymalizacyjnego. Po uzyskaniu rozwiązania sformułowanego zadania optymalizacyjnego dokonujemy analizy tego rozwiązania. Pozytywny wynik analizy kończy proces budowy modelu, a negatywny skutkuje powrotem do wcześniejszych etapów budowy modelu. Ocenia się zatem adekwatność modelu do rzeczywistych obserwacji. Jak wspomniano wcześniej, każdy model matematyczny, na którego podstawie przeprowadzana jest analiza jego działania na danych rzeczywistych jest odzwierciedleniem wiedzy o procesach i zależnościach w badanych danych. Opracowanie właściwego modelu odbywa się zatem iteracyjnie, zaczynając od wersji o najmniejszej złożoności przez uszczegóławianie go w kolejnych etapach, aż do uzyskania modelu adekwatnego. [78] Uwzględniając to, proces modelowania można opisać następującymi etapami (rys. 2.16):

- 1) formułowanie celu modelowania,
- 2) identyfikacja zmiennych i parametrów modelu,
- 3) zapis funkcji kryterium modelu, kwantyfikującej cel modelowania,

- 4) analityczny zapis ograniczeń modelu (struktura modelu),
- 5) algorytmizacja obliczeń,
- 6) weryfikacja obliczeń.

Etapy te nie są traktowane niezależnie i realizując jeden z nich należy pamiętać o możliwości realizacji pozostałych. Należy pamiętać o problemie dostępności danych i dostępnych algorytmach obliczeniowych.

Sprzężenie pomiędzy poszczególnymi etapami kontrowania modelu pokazano na rysunku 2.15.



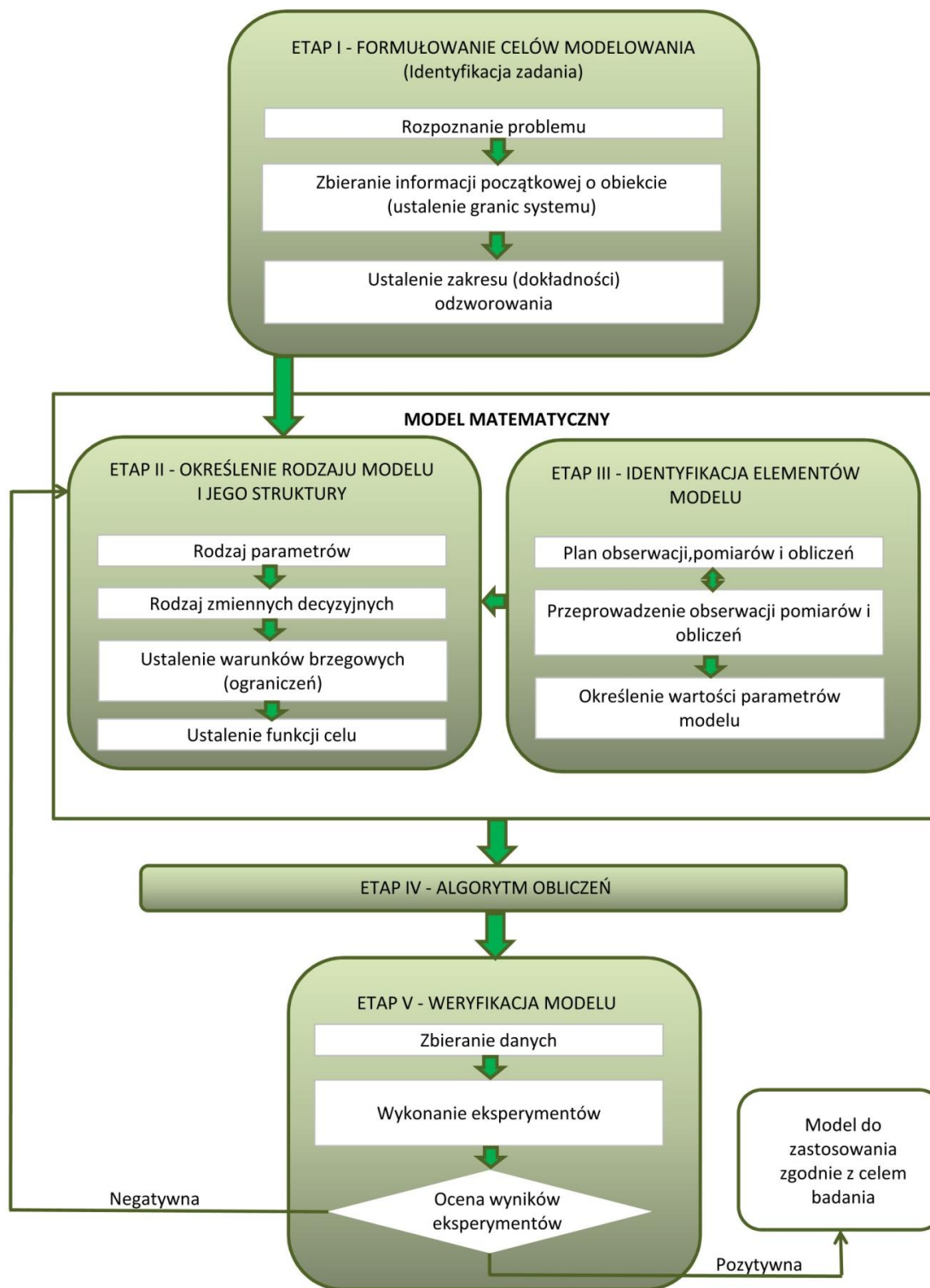
Rys. 2.15 Ogólna procedura konstruowania modelu.

Źródło: [76]

Struktura modelu porządkuje powiązania między elementami modelu oraz proces zbierania informacji. Dzieje się tak do momentu wyznaczenia wartości liczbowych parametrów uwzględnianych w opisie modelu. Określenie ich wartości wykonuje się poprzez odpowiednie przetwarzania danych. Po tym etapie w modelu określone są liczbowe wartości parametrów. Poza parametrami w modelu występują zmienne, które przyjmują wartości liczbowe. Zmienne te nazywamy zmiennymi decyzyjnymi modelu [78].

Algorytmizacja obliczeń może odnosić się do sformułowanego zadania optymalizacyjnego oraz do wyznaczania wartości parametrów odwzorowanych w modelu. W obu przypadkach algorytmy obliczeniowe powinny być skończone i stabilne. Skończone oznacza otrzymanie wyniku zadania w skończonym czasie. Stabilne oznacza, że algorytmy powinny być

konstruowane tak, aby dla tych samych danych wejściowych uzyskiwać te same rozwiązania, zaś dla różnych danych - rozwiązania optymalne, odpowiednie do sytuacji wynikającej z przyjętych danych wejściowych. Weryfikacją modelu nazywamy sprawdzenie zakresu i dokładności odwzorowania w modelu właściwości obiektu, istotnych z punktu widzenia celu badań [76]



Rys. 2.16 Uszczegółowiona procedura konstruowania modelu.

Źródło: [140]

2.5 Wnioski do dalszych prac

Przeprowadzone studia literatury pozwoliły na sformułowanie następujących spostrzeżeń i wniosków:

- 1) Przegląd opracowanych i wdrażanych regionalnych programów brd wskazuje, że stanowią one istotne narzędzia w poprawie bezpieczeństwa ruchu drogowego kraju. Duże zróżnicowanie wskaźników społeczno - gospodarczych opisujących regiony, parametrów systemów transportu drogowego i zachowań mieszkańców wymaga przeprowadzenia indywidualnego podejścia polegającego na: identyfikacji głównych problemów brd w analizowanym regionie, postawieniu celów i wyborze najbardziej skutecznych działań nakierowanych na rozwiązanie zidentyfikowanych problemów.
- 2) Jednym z istotnych elementów prawidłowego zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego są metody zarządzania ryzykiem i narzędzia oceny efektywności stosowanych działań i interwencji. Na poziomie zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego w regionach brakuje takich narzędzi. Wsparcia naukowego wymagają przede wszystkim metody prognozowania wybranych miar ryzyka na sieci dróg. Podstawowymi elementami metod prognozowania miar ryzyka są matematyczne modele uwzględniające zbiór istotnych czynników i interwencji.
- 3) Do analiz i prognozowania miar bezpieczeństwa ruchu drogowego stosowane stosuje się modele: jedno lub wieloczynnikowe, regresyjne, probabilistyczne, ekonometryczne, strukturalne oraz bazujące na ryzyku, a także na opisowe i prognostyczne.
- 4) W wielu pracach analizowano zbiory czynników wpływających na wielkość i zmiany poziomu miar ryzyka, które można pogrupować następująco: ruchowe i motoryzacyjne, demograficzne, geograficzne, infrastrukturalne, ekonomiczne i społeczne.
- 5) Metody matematyczne dotychczas stosowane do konstruowania matematycznych modeli miar bezpieczeństwa ruchu drogowego to: model Poissona, uogólniony model regresji liniowej i nieliniowej, Bayesowski model statystyczny, dwumianowy model regresji logistycznej, model logistyczny, szeregi czasowe.
- 6) Jako funkcje wiążące zmienne zależne i niezależne w konstruowanych modelach stosowano najczęściej: funkcję liniową, funkcję Kuznetza, funkcję wykładniczą, funkcję potęgowo - wykładniczą, funkcję potęgową, funkcję logarytmiczną.
- 7) Najczęstszym sposobem walidacji i weryfikacji opracowanych modeli było sprawdzenie skorygowanego współczynnika determinacji inaczej nazywanego miarą dobroci modelu, a także zweryfikowaniu poziomu istotności modelu.

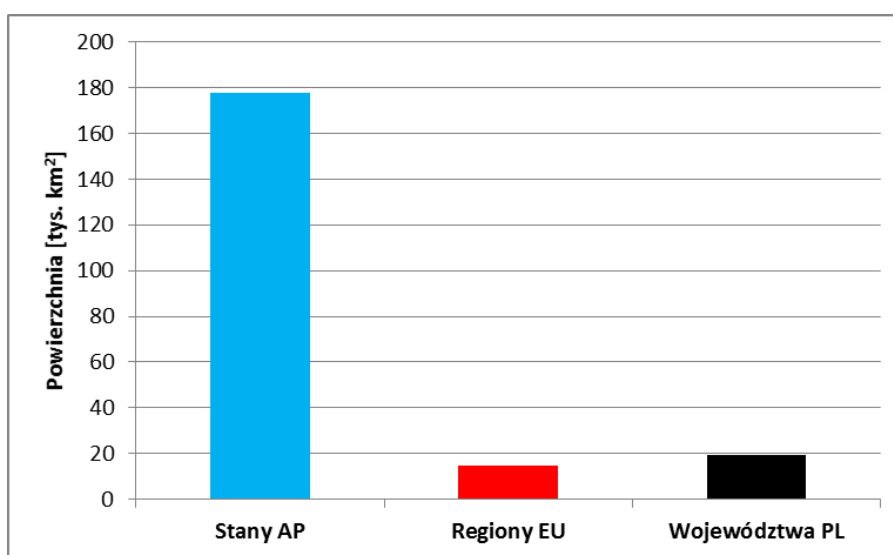
3 CHARAKTERYSTYKA I ANALIZA OBIEKTU BADAŃ

3.1 Analiza dostępnych danych

Zgodnie z przyjętymi założeniami (rozdział 1.4) badania prowadzono na trzech zbiorach danych dotyczących: stanów Ameryki Północnej (AP), regionów Unii Europejskiej (UE) oraz województw w Polsce (PL). Początkowo zakładano wykorzystanie zebranych danych jako jeden zbiór uczący. Jednak wnioski ze wstępnych analiz przedstawionych poniżej spowodowały, że podjęto decyzję o pracy na trzech oddzielnych bazach.

Za takim podejściem przemawiały różny zakres gromadzonych danych oraz znaczne różnice w charakterystykach regionów AP i EU. W bazach stanów AP dostępne są większe zbiory informacji niż w bazach danych dla regionów UE. W przypadku województw w Polsce dane pobrane z bazy EUROSTAT [226] można było znacznie poszerzyć o dane z Głównego Urzędu Statystycznego [227]. Wobec powyższego dane z tych trzech obszarów różnią się pod względem szczegółowości charakterystyk i parametrów.

Ponadto stany AP znacząco różnią się od regionów EU i województw PL. Regiony amerykańskie charakteryzują się dużo większą powierzchnią i populacją mieszkańców niż regiony europejskie (tablica 3.1, rys. 3.1). Średni jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC w USA jest o 25% większy niż w Europie i ponad trzykrotnie większy od GDPPC w polskim województwie. Jednocześnie średnia liczba ofiar śmiertelnych na drogach poszczególnych stanów USA jest ponad czterokrotnie większa niż w Europie i dwukrotnie większa niż w Polsce.



Rys. 3.1 Wykres średnich wartości powierzchni regionów A w każdej z analizowanych baz danych.

Źródło: Opracowanie własne

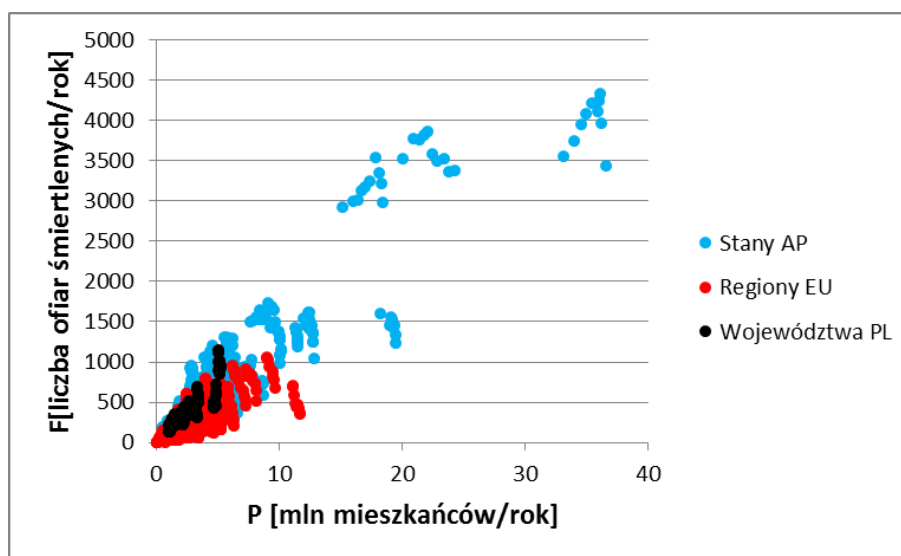
Na rysunku 3.2 pokazano zależność liczby ofiar śmiertelnych na drogach danego regionu od populacji tego regionu P. Jak widać dane z Europy i Polski skupiają się w przedziale populacji do ok. 10 mln mieszkańców, natomiast regiony amerykańskie charakteryzują się dużo większymi populacjami. Stany o populacji około 20 mln osób i więcej to: Kalifornia, Nowy Jork, Texas, Floryda.

Tablica 3.1

Zestawienie wartości średniej, minimalnej i maksymalnej dla podstawowych charakterystyk w analizowanych trzech bazach danych.

Baza danych	Charakterystyka	średnia	minimum	maximum
Stany AP	Powierzchnia [tys.km ²]	177,572	0,157	1464,195
	Populacja [mln]	5,712	0,480	36,580
	Wskaźnik motoryzacji [poj./osobę]	0,862	0,253	1,512
	Produkt krajowy brutto [tys. ID/osobę]	41,200	25,039	151,392
	Liczba ofiar śmiertelnych [osoby]	812	34	4329
	Wskaźnik ofiar śmiertelnych [osoby/100 tys.mk.]	16,134	1,032	39,408
Regiony EU	Powierzchnia [tys.km ²]	14,486	0,32	154,312
	Populacja [mln]	2,081	0,119	11,694
	Wskaźnik motoryzacji [poj./osobę]	0,535	0,098	1,603
	Produkt krajowy brutto [tys. ID/osobę]	30,183	5,686	116,83
	Liczba ofiar śmiertelnych [osoby]	162	6	1057
	Wskaźnik ofiar śmiertelnych [osoby/100 tys.mk.]	9,861	1,055	25,839
Województwa PL	Powierzchnia [tys.km ²]	19,524	9,412	6,645
	Populacja [mln]	2,396	1,008	5,204
	Wskaźnik motoryzacji [poj./osobę]	0,357	0,166	0,588
	Produkt krajowy brutto [tys. ID/osobę]	12,069	7,932	25,951
	Liczba ofiar śmiertelnych [osoby]	367	128	1146
	Wskaźnik ofiar śmiertelnych [osoby/100 tys.mk.]	15,674	9,145	24,554

Źródło: Opracowanie własne

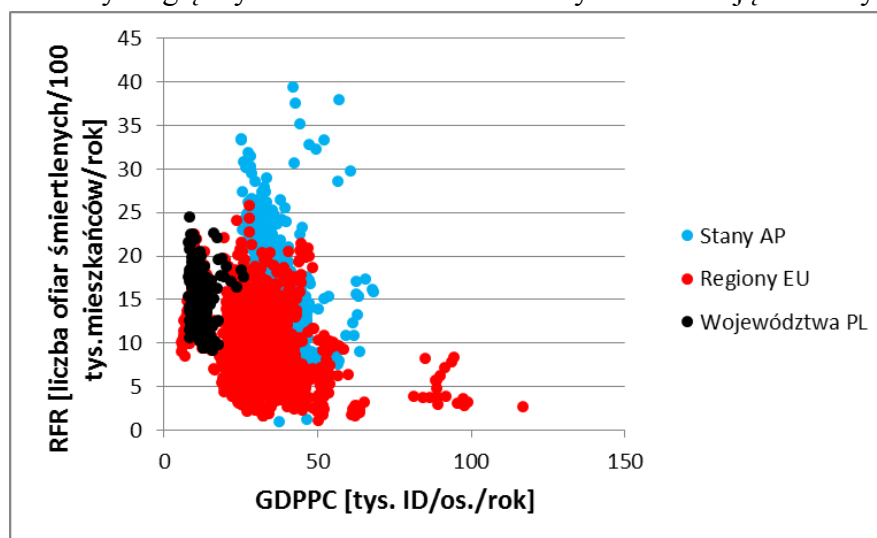


Rys. 3.2 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych na drogach F od populacji danego regionu P.

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 3.3 przedstawiono zależność względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR na drogach od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC. Regiony AP mimo, że

charakteryzują się równie wysokim jednostkowym produktem krajowym brutto GDPPC co regiony EU to niestety względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR mają dużo wyższy.



Rys. 3.3 Wykres zależności względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR na drogach od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC.

Źródło: Opracowanie własne

W związku z zauważonymi różnicami pomiędzy poszczególnymi zbiorami danych stwierdzono, że analizy powinny być poprowadzone niezależnie na tych trzech zbiorach danych. Szczegółową analizę charakterystyk poszczególnych regionów oraz poziomu bezpieczeństwa w wyodrębnionych trzech bazach przedstawiono w kolejnym rozdziale.

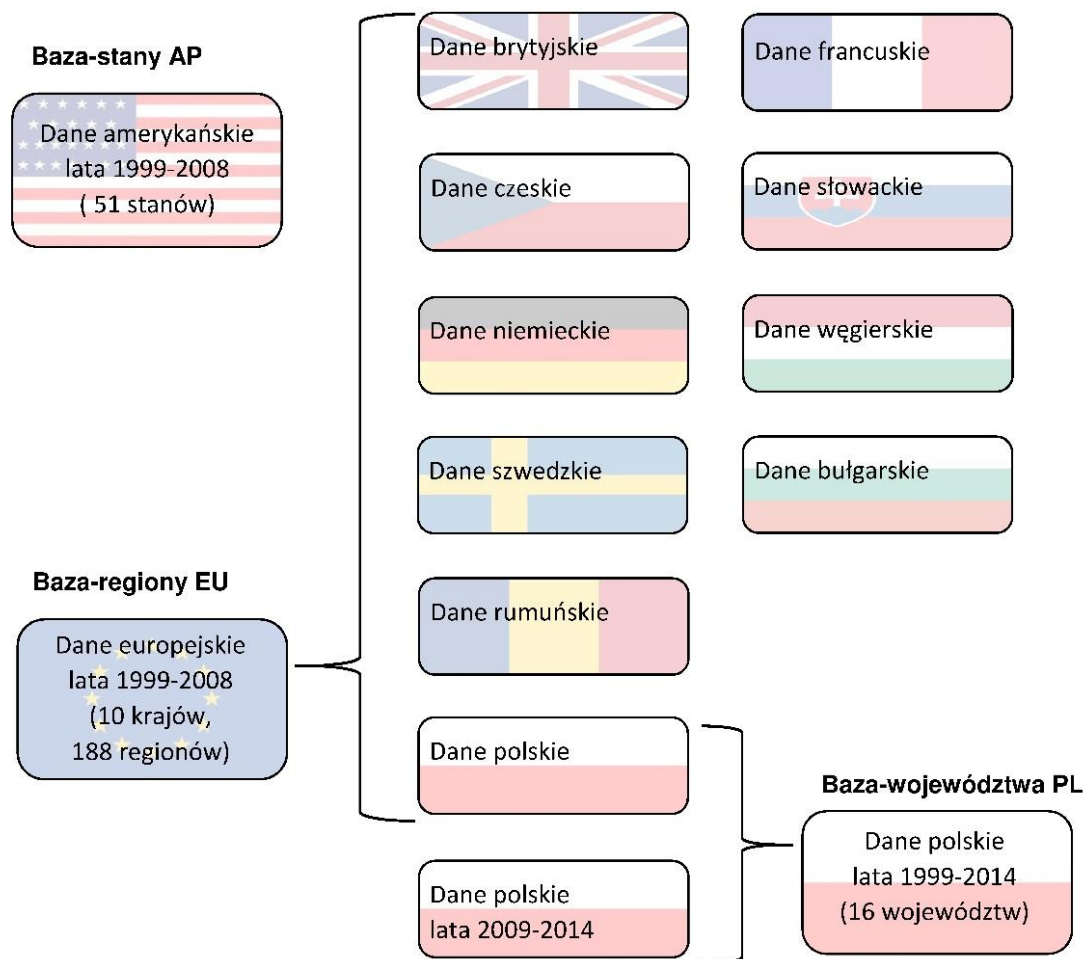
3.2 Bazy danych

Zbudowano trzy niezależne bazy danych. Schemat struktury stworzonych baz danych przedstawiono na rys. 3.4. Bazę danych dla stanów AP tworzą zbiory danych z 51 stanów z okresu 10 lat. Zebrane dane pochodzą m.in. z: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration [228], Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) and State Highway Safety Offices [229], National Vital Statistics system U.S. [230], Department of Health and Human Services [231], Centers for Disease Control and Prevention [232], National Center for Health Statistics [233], U.S. Department of Commerce Bureau of Economic Analysis [234].

W przypadku Europy w ogólnodostępnej bazie EUROSTAT [226], na którą powołują się autorzy artykułów z wielu dziedzin wprowadzono trzy kategorie regionów: NUTS1, NUTS2 i NUTS3. NUTS1 to duże regiony społeczno-ekonomiczne o liczbie mieszkańców od 3 do 7 mln ludzi. NUTS2 to podstawowe obszary wprowadzania prawa na poziomie regionalnym (np. polskie województwa) o liczbie mieszkańców od 800 tys. do 3 mln ludzi. Natomiast NUTS3 to regiony z populacją od 150 do 800 tys. mieszkańców. Podana klasyfikacja nie jest restrykcyjna i czasem dany region ma liczbę mieszkańców spoza przedziału podanego powyżej. Z uwagi na to, że w przestudiowanych opracowaniach głównie skupiano się na regionach NUTS2, w niniejszej pracy również zdecydowano się zbierać dane o tych regionach. W przypadku Polski były to dane o województwach.

W Europie obecnie jest 28 krajów, co równa się 276 regionom NUTS 2. W przypadku bazy stworzonej na potrzeby niniejszej dysertacji zebrano dane o regionach z 10 krajów, co przekłada

się na 188 regionów. Ograniczenie analizy do 10 krajów było podyktowane dwiema przyczynami. Dane o regionach z wielu krajów, które niedawno dołączyły do Unii Europejskiej były niedostępne. Również nie uwzględniono danych z kilku krajów ze „Starej Unii” takich jak np. Finlandia, Dania czy Holandia. W tych krajach poziom bezpieczeństwa jest bardzo wysoki i mógłby spaczyć wnioski z analiz poziomu bezpieczeństwa. Dane zawarte w bazie regiony UE pochodzą z lat 1999-2008.



Rys. 3.4 Struktura utworzonych baz danych.

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku Polski, dane w bazie województwa PL dotyczą regionów NUTS 2 (rys. 3.5). Dane o polskich województwach pozyskano wstępnie razem z danymi z bazy regionów EU i poszerzono o dane z GUS [227], zebrano dane z lat 1999-2008. Jednak później zaktualizowano bazę o najnowsze dane z lat 2009-2014.



Rys. 3.5 Podział Polski na jednostki NUTS 1- 3 i odpowiadające im jednostki NTS 1-3 obowiązujący od 1 stycznia 2015 r.

Źródło: [67]

W tabelicy 3.2 zestawiono zmienne niezależne dostępne w bazach danych dla stanów AP, regionów EU oraz województw PL. W przypadku stanów AP udało się pozyskać 49 charakterystyk, w przypadku regionów EU 27, a w przypadku województw PL było to 71 charakterystyk. Podzielono je na kilka grup wyróżniając zmienne: demograficzne, geograficzne, motoryzacyjne, ruchowe, infrastrukturalne, ekonomiczne i społeczne. Warto zauważyć, że w przypadku danych amerykańskich na poziomie regionalnym dostępne są takie zmienne jak praca przewozowa VKT, jednostkowy dochód narodowy na mieszkańca INPC, czy średni czas dowozu poszkodowanego w wypadku do szpitala TTC, które niedostępne są w bazach europejskich.

Tablica 3.2

Zestawienie zmiennych niezależnych zbieranych w poszczególnych bazach danych.

Grupa zmiennych	Nazwa	Skrót	Region		
			Stany AP	Region EU	Województwa PL
Demograficzne	liczba mieszkańców	P	X	X	X
	gęstość zaludnienia	DP	X	X	X
	udział ludności mieszkającej w miastach	PUP	X		
	udział populacji w wieku 15-19 lat	PUP ₍₁₅₁₉₎			X
	udział populacji w wieku 20-24 lat	PUP ₍₂₀₂₄₎			X
	udział populacji w wieku 15-24 lat	PUP ₍₁₅₂₄₎			X
	udział populacji w wieku ponad 70 lat	PUP ₍₇₀₎			X
Geograficzne	powierzchnia obszaru	A	X	X	X
	powierzchnia zurbanizowana (lata 1999-2003)	UA	X		
	udział powierzchni zurbanizowanej (lata 1999-2003)	PUA	X		
	udział gruntów ornych	UGR			X
Motoryzacyjne	liczba pojazdów ogółem	V	X	X	X
	liczba pojazdów motorowych (bez motocykli)	MV	X		
	liczba motocykli	MOV	X		

Grupa zmiennych	Nazwa	Skrót	Region EU		
			Stany AP	Region EU	Województwa PL
	liczba samochodów osobowych	PC	X	X	X
	liczba kierowców	D	X		
	udział motocykli we wszystkich pojazdach	PMOV	X		
	udział pojazdów motorowych we wszystkich pojazdach	PMV	X		
	wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem	MRV	X	X	X
	wskaźnik motoryzacji samochodów osobowych	MRPC	X	X	X
	wskaźnik motoryzacji motocykli	MRMO	X		
	gęstość pojazdów ogółem	DV	X	X	X
	gęstość samochodów osobowych	DPC	X	X	X
	gęstość pojazdów motorowych	DMV	X		
	udział samochodów osobowych	PPC	X	X	X
Ruchowe (mobilnościowe)	praca przewozowa	VKT	X		
	długość drogi przebytej pojazdami w przeliczeniu na mieszkańca	VKTPC	X		
	długość drogi przebytej pojazdami w przeliczeniu na pojazd	VKTPV	X		
	średnie roczne natężenie ruchu na kilometr drogi krajowej w przeliczeniu na mieszkańca	VKTPD			X
	limit prędkości na zamiejских drogach międzystanowych dla samochodów osobowych	S1	X		
	udział kierowców przekraczających dozwoloną prędkość na drogach zamiejских	S2			X
	udział kierowców przekraczających dozwoloną prędkość na drogach miejskich	S3			X
Infrastrukturalne	długość dróg ogółem	LR	X	X	
	długość autostrad	LM	X	X	
	długość dróg twardych	LPR	X		
	długość dróg w terenie zabudowanym	LUR	X		X
	długość dróg w terenie niezabudowanym	LUUR	X		X
	długość dróg ekspresowych	LX			X
	długość dróg publicznych	LPUB			X
	długość dróg krajowych	LN			X
	długość dróg wojewódzkich	LV			X
	długość dróg powiatowych	LC			X
	długość dróg gminnych	LCO			X
	gęstość dróg ogółem	DR(A)	X	X	
	gęstość autostrad	DME(A)	X	X	
	gęstość dróg twardych	DPR(A)	X		
	gęstość dróg w terenie zabudowanym	DBR(A)	X		
	gęstość dróg miejskich o twardej nawierzchni	DURH(A)			X
	gęstość dróg zamiejских o twardej nawierzchni	DUURH(A)			X
	gęstość dróg ekspresowych	DX(A)			X
	gęstość dróg krajowych	DN(A)			X
	gęstość dróg wojewódzkich	DV(A)			X
gęstość dróg powiatowych	DC(D)			X	

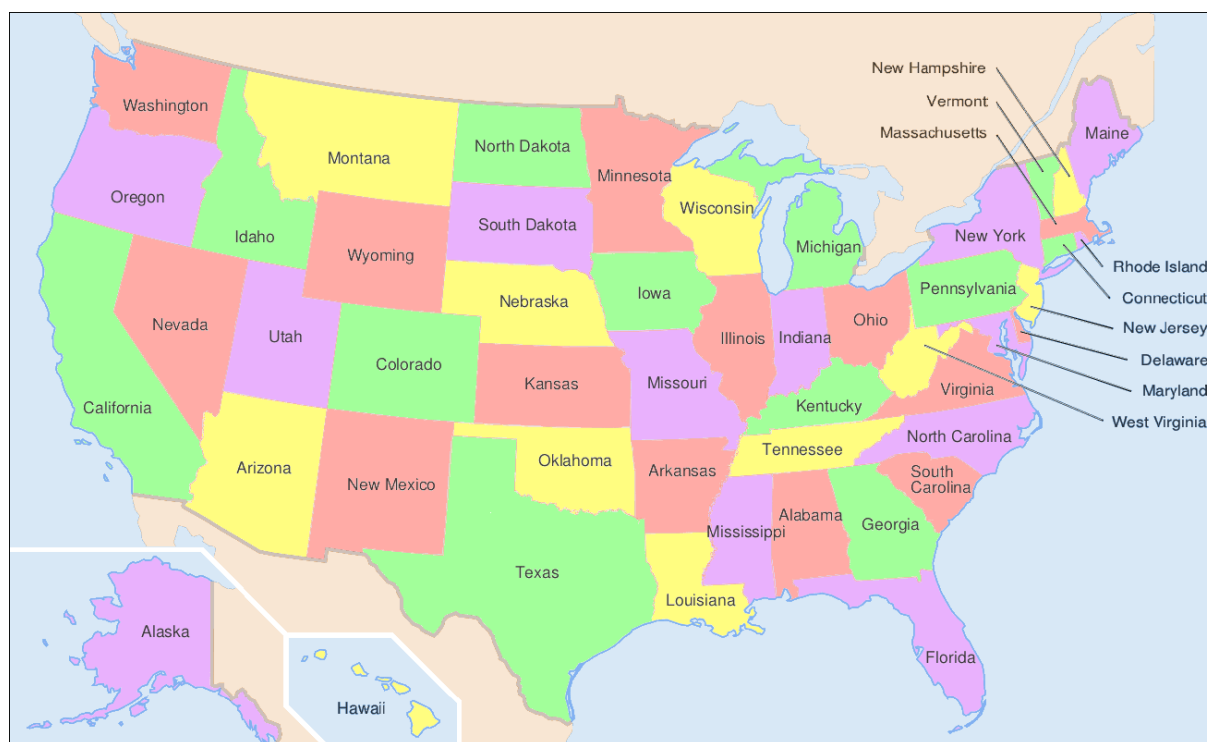
Grupa zmiennych	Nazwa	Skrót	Region EU		
			Stany AP	Region EU	Województwa PL
	gęstość dróg gminnych	DCO(D)			X
	gęstość demograficzna dróg ogółem	DR(D)	X	X	
	gęstość demograficzna autostrad i ekspresowych	DME(D)	X	X	
	gęstość demograficzna dróg twardych	DPR(D)	X		
	gęstość demograficzna dróg miejskich o twardej nawierzchni	DURH(D)			X
	gęstość demograficzna dróg zamiejskich o twardej nawierzchni	DUURH(D)			X
	gęstość demograficzna dróg ekspresowych	DMX(D)			X
	gęstość demograficzna dróg krajowych	DN(D)			X
	gęstość demograficzna dróg wojewódzkich	DV(D)			X
	gęstość demograficzna dróg powiatowych	DC(D)			X
	gęstość demograficzna dróg gminnych	DCO(D)			X
	udział procentowy autostrad w długości sieci dróg	PME	X	X	
	udział dróg twardych w długości sieci dróg	PPR	X		
	długość dróg krajowych	LNR			X
	długość dróg wojewódzkich	LVR			X
	długość dróg powiatowych	LCR			X
	długość dróg gminnych	LCOR			X
	udział dróg w terenie zabudowanym	PUR	X		X
Ekonomiczne	wskaźnik bezrobocia	RUN	X	X	X
	produkt narodowy brutto PPP (2005 international dolar)	GDP	X	X	X
	produkt narodowy na mieszkańca PPP (2005 international dolar)	GDPPC	X	X	X
	dochód narodowy na mieszkańca PPP (2005 international dolar)	INPC	X		
	wydatki budżetów województw	REX			X
	wydatki na drogi wojewódzkie	REXV			X
	wynagrodzenie brutto	PAY			X
Społeczne	stopień stosowania pasów bezpieczeństwa	USB	X		X
	wskaźnik konsumpcji alkoholu (dane dla lat:1999-2007)	ACPC	X		X
	średni czas dowozu poszkodowanego karetką do szpitala (dane dla lat:1999-2004)	TTC	X		
	wskaźnik śmiertelności białych noworodków (dane dla lat:1999-2007)	FR(I)	X		
	wskaźnik średniej spodziewanej długości życia	LEI	X		X
	wskaźnik średniej spodziewanej długości życia mężczyzn	LEIM			X
	wskaźnik średniej spodziewanej długości życia kobiet	LEIW			X
	wskaźnik lekarzy na 10 tys. mieszkańców (dane dla lat:2002-2007)	RD	X		X
	wskaźnik rozwoju społecznego (dane dla roku:2008)	HDI	X		
	procent licealistów i studentów	EDU(S)		X	X
	procent 4-latków i starszych w przedszkolach	EDU(K)		X	X
	liczba osób korzystających ze świadczeń pomocy społecznej na 10 tys. mieszkańców	P(SA)			X
	zachorowania na gruźlicę	RT			X
	wskaźnik uczniów przypadających na 1 komputer z dostępem do internetu przeznaczony do użytku uczniów-gimnazja	IR(J)			X

Grupa zmiennych	Nazwa	Skrót	Stany AP	Region EU	Województwa PL
	wskaźnik uczniów przypadających na 1 komputer z dostępem do internetu przeznaczony do użytku uczniów-szkoły podstawowe	IR(P)			X
	szpitale publiczne	HOSP			X
	szpitale ogółem	HOS			X
	zespoły ratownictwa medycznego i zespoły wyjazdowe	AMB			X
	szpitalne oddziały ratunkowe	HEW			X

Zródło: Opracowanie własne na podstawie dostępnych baz danych.

3.2.1 Baza – stany AP

Do analiz poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego na sieci dróg Stanów Zjednoczonych Ameryki zebrano dane z 51 stanów. (rys. 3.6). Zakres czasowy danych obejmuje lata 1999-2008. W tabelicy 3.3 zestawiono podstawowe statystyki dla zmiennych zbieranych w USA. Zauważono duże zróżnicowanie charakterystyk regionów amerykańskich, np. populacja P w poszczególnych stanach wynosi od 480 tys. do ponad 36 mln osób, a powierzchnia A mieści się w przedziale od 157 tys. km² do ok. 1,5 mln km². Jednocześnie gęstość zaludnienia DP również charakteryzuje duży rozstęp w danych, bo są to wartości od 420 os/km² do ponad 5,5 tys.os./km². W przypadku statystyk liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F jest to przedział od 34 do ok. 4300 osób rocznie, przy czym średnio jest to około 800 osób rocznie.



Rys. 3.6 Mapa administracyjna pokazująca podział na stany w USA.

Źródło:[235]

Tablica 3.3

Zestawienie wartości dla podstawowych charakterystyk w bazie danych –stany AP.

Lp	Zmienna	Liczebność	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch.std
1	GDP	510	232,34	19,68	1692,33	278,21
2	GDPPC	510	41,20	25,04	151,39	14,52
3	INPC	510	33,60	23,19	56,62	5,70
4	MV	510	4,60	0,22	33,94	5,17
5	MOV	510	0,11	0,00	0,77	0,12
6	V	510	4,71	0,22	34,70	5,28
7	PMV	510	97,34	89,18	99,94	1,28
8	PMOV	510	2,66	0,06	10,82	1,28
9	PC	510	2,66	0,17	20,04	3,15
10	D	510	3,87	0,30	23,70	4,12
11	MRV	510	0,86	0,25	1,51	0,17
12	MRPC	510	0,46	0,15	0,81	0,08
13	MRMO	510	0,02	0,00	0,12	0,01
14	MRMV	510	0,84	0,25	1,47	0,16
15	DV	510	87,71	0,40	1592,62	213,34
16	DMV	510	86,10	0,39	1583,25	211,66
17	DPC	510	58,23	0,16	1295,89	167,18
18	PPC	510	53,78	31,28	83,16	9,02
19	F	510	812,03	34,00	4329,00	813,89
20	RFR	510	16,13	1,03	39,41	6,32
21	RUN	510	4,76	2,30	8,40	1,17
22	P	510	5,71	0,48	36,58	6,37
23	DP	510	152,02	0,42	5574,43	585,25
24	PUP	306	71,37	33,13	100,00	15,22
25	A	510	177,57	0,16	1464,19	217,43
26	UA	204	4,91	0,16	23,13	4,68
27	PUA	204	8,56	0,05	100,00	15,94
28	LR	510	124,90	2,28	490,25	84,75
29	DR(A)	510	1,42	0,01	15,63	2,10
30	DR(D)	510	3,73	0,27	21,94	4,00
31	LM	497	4,00	0,01	23,24	5,87
32	DME(A)	510	0,04	0,00	0,93	0,11
33	DME(D)	510	0,18	0,00	2,50	0,39
34	PME	498	4,02	0,00	22,90	5,62
35	LPR	510	80,67	1,70	326,09	65,64
36	DPR(A)	510	1,14	0,00	15,65	2,11
37	DPR(D)	510	1,79	0,27	4,97	0,91
38	PPR	510	66,68	18,27	100,13	24,26
39	LUUR	510	95,50	0,00	356,65	65,59
40	LUR	510	29,40	2,09	147,53	30,71
41	PUR	510	27,01	1,56	100,00	21,85
42	VKT	510	56,70	0,76	329,27	58,90
43	VKTPC	510	10,45	1,05	18,36	2,11
44	ACPC	459	10,62	5,73	19,18	2,27
45	USB	508	76,71	38,60	97,60	10,92
46	TTC	306	39,66	18,17	83,83	6,49
47	S1	500	67,40	55,00	75,00	5,59
48	FR(I)	454	5,89	3,80	8,75	0,87
49	LEI	153	77,61	72,63	81,70	1,74
50	RD	306	26,62	16,60	75,60	8,37
51	HDI	51	4,97	3,58	6,36	0,70

Źródło: Opracowanie własne na podstawie dostępnych baz danych.

3.2.2 Baza – wybrane regiony UE

W przypadku regionów EU, zebrano dane z: Wlk. Brytanii, Czech, Niemiec, Polski, Francji, Hiszpanii, Słowacji, Węgier, Szwecji, Bułgarii i Rumunii, w latach 1999-2008. Na rys. 3.7 pokazano, które regiony zostały wybrane do analiz w niniejszej dysertacji. Dane te obejmują łącznie 188 regionów. Z uwagi jednak na duże braki zwłaszcza w danych dotyczących regionów z krajów, które niedawno wstąpiły do Unii Europejskiej liczebność całego zbioru jest mniejsza. Populacja zebranych regionów mieści się w przedziale od 70 tys. do 11,7 mln mieszkańców, a powierzchnia w przedziale od 100 km² do 94 tys. km². Gęstość zaludnienia różnicuje się pomiędzy 5 os./km² do ponad 5,5 tys. os./km². Liczba ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych mieści się w przedziale od 1 do prawie 1150 osób, średnio 213 osoby. (tabl. 3.4).



Rys. 3.7 Mapa administracyjna pokazująca podział na regiony NUTS 2 w Europie. Wyróżniono regiony objęte analizą.

Źródło: Opracowanie własne

Tablica 3.4

Zestawienie wartości dla podstawowych charakterystyk w bazie danych europejskich.

Lp	Zmienna	Liczebność	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch.std
1	GDP	1474	66,74	2,05	662,76	68,72
2	GDPPC	1474	29,79	5,80	62,87	9,02
3	V	1452	1,13	0,04	6,46	1,01
4	PC	1459	0,96	0,03	5,71	0,87
5	MRV	1426	0,52	0,10	2,17	0,17
6	MRPC	1338	0,44	0,09	1,92	0,15

Lp	Zmienna	Liczebność	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch.std
7	DV	1452	163,49	2,85	3615,38	337,45
8	DPC	1459	141,95	2,60	2776,92	293,35
9	PPC	1452	85,50	68,57	98,34	4,45
10	F	1472	213,41	1,00	1146,00	173,50
11	RFR	1473	10,47	1,06	24,55	4,60
12	RUN	1422	8,74	0,98	26,50	4,90
13	P	1474	2,13	0,07	11,69	1,64
14	DP	1474	352,87	5,21	9457,72	909,23
15	lnDP	1474	5,07	1,65	9,15	1,06
16	PUP	160	0,60	0,40	0,80	0,10
17	A	1474	16,53	0,01	94,23	16,10
18	UGR	943	30,70	0,06	60,63	16,07
19	LR	1425	16,03	0,00	91,53	16,12
20	DRA	1425	1,36	0,00	13,84	1,53
21	DR(D)	1382	0,91	0,00	4,57	0,81
22	LME	1435	0,26	0,00	2,32	0,31
23	DME(A)	1435	0,02	0,00	0,19	0,02
24	DME(D)	1419	0,01	0,00	0,33	0,02
25	PME	1384	2,94	0,00	75,53	5,54
26	EDU(S)	828	21,67	7,50	33,30	3,32
27	EDU(K)	808	85,81	22,30	100,00	21,76
28	RD	888	819,60	29,70	5222,30	844,07
29	LEI	1473	78,17	70,20	82,90	2,98

Źródło: Opracowanie własne na podstawie dostępnych baz danych.

3.2.3 Baza – województwa PL

Na rys. 3.8 przedstawiono podział administracyjny Polski na 16 województw. Powierzchnia województw wynosi od ok. 9,4 do 35,6 tys. km², populacja od ok. 1 do 5,3 mln osób, a liczba ofiar śmiertelnych na drogach danego województwa od 81 do ponad 1100 osób rocznie.



Rys. 3.8 Mapa administracyjna pokazująca podział na województwa w Polsce

Źródło: Opracowanie własne

Tablica 3.5

Zestawienie wartości dla podstawowych charakterystyk w bazie danych polskich.

Lp	Zmienna	Liczebność	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch.std
1	GDPPC	256	16,02	9,57	35,41	4,71
2	RFR	256	13,45	5,43	22,96	3,74
3	A	272	19,54	9,41	35,58	6,63
4	PAY	176	2995,18	2018,59	4927,34	601,72
5	PC	272	0,88	0,21	3,04	0,57
6	MRPC	272	0,36	0,14	0,58	0,10
7	DV	272	57,486	8,88	176,97	36,89
8	V	272	1,05	0,24	3,57	0,68
9	MRV	272	0,43	0,17	0,67	0,12
10	PPC	272	0,84	0,77	0,89	0,02
11	PUA	176	5,15	3,50	12,40	1,79
12	UGR	96	50,38	34,71	63,30	8,56
13	RUN	256	15,90	6,40	31,10	4,95
14	DP	272	131,16	35,79	376,00	71,80
15	P	272	2,39	1,00	5,33	1,21
16	LR	272	24,29	10,46	53,45	9,44
17	LME	176	0,06	0,00	0,22	0,07
18	DR(A)	208	1,33	0,42	2,65	0,49
19	DME(A)	176	0,00	0,00	0,01	0,00
20	DX(A)	224	0,00	0,00	0,01	0,00
21	DN(A)	224	0,07	0,02	0,12	0,03
22	DV(A)	224	0,10	0,03	0,23	0,05
23	DC(A)	224	0,39	0,16	0,79	0,15
24	DCO(A)	224	0,34	0,08	0,89	0,18
25	DR(D)	224	1,12	0,53	2,22	0,31
26	DME(D)	224	0,00	0,00	0,01	0,00
27	DMX(D)	224	0,74	0,41	1,09	0,15
28	DN(D)	224	0,06	0,02	0,09	0,02
29	DV(D)	224	0,09	0,03	0,16	0,03
30	DC(D)	224	0,34	0,12	0,56	0,11
31	DCO(D)	224	0,26	0,13	0,49	0,08
32	AMB	80	57,19	12,00	199,00	42,50
33	HEW	176	11,53	0,00	30,00	6,86
34	UA	176	5,11	3,50	12,40	1,80
35	LURH	208	18,48	6,60	79,50	15,71
36	LUURH	208	70,18	37,10	131,50	20,82
37	RLURH	208	13,52	9,20	21,40	2,60
38	RLUURH	208	61,10	23,40	96,10	15,92
39	LX	224	0,04	0,00	0,22	0,04
40	LPUB	224	16,53	7,81	35,94	6,30
41	LN	224	1,16	0,72	2,46	0,40
42	LV	224	1,77	0,94	2,99	0,56
43	LC	224	7,15	3,43	13,82	2,44
44	LCO	224	6,45	1,88	16,71	3,90
45	UGR	96	50,38	34,71	63,30	8,56
46	REX	224	0,12	0,02	0,56	0,07
47	REXV	224	0,08	0,01	0,33	0,06
48	F	256	313,57	81,00	1123,00	181,58
49	USB	48	69,81	50,18	80,58	6,35
50	PUP	176	0,60	0,40	0,80	0,10
51	EDUS	128	23,98	19,60	27,80	1,99
52	EDUK	128	37,24	22,30	69,30	9,71
53	ACPC	32	0,18	0,11	0,32	0,06
54	P1519	176	13,86	7,84	22,80	3,25
55	P2024	176	14,53	9,61	22,13	2,77

Lp	Zmienna	Liczebność	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch.std
56	P70	176	15,61	8,85	24,71	3,89
57	P1524	176	28,39	17,45	43,08	5,82
58	RT	176	609,13	116,00	2061,00	380,97
59	RD	96	5,43	2,83	7,81	1,13
60	IRJ	112	19,73	9,91	32,07	6,14
61	IRP	112	22,71	8,53	52,11	11,43
62	HOSP	176	39,22	14,00	111,00	22,67
63	HOS	80	45,48	20,00	114,00	25,53
64	S2	64	56,76	19,01	83,21	19,06
65	S3	64	71,74	32,51	97,19	16,99
66	LEIM	272	71,11	67,00	75,30	1,61
67	LEIW	272	79,58	76,30	82,80	1,38
68	VKTPD(NA)	144	3,14	1,76	5,60	0,81
69	DRN	144	0,46	0,18	0,88	0,16
70	DRI	144	0,64	0,24	1,31	0,23
71	DRF	144	0,09	0,03	0,15	0,03
72	DRHI	144	0,17	0,05	0,36	0,07

Zródło: Opracowanie własne na podstawie dostępnych baz danych.

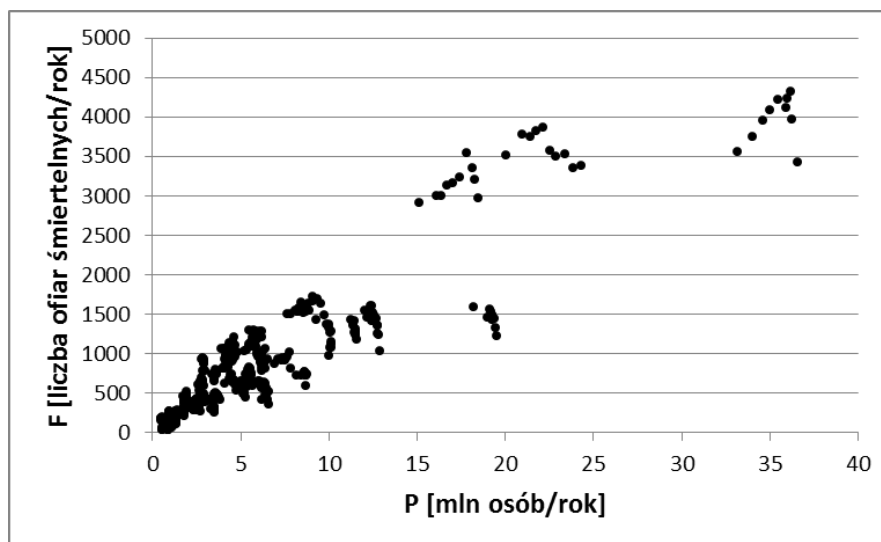
3.3 Charakterystyka i analiza porównawcza stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego w grupach regionów.

3.3.1 Stany AP

Na rysunku 3.9 przedstawiono wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych F w poszczególnych stanach w zależności od populacji danego stanu P . Jak widać dane tworzą cztery skupiska przy czym wraz ze wzrostem liczby mieszkańców rośnie liczba ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych danego stanu.

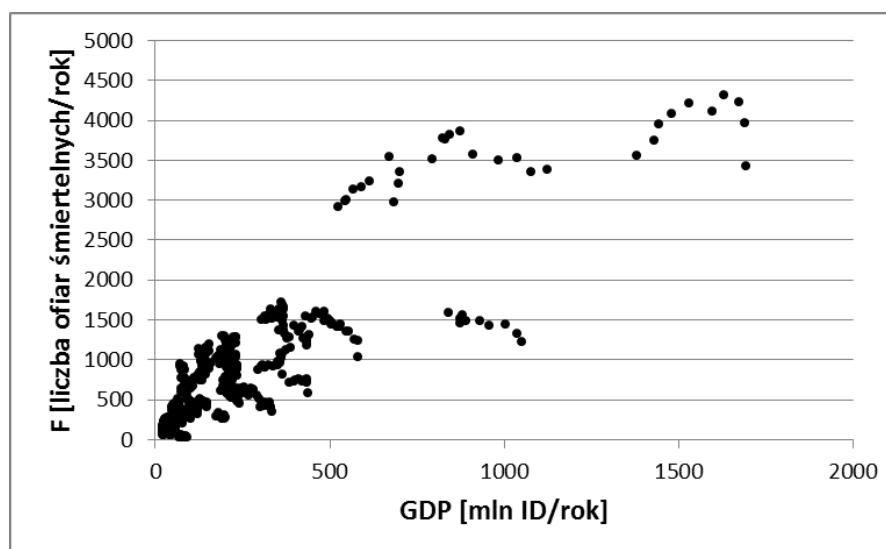
Na rysunku 3.10 przedstawiono zależność liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od produktu krajowego brutto GDP w danym stanie. Na podstawie analizy zestawionych danych można stwierdzić, że wraz z początkowym wzrostem GDPPC rośnie liczba ofiar śmiertelnych, po czym następuje przełamanie tendencji i zmniejszanie się liczby ofiar śmiertelnych. Są to tendencje podobne jak w przypadku danych krajowych [90]. Można zaobserwować w obu przypadkach regiony odstające od pozostałych stanów. Szczegółowa analiza wykazała, że jest to Kalifornia, Texas, Floryda i Nowy York.

Na rysunku 3.11 przedstawiono zależność liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F w poszczególnych stanach od pracy przewozowej VKT w danym stanie. Na podstawie analizy zestawionych danych można stwierdzić, że wraz ze wzrostem VKT rośnie liczba ofiar śmiertelnych. W tym przypadku regionami odstającymi są: Kalifornia, Floryda i Texas.



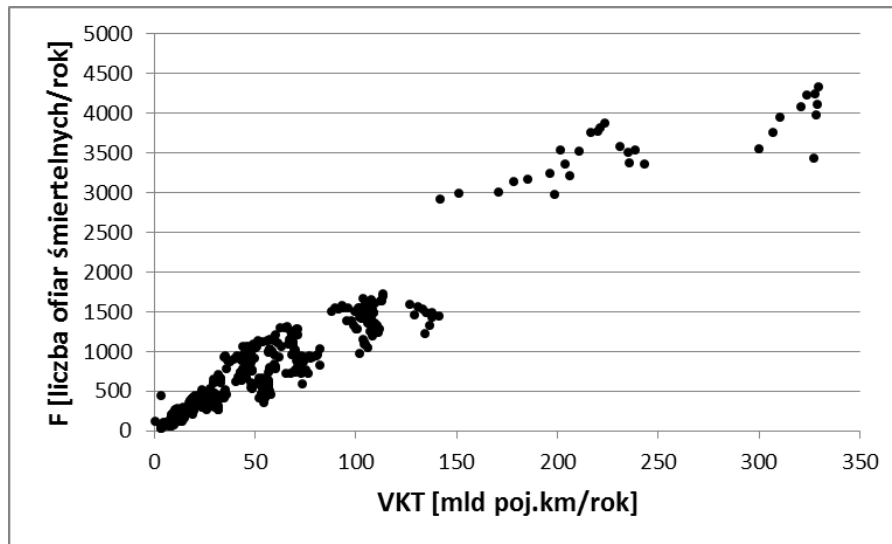
Rys. 3.9 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od populacji danego stanu P w stanach AP.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.10 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od produktu krajowego brutto danego stanu GDP w stanach AP.

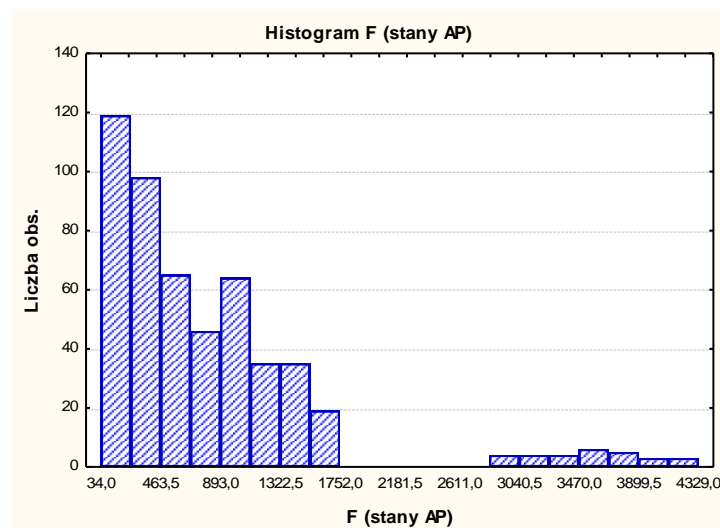
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.11 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od pracy przewozowej wykonywanej przez mieszkańców danego stanu w ciągu roku VKT w stanach AP.

Źródło: Opracowanie własne

Po przeprowadzeniu wstępnych analiz sprawdzono istnienie skupień stanów AP. Wykonano histogram liczby ofiar śmiertelnych F w poszczególnych stanach USA, w analizowanych 10 latach i okazało się, że stany AP tworzą swego rodzaju dwa skupienia (rys. 3.12). Pierwsze w zakresie wartości od 34 do ok. 1750 ofiar śmiertelnych/rok oraz drugie z przedziału od ok. 2600 do ok. 4300 ofiar śmiertelnych/rok.

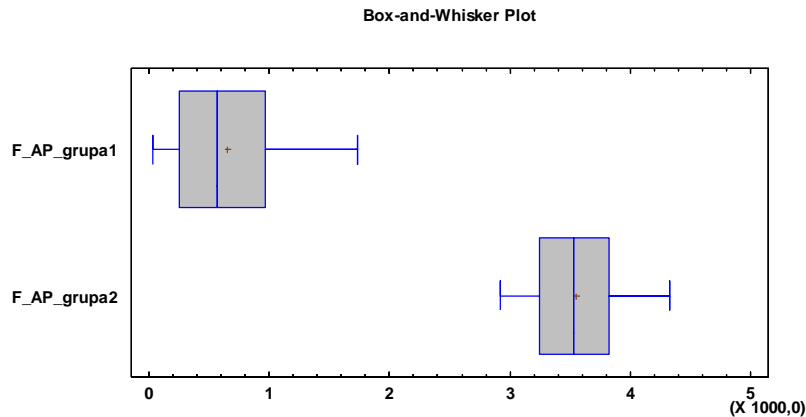


Rys. 3.12 Histogram liczby ofiar śmiertelnych w poszczególnych stanach AP.

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 3.13 przedstawiono wykres ramka-wąsy liczby ofiar śmiertelnych w dwóch wydzielonych grupach stanów AP. W tabelicy 3.6 przedstawiono statystyki opisowe liczby ofiar śmiertelnych F tych dwóch grup stanów, oraz zestawienie unormowanego wskaźnika względnego ofiar śmiertelnych RFR dla wszystkich stanów AP. Zauważalne jest, jak znacząco inne są te dwie grupy stanów. Poza znaczącą różnicą liczebności, wyraźna różnica występuje w średniej liczbie ofiar śmiertelnych w porównywanych grupach. Pierwsza grupa to większość

stanów, natomiast na drugą grupę stanów składają się trzy stany: Kalifornia, Texas i Floryda. W przypadku unormowania danych poprzez zastosowanie względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR statystyki charakteryzowały się mniejszym rozproszeniem i można je analizować w jednym zbiorze i tworzyć na nim modele opisowe. Okazało się również, że dane te tworzą jednorodny rozkład a najlepsze dopasowanie wykazały rozkłady Gamma, a w drugiej kolejności Weibulla (rys. 3.14).



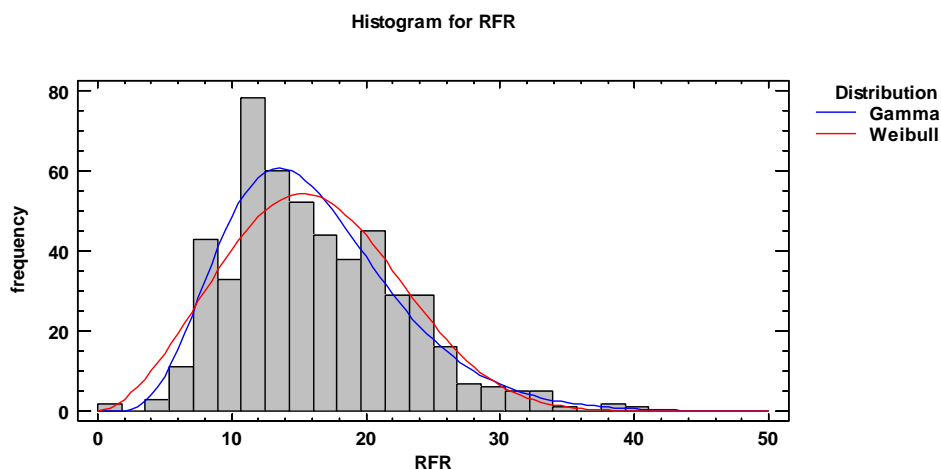
Rys. 3.13 Wykres ramka-wąsy dla dwóch wydzielonych grup stanów AP.
Źródło: Opracowanie własne

Tablica 3.6

Wartości statystyk podstawowych dla liczby ofiar śmiertelnych F w obu grupach danych z AP, oraz dla względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR we wszystkich stanach AP.

Statystyki	F (USA,grupa1)	F (USA,grupa2)	RFR (regiony AP)
Liczba elementów w bazie [sztuk]	481	29	510
Średnia wskaźnik [liczba]	646,6	3556,1	16,1
Odchylenie standardowe [liczba]	459,5	391,6	6,3
Współczynnik zmienności [%]	71,1	11,01	39,2
Maksymalna liczba [liczba]	34,0	2920,0	39,4
Minimalna liczba [liczba]	1729,0	4329,0	1,0
Rozstęp wartości [liczba]	1695,0	1409,0	38,4

Źródło: Opracowanie własne



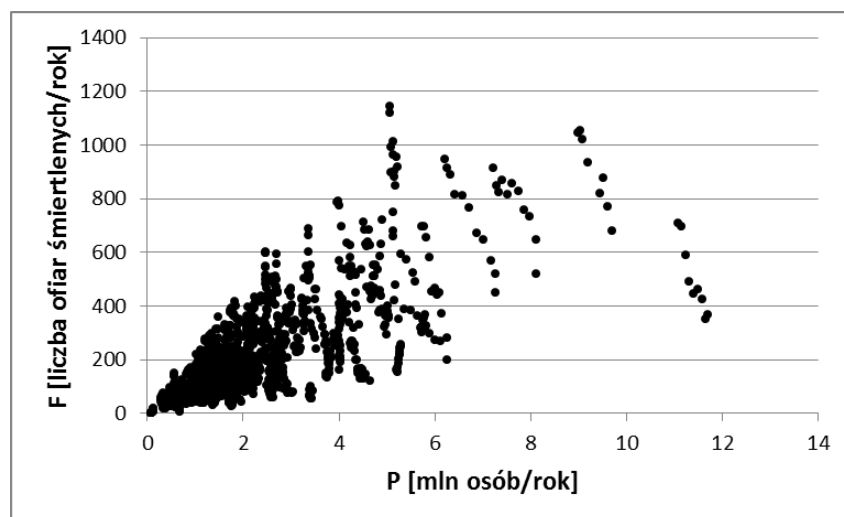
3.14
RFR

w poszczególnych regionach USA.

Źródło: Opracowanie własne

3.3.2 Wybrane regiony UE

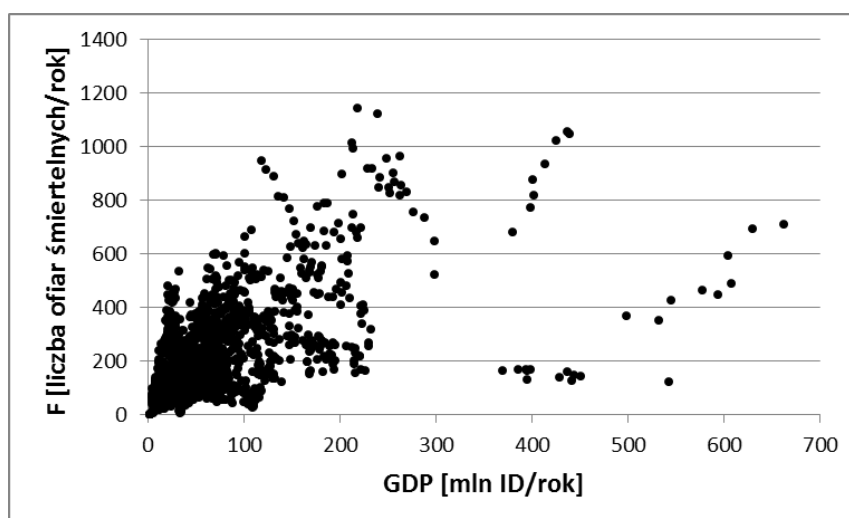
Na rysunku 3.15 przedstawiono zależność liczby ofiar śmiertelnych F w wypadkach drogowych od populacji danego regionu P . W przeciwieństwie do danych amerykańskich widać, że w pewnym momencie wraz ze wzrostem liczby ludności w regionie zaczyna zmniejszać się liczba ofiar śmiertelnych na drogach tego regionu. Może to wynikać między innymi z tego, że zróżnicowanie pod względem populacji pomiędzy regionami w Europie jest mniejsze niż w przypadku danych z USA.



Rys. 3.15 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych od populacji danego regionu P .

Źródło: Opracowanie własne

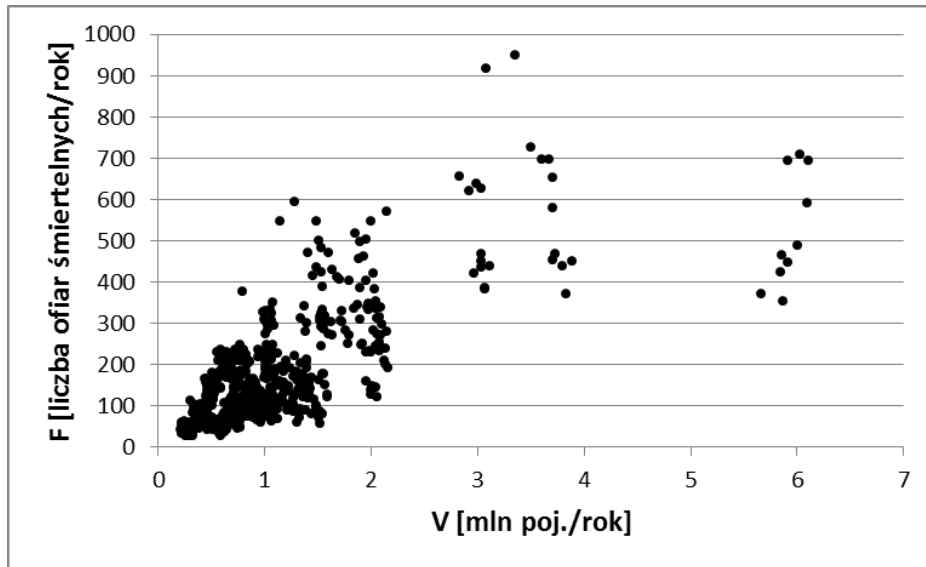
Na rysunku 3.16 pokazano zależność odnotowywanej corocznie liczby ofiar śmiertelnych F na sieci drogowej danego regionu od produktu krajowego danego regionu GDP . Można zaobserwować, że wraz ze wzrostem GDP rośnie liczba ofiar śmiertelnych, aż do momentu osiągnięcia punktu przegięcia i potem wraz ze wzrostem GDP liczba ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych maleje.



Rys. 3.16 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od produktu krajowego brutto danego regionu GDP .

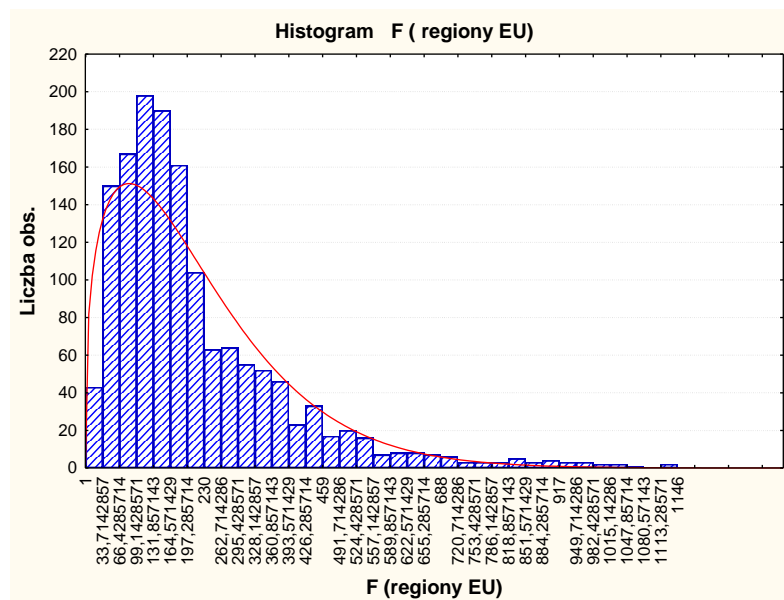
Źródło: Opracowanie własne

Ponieważ w przypadku regionów europejskich nie są zbierane dane o pracy przewozowej postanowiono dokonać próby sprawdzenia zależności pomiędzy liczbą pojazdów w regionie a liczbą ofiar śmiertelnych (rys. 3.17). Liczba ofiar śmiertelnych rośnie wraz ze wzrostem liczby pojazdów, a po osiągnięciu punktu przelamania zaczyna spadać. Histogram ofiar śmiertelnych dla danych europejskich można opisać rozkładem dwumianowym-ujemnym (rys. 3.18).



Rys. 3.17 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od liczby zarejestrowanych pojazdów w danym regionie V.

Źródło: Opracowanie własne

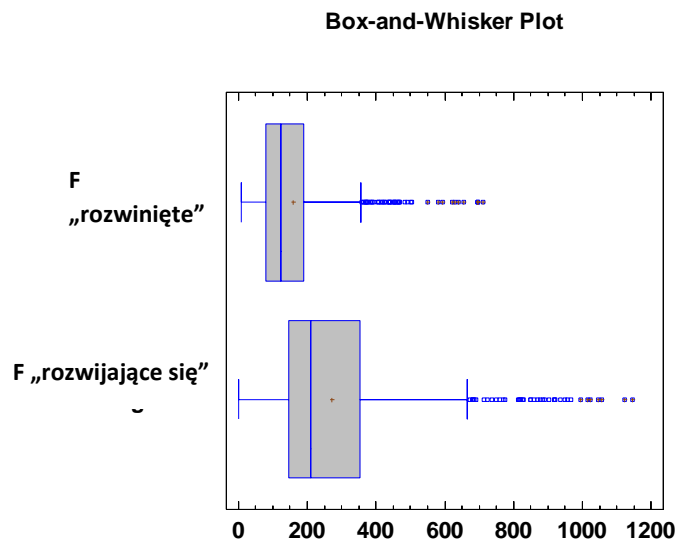


Rys. 3.18 Rozkład liczby ofiar śmiertelnych F w poszczególnych regionach Europy.

Źródło: Opracowanie własne

Analizy danych statystycznych oraz lektura wielu raportów o poziomie bezpieczeństwa i działaniach w poszczególnych krajach wskazały na występowanie różnic w poziomie bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz w zainwestowanych nakładach środków finansowych

na poprawę brd, a także różnic kulturowych w zachowaniach na drodze. Dlatego heurystycznie wydzielono dwie grupy krajów z całego zbioru. Kraje Europy zachodniej o wyższej kulturze bezpieczeństwa stanowi grupa krajów: Niemcy, Francja, Wlk.Brytania, Szwecja, na cele niniejszych analiz nazwana „rozwiniętymi”, druga grupa krajów to : Czechy, Polska, Słowacja, Węgry, Bułgaria, Rumunia, Hiszpania i Włochy, nazwana „rozwijającymi się”. Wykres ramka-wąsy pokazuje, że wytypowane dwie grupy rzeczywiście różnią się statystycznie od siebie (rys. 3.19). Potwierdzenie tego jest w zestawieniu podstawowych statystyk tych dwóch grup (tabl. 3.7)



Rys. 3.19 Wykres ramka wąsy wskaźnika (F) dla dwóch wydzielonych grup regionów europejskich.

Źródło: Opracowanie własne

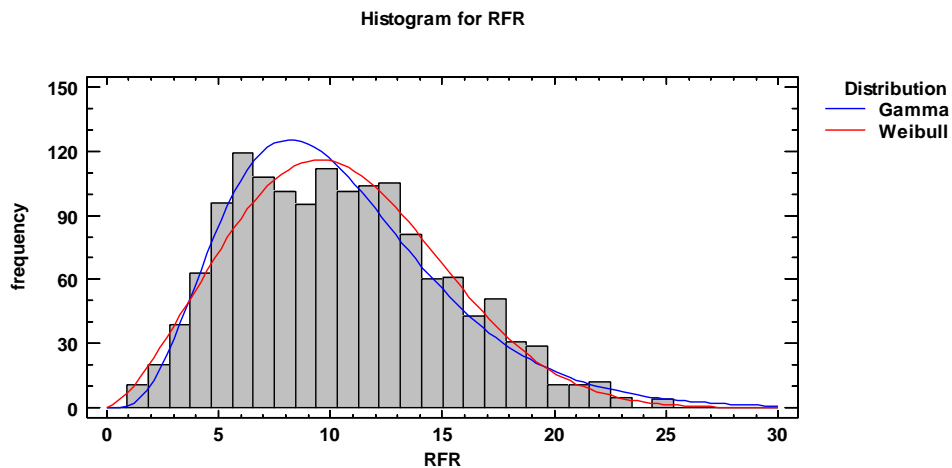
W tej samej tabelicy 3.7 zestawiono również podstawowe statystyki względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych dla obu grup regionów europejskich. Średni wskaźnik ofiar śmiertelnych wynosi dla grupy regionów rozwiniętych ok. 8 ofiar śmiertelnych/100 tys. mieszkańców, a w przypadku krajów „rozwijających się” 13 ofiar śmiertelnych/100 tys. mieszkańców. W celu sprawdzenia, czy obie grupy regionów mogą być analizowane razem, czy raczej powinny być analizowane osobno wykonano rozkład gęstości prawdopodobieństwa dla całego zbioru danych razem (rys. 3.20). Analiza rozkładu wykazała, że dane o względnym wskaźniku ofiar śmiertelnych we wszystkich regionach EU można opisać rozkładem Wiebulla lub Gamma.

Tablica 3.7

Wartości statystyk podstawowych liczby ofiar śmiertelnych F oraz względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR dla obu grup danych z Europy.

Statystyki	Frozwinęte	Frozwijające się	RFRrozwinęte	RFRrozwijające się
Liczba elementów w bazie [sztuk]	748	724	748	724
Średnia [liczba]	158,3	270,3	8,1	13,1
Odchylenie standardowe [liczba]	116,7	201,9	3,6	3,9
Współczynnik zmienności [%]	73,7	74,7	44,0	29,8
Minimalna wartość [liczba]	7,0	1,0	1,6	3,2
Maksymalna wartość [liczba]	711,0	1146,0	22,8	24,55
Rozstęp wartości [liczba]	704,0	1145,0	21,2	21,3

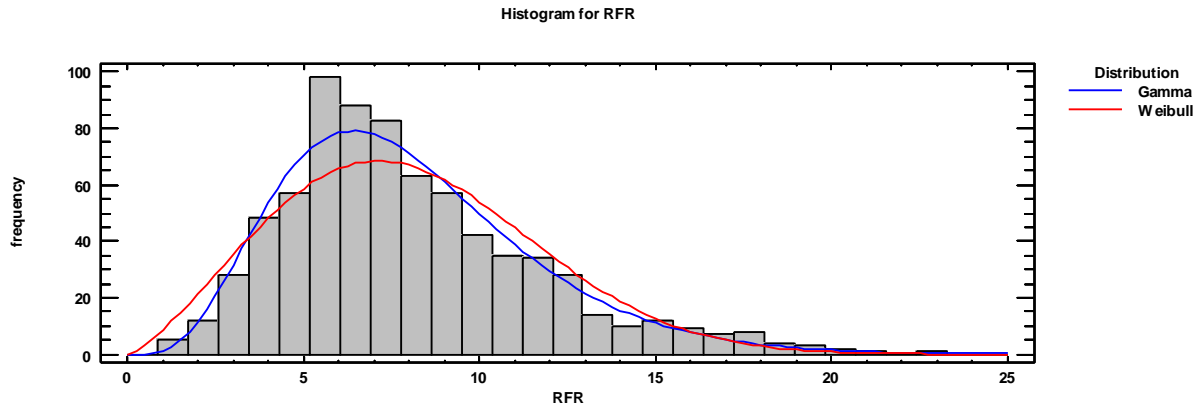
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.20 Rozkład gęstości prawdopodobieństwa dla wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w poszczególnych regionach Europy.

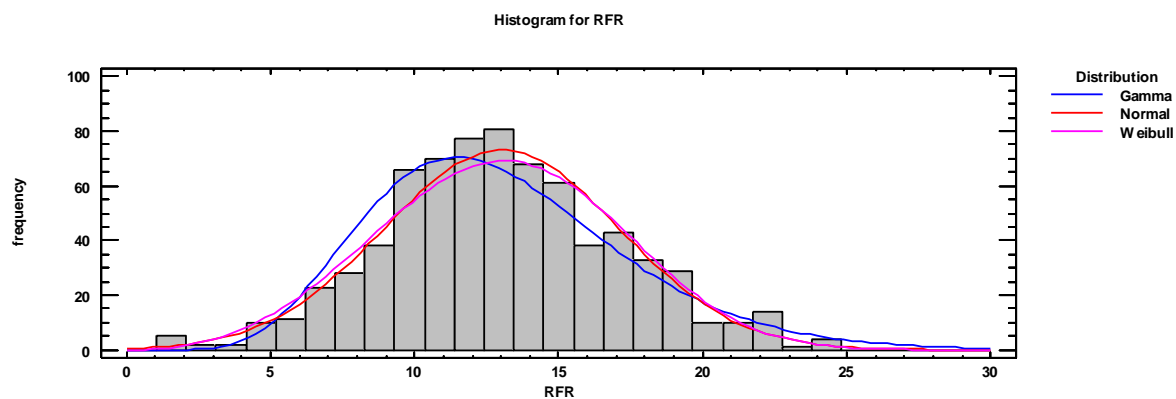
Źródło: Opracowanie własne

Jednak można ten rozkład potraktować jako złożenie dwóch rozkładów, gdyż jego kształt wskazuje na dwie mody, ponadto w analizie wcześniejszej dowiedziono, że kraje rozwinięte i rozwijające się w Europie różnią się pod względem statystycznym. Jak wynika z rys. 3.21 dane o względnym wskaźniku ofiar śmiertelnych RFR w regionach krajów z pierwszego skupienia (kraje rozwinięte) dają rozkład Gamma lub Weibulla. Przy czym rozkład Gamma wydaje się bardziej odpowiedni. W przypadku danych o wskaźniku demograficznym ofiar śmiertelnych drugiego skupienia lepszym wydaje się rozkład normalny (rys. 3.22).



RFR w poszczególnych regionach Europy-kraje „rozwinięte”

Źródło: Opracowanie własne



RFR w poszczególnych regionach Europy-kraje „rozwijające się”.

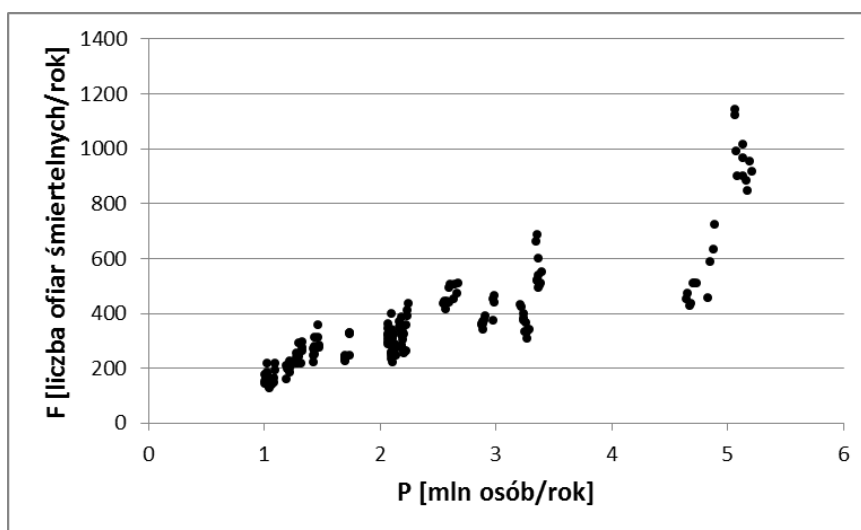
Źródło: Opracowanie własne

Podejście polegające na podzieleniu bazy europejskiej na kraje rozwinięte i rozwijające się wyłoniło się podczas prac nad modelami i zostało zastosowane w jednym z kroków podczas tych prac.

3.3.3 Województwa PL

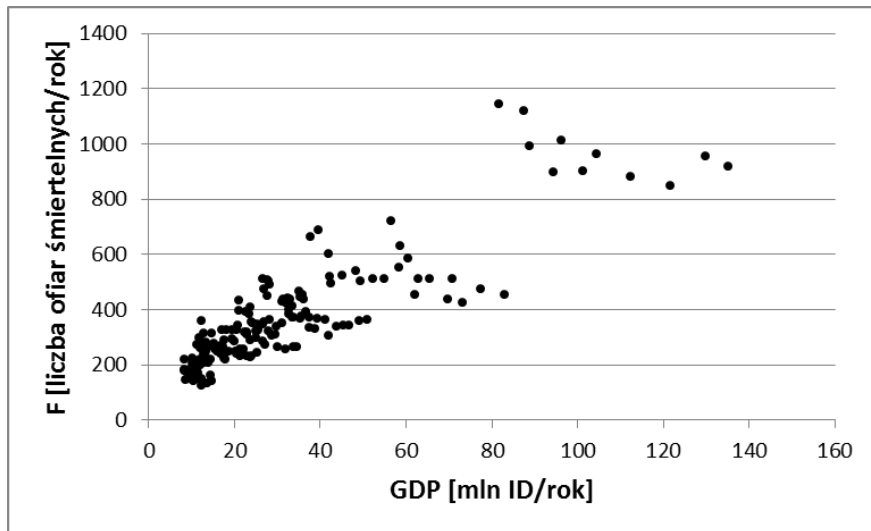
Analizując rysunek 3.23 można zauważyć, że wraz ze wzrostem liczby mieszkańców w województwie P wzrasta liczba ofiar śmiertelnych F w wypadkach drogowych.

Na rysunku 3.24 przedstawiono zależność liczby ofiar śmiertelnych F od produktu krajowego brutto przypadającego na dane województwo GDP. Można zaobserwować, że wraz ze wzrostem GDP rośnie liczba ofiar śmiertelnych w wypadkach.



Rys. 3.23 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od populacji danego regionu P.

Źródło: Opracowanie własne

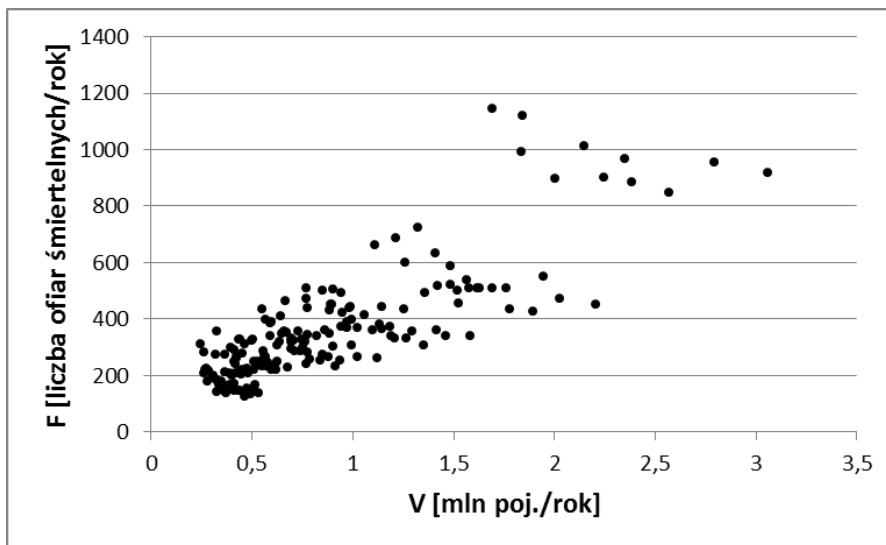


Rys. 3.24 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od produktu krajowego brutto danego województwa GDP.

Źródło: Opracowanie własne

Na rys. 3.25 przedstawiono zależność liczby ofiar śmiertelnych F od liczby zarejestrowanych pojazdów w danym województwie V. Tendencja jest podobna jak w przypadku produktu krajowego brutto GDP.

Na każdym z wykresów wyraźnie odstającymi danymi, są dane dla województwa mazowieckiego.

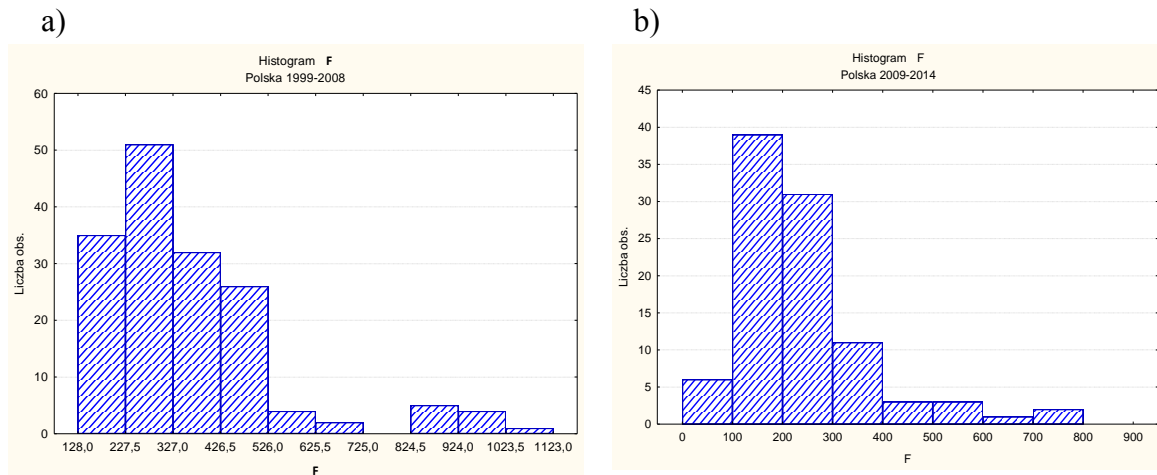


Rys. 3.25 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od liczby zarejestrowanych pojazdów w danym województwie V.

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 3.26 przedstawiono histogramy liczby ofiar śmiertelnych w polskich województwach w latach 1999-2008 oraz 2009-2014. Pierwszy z nich ma podobny kształt do histogramu dla regionów europejskich. W analizowanym okresie jednak najczęściej województw odnotowało od 227 do 327 ofiar śmiertelnych, podczas gdy dla całej Europy był to przedział pomiędzy 130-200 ofiar (rys.3.18). W przypadku danych z lat 2009-2014 był to już

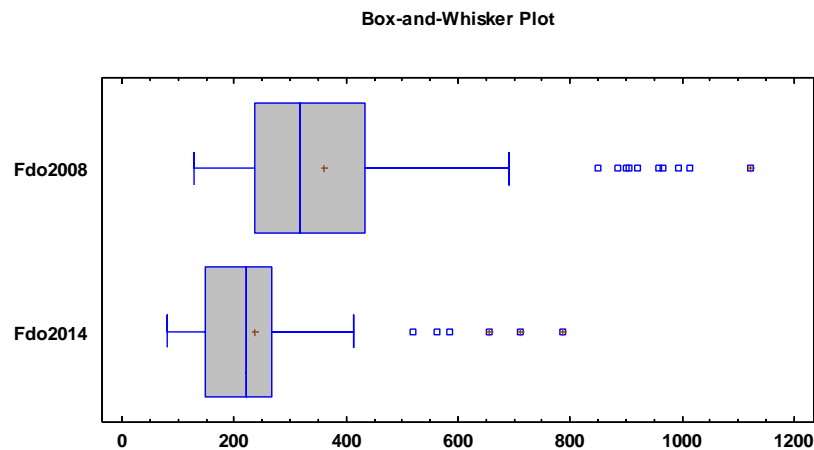
przedział pomiędzy 100-200 ofiar śmiertelnych. Na wykresie ramka-wąsy (rys. 3.27) widać, że jest województwo odstające od pozostałych. Szczegółowa analiza wykazała, że jest to woj. mazowieckie. Dla całej grupy danych z lat 1999-2008 najmniejsza roczna liczba ofiar śmiertelnych na drogach wynosiła 128 osób natomiast największa 1123 osoby, natomiast w przypadku bazy z lat 2009-2014 przedział ten wynosił od 81 do 786 ofiar.



Rys. 3.26 Histogramy liczby ofiar śmiertelnych w poszczególnych województwach: a) w latach 1999-2008, b) w latach 2009-2014.

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 3.27 przedstawiono wykresy ramka-wąsy dla obu baz danych z województw. Mimo, że widać polepszenie się poziomu bezpieczeństwa na polskich drogach, to nadal część danych odstaje. W przypadku obu baz są to dane z województwa mazowieckiego.



Rys. 3.27 Wykres ramka wąsy dla polskich województw w latach 1999-2008 oraz 2009-2014. Źródło: Opracowanie własne

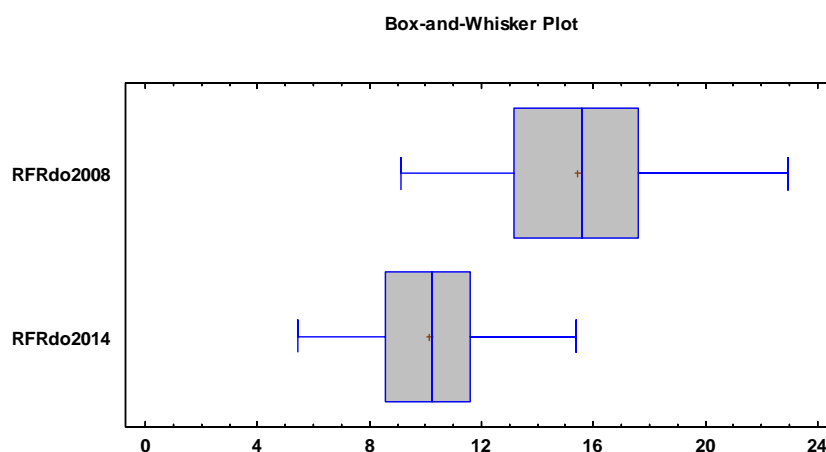
Porównanie podstawowych statystyk liczby ofiar śmiertelnych F w tabelicy 3.8 dla obu okresów wskazuje, że znacząco spadła średnia liczba ofiar śmiertelnych w poszczególnych województwach. Dane również są mniej zróżnicowane. W tej samej tabelicy porównano również podstawowe statystyki względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR. Warto zauważyć, że wskaźnik ten zmalał w nowszej bazie o 30%. Różnice w przypadku obu baz jeszcze lepiej widać w przypadku wykresu ramka-wąsy (rys. 3.28).

Tablica 3.8

Wartości statystyk podstawowych liczby ofiar śmiertelnych F oraz względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR dla polskich województw w latach 1999-2008 i w latach 2009-2014.

Statystyki	F do 2008	F do 2014	RFR do 2008	RFR do 2014
Liczba elementów w bazie [sztuk]	160	96	160	96
Średnia wartość [liczba]	359,2	237,5	15,4	10,1
Odchylenie standardowe [liczba]	192,4	131,0	3,02	2,15
Współczynnik zmienności [%]	53,6%	55,1%	19,5	21,20
Minimalna wartość [liczba]	128,0	81,0	9,1	5,4
Maksymalna wartość [liczba]	1123,0	786,0	22,9	15,4
Rozstęp wartości [liczba]	995,0	705,0	13,8	9,9

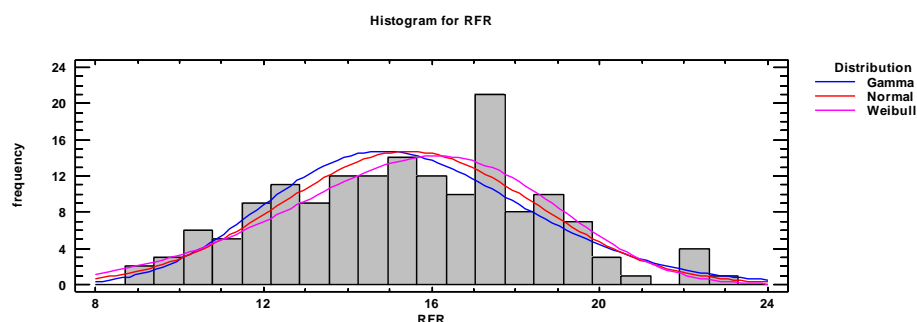
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.28 Wykres ramka wąsy dla polskich województw w latach 1999-2008 (RFRdo2008) i 2009-2014 (RFRdo2014).

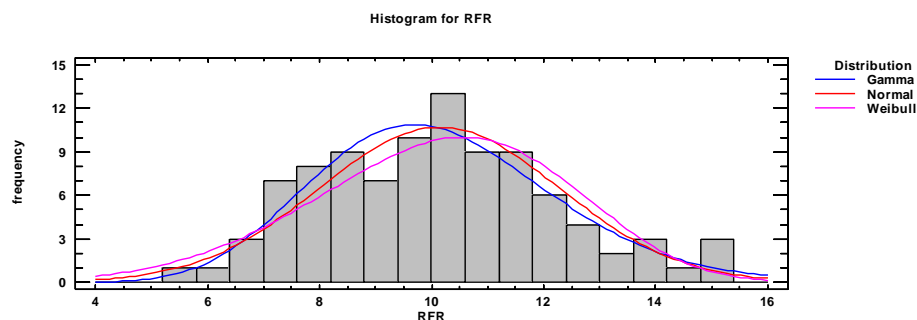
Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie analizy rozkładów gęstości prawdopodobieństwa wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w województwach w Polsce, w latach 1999-2008 (RFRdo2008) oraz 2009-2014 (RFRdo2014), stwierdzono, że najlepiej dopasowanym rozkładem jest rozkład normalny, w drugiej kolejności Weibulla lub Gamma (rys. 3.29 i rys. 3.30).



Rys. 3.29 Rozkład gęstości prawdopodobieństwa wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w polskich województwach w latach 1999-2008.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3.30 Rozkład gęstości prawdopodobieństwa wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w polskich województwach w latach 2009-2014.

Źródło: Opracowanie własne

3.3.4 Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych analiz wysnuto następujące wnioski:

- Dane ze stanów AP i regionów EU nie mogą być analizowane wspólnie z uwagi na różnice skali tych regionów, dostępność zmiennych oraz zakres zmian analizowanych miar ryzyka.
- Baza stanów AP umożliwia dostęp do znacznie większej liczby zmiennych niezależnych opisujących regiony niż dane z regionów EU, co może poszerzyć zakres tworzonych modeli miar ryzyka. Jednocześnie zauważono duże rozproszenie tych danych i swego rodzaju podgrupy podobnych do siebie regionów, co mogłoby utrudnić użycie ich do modelowania w jednym zbiorze.
- W przypadku danych europejskich można zauważyć, że regiony tworzą pewne grupy o wspólnych cechach. Zaproponowano wstępnie podzielenie ich na dwa zbiory regionów roboczo nazwanych „rozwinęte” i „rozwijające się” co ułatwi budowę bardziej dopasowanych modeli opisowych. Jednocześnie należy podkreślić dużą mniejszą liczbę charakterystyk opisujących regiony europejskie niż w przypadku danych amerykańskich.
- W przypadku województw poza danymi z bazy EU w baza ta została uzupełniona o dane z bazy Głównego Urzędu Statystycznego, a także o inne dostępne dane. Uzupełnienie danych z lat 1999-2008 o kolejne lata 2009-2014 okazało się przynajmniej we wstępnych analizach słusznym posunięciem. Możliwe było dzięki temu zebranie większej ilości zmiennych.

4 KONCEPCJA BUDOWY MODELI MATEMATYCZNYCH

Przeprowadzone studia literatury, zebranie danych i przygotowanie baz danych oraz charakterystyka obiektów badań stanowiły podstawę do opracowania koncepcji budowy modeli matematycznych miar ryzyka w regionach. Koncepcja opisuje: założenia, podstawy teoretyczne czyli metodologię rozwiązania postawionych problemów oraz procedury i narzędzia zastosowane do budowy modeli matematycznych miar ryzyka.

4.1 Założenia

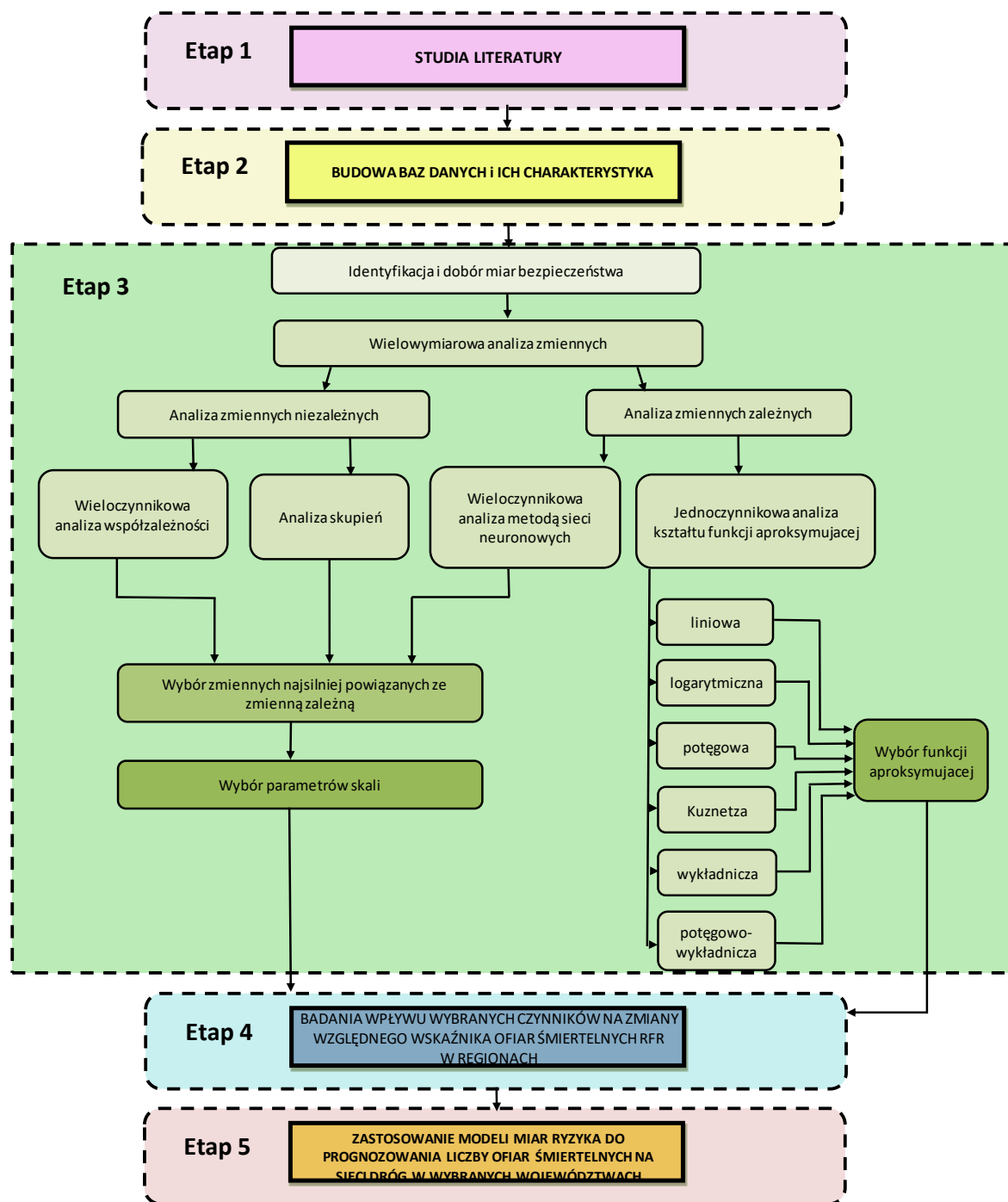
Przystępując do opracowania koncepcji budowy modeli matematycznych przyjęto, następujące założenia:

- 1) Obiektem badań jest region administracyjny kraju odpowiadający województwu w Polsce, regionom NUTS 2 w Unii Europejskiej i stanom w Ameryce Północnej.
- 2) Podstawy teoretyczne do budowanych modeli wywodzą się z teorii przyczynowych, systemowych i behawioralnych stosowanych w bezpieczeństwie ruchu drogowego.
- 3) Opracowane modele powinny:
 - a. bazować na funkcji zależności miar ryzyka od źródeł zagrożenia,
 - b. umożliwiać szacowanie poszczególnych składowych miar ryzyka w sposób ilościowy, przy czym minimalnym ziarnem opisującym regiony powinien być „regiono-rok”,
 - c. dać się zastosować do opisu miar ryzyka w zależności od istniejących uwarunkowań (aktualnych lub historycznych zmiennych niezależnych) oraz do prognozowania miar ryzyka w zależności od przewidywanych zmian uwarunkowań (przewidywanych lub założonych zmiennych niezależnych),
 - d. ułatwiać zarządzanie ryzykiem i wspomagać ochronę zdrowia i życia w ruchu drogowym społeczeństwa zamieszkujące na obszarze wybranego regionu, poprzez dostarczenie obiektywnego i skutecznego narzędzia do:
 - oceny ryzyka istniejącej i planowanej sieci dróg na poziomie regionalnym,
 - przygotowania regionalnych programów poprawy bezpieczeństwa ruchu,
 - wyboru skutecznych i efektywnych działań strategicznych na rzecz brd na poziomie regionalnym.
4. Podstawowymi modelami powinny być modele wieloczynnikowe uwzględniające najważniejsze czynniki (źródła zagrożeń), umożliwiające oszacowanie wpływu różnych rodzajów interwencji i działań wzmacniających pozytywne wpływy lub zmniejszających albo eliminujących negatywne wpływy analizowanych czynników.
5. Zastosowane narzędzia matematyczne powinny umożliwiać uwzględnienie budowy modeli wieloczynnikowych, ale jednocześnie powinny być użyteczne do praktycznego zastosowania.
6. Procedura budowy modeli powinna obejmować co najmniej następujące elementy [90]:
 - dobór zbioru najistotniejszych zmiennych zależnych i niezależnych,
 - opracowanie struktury modelu,
 - dobór rodzaju funkcji najlepiej opisujących dane rzeczywiste,

- dobór parametrów modeli,
- weryfikacja i kalibracja modeli.

4.2 Metodyka postępowania

Na rys. 4.1 przedstawiono schemat metodyki budowy modeli wybranych miar ryzyka uwzględniający przyjęte założenia.



Rys. 4.1 Metodyka analizy zmiennych.

Źródło: Opracowanie własne

4.3 Analiza i wybór zmiennych zależnych i niezależnych

4.3.1 Identyfikacja i dobór miar strategicznego ryzyka społecznego

W badaniach nad bezpieczeństwem ruchu drogowego najczęściej analizuje się bezwzględną liczbę wypadków, liczbę rannych lub liczbę ofiar śmiertelnych na drogach na danym obszarze [29,38,128,145]. Takie podejście jest poprawne w przypadku, gdy analizy dotyczą danych o regionach o porównywalnej populacji czy powierzchni. W przypadku zestawienia w jednym zbiorze danych o regionach o dużym zróżnicowaniu, bardziej wskazane jest wprowadzenie zmiennych unormowanych. Takie właśnie podejście zastosowano w niniejszej dysertacji. Nie analizowano liczby wypadków oraz liczby rannych z uwagi na dwa problemy. W przypadku ofiar rannych problem polega na braku ujednoczenia definicji ofiary rannej we wszystkich krajach objętych analizą. Wobec tego porównywanie statystyk o danych zbieranych w różny sposób jest obciążone dużym błędem i może prowadzić do zafałszowanych wniosków. Temat został szczegółowo opisany przez Jamroza [91], który wskazał na znaczące różnice w klasyfikacji osób rannych np. w Polsce i Wlk. Brytanii czy Niemiec. Na przykład w Polsce do ofiar rannych nie wlicza się osób lekko rannych co skutkuje niedoszacowaniem tej liczby i brakiem możliwości oceny liczby ofiar rannych pomiędzy wyżej wymienionymi krajami. Analogiczna sytuacja występuje w przypadku definicji wypadku drogowego.

Dodatkowym argumentem za skupieniem się jedynie na ofiarach śmiertelnych na drogach, jest póki co duży problem liczby tych ofiar w wypadkach drogowych w Polsce. W przypadku danych ze Stanów Zjednoczonych, w generalnej bazie danych dla wszystkich stanów zbierane są tylko informacje o liczbie ofiar śmiertelnych.

Danymi wyjściowymi wszystkich analiz była liczba ofiar śmiertelnych F w danym regionie. Ze względu na duże zróżnicowanie rejonów (liczby mieszkańców, powierzchni itd.) w dalszych pracach wykorzystano względną wartość tej miary tj. względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych RFR. Z punktu widzenia podejścia bazującego na ryzyku przyjęte miary zakwalifikowano odpowiednio: F jako miarę ogólną społecznego ryzyka strategicznego, natomiast RFR jako miarę unormowaną społecznego ryzyka strategicznego.

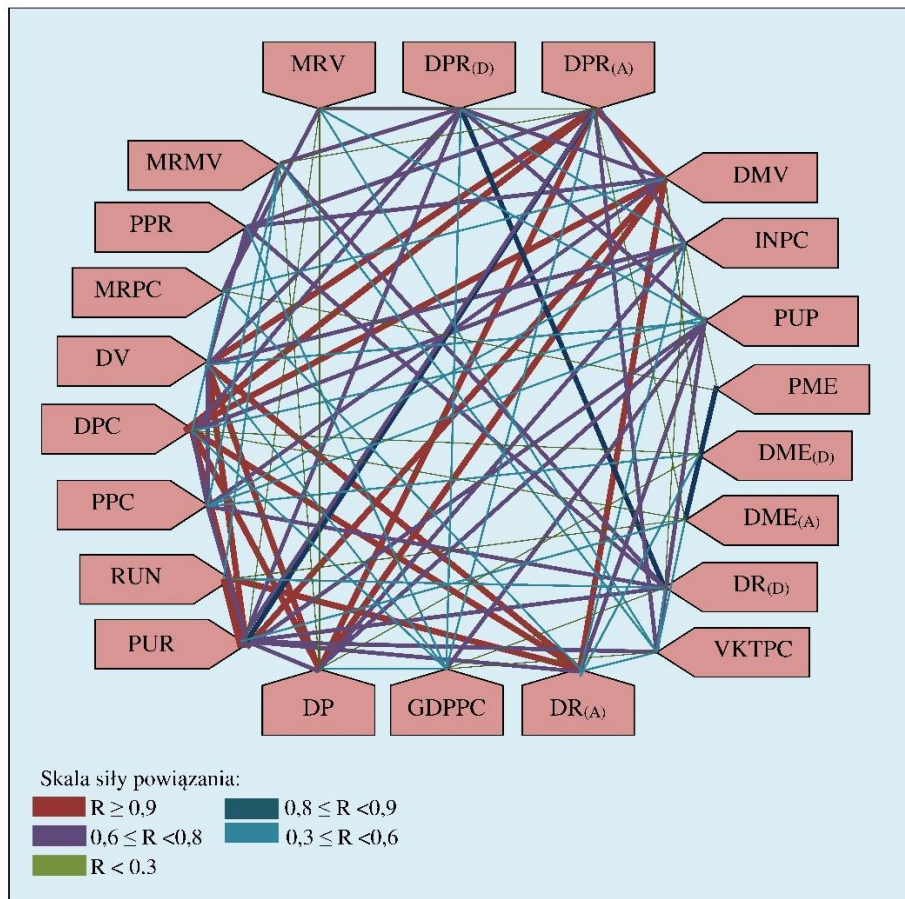
4.3.2 Identyfikacja i dobór zmiennych niezależnych

Listy i charakterystykę zmiennych dla każdej grupy regionów przedstawiono w tablicach 3.3 – 3.5. Analizując zmienne, w pierwszej kolejności sprawdzono siłę zależności pomiędzy zmiennymi. Do badania siły zależności między zmiennymi X i Y wykorzystano współczynnik korelacji liniowej Pearsona R . Siłę obliczonych współzależności pokazano na rysunkach grubością linii. Badania zostały przeprowadzone dla każdej z 3 baz osobno.

Kolejnym krokiem było wytypowanie zbioru czynników przyjętych do wieloczynnikowego modelu matematycznego, opisującego wpływ poszczególnych zmiennych niezależnych na wybrane miary strategicznego ryzyka społecznego. Zastosowano do tego moduł "Dobór i eliminacja zmiennych" pakietu STATISTICA [236], wykorzystujący unikalne algorytmy DATA MINING umożliwiające wykrycie powiązań liniowych i nieliniowych analizowanych zmiennych. Za pomocą regresji wielokrotnej obliczana jest statystyka Fishera (F), której większa wartość świadczy o silniejszym powiązaniu

z analizowaną zmienną zależną [177]. Analizy zostały przeprowadzone dla każdej z 3 baz osobno.

Stany AP. Wyniki badania siły zależności pomiędzy zmiennymi przedstawiono w sposób graficzny na rysunku rys. 4.2. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że gęstość pojazdów ogółem DV czy gęstość samochodów osobowych DPC jest silnie powiązana liniowo z gęstością dróg twardych $DPR_{(A)}$, gęstością dróg ogółem $DR_{(A)}$ i gęstością zaludnienia DP. Poziom bezrobocia RUN jest wysoko skorelowany m.in. z gęstością dróg ogółem $DR_{(A)}$ oraz gęstością samochodów osobowych DPC, a także z procentem dróg w terenie zabudowanym PUR. Jest to korelacja rzędu ponad 90%.

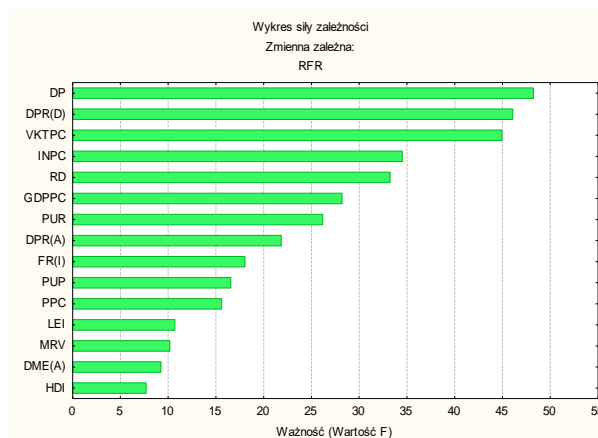


Rys. 4.2 Zestawienie siły współzależności pomiędzy wybranymi zmiennymi niezależnymi dla bazy danych o USA.

Źródło: Opracowanie własne

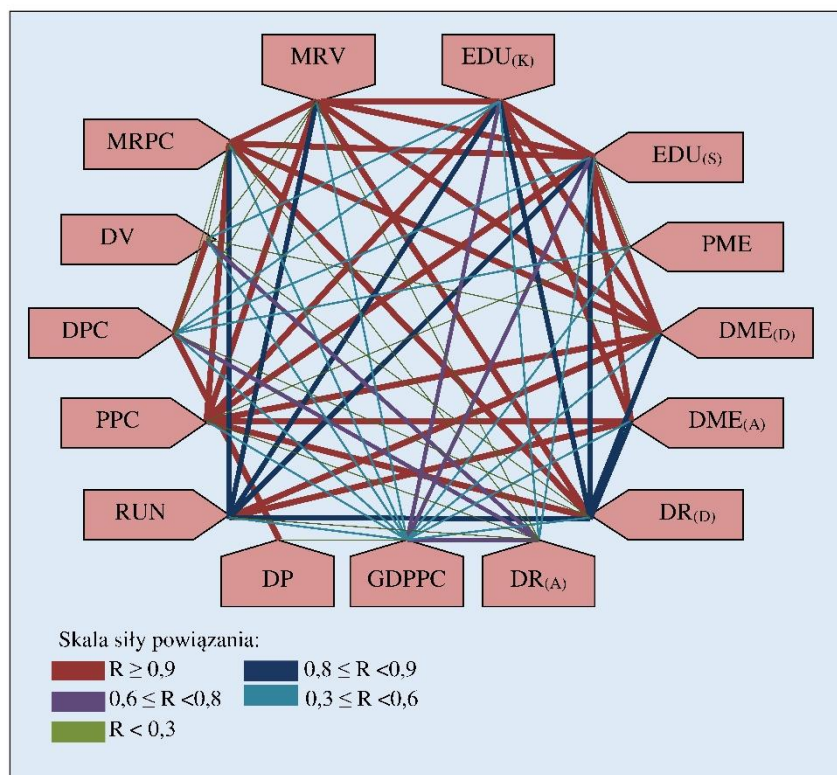
Wyniki badania siły zależności pomiędzy zmienną zależną RFR i zmiennymi niezależnymi przedstawiono w sposób graficzny (w formie rankingu) na rysunku rys. 4.3. Z przedstawionego rankingu wynika, że najsilniej wpływającymi zmiennymi niezależnymi na wielkość RFR są: gęstość zaludnienia DP, gęstość demograficzna dróg twardych $DPR_{(D)}$ oraz jednostkowa praca przewozowa VKTPC, a następnie jednostkowy dochód mieszkańca INPC oraz wskaźnik lekarzy RD. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC gorzej opisuje analizowaną zmienną zależną niż jednostkowy dochód INPC. Procent dróg w terenie zabudowanym PUR oraz gęstość dróg twardych $DPR_{(A)}$ znalazły się na kolejnych pozycjach. Wskaźnik motoryzacji ogółem MRV znajduje się pod

koniec listy wybranych przez program determinant i otrzymał ponad 4-krotnie niższy wskaźnik ważności od pracy przewozowej. Można na tej podstawie postawić hipotezę, że w przypadku braku danych o pracy przewozowej trudno znaleźć zmienną zastępczą w podobnie dobry sposób opisującą analizowany wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR.



Rys. 4.3 Wykres siły zależności poszczególnych zmiennych na RFR dla bazy stanów AP.
Źródło: Opracowanie własne

Regiony EU. Wyniki badania siły zależności pomiędzy zmiennymi przedstawiono w sposób graficzny na rysunku rys. 4.4.

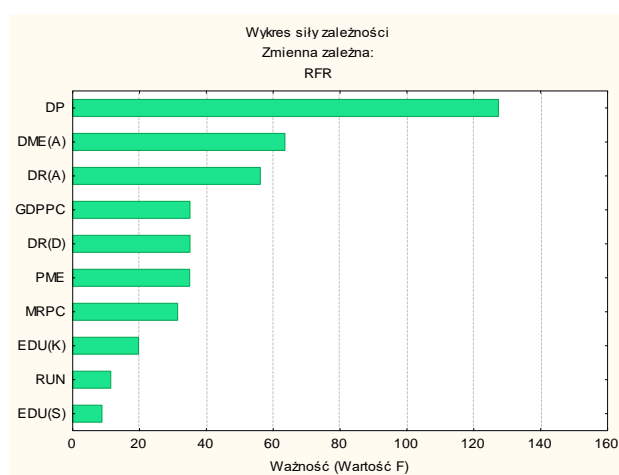


Rys. 4.4 Zestawienie siły współzależności pomiędzy wybranymi zmiennymi niezależnymi dla bazy danych z Europy.

Źródło: Opracowanie własne

Zaobserwowano więcej liniowych powiązań między innymi pomiędzy wskaźnikiem motoryzacji samochodów osobowych MRPC a gęstością demograficzną dróg ogółem $DR_{(D)}$, procentem studentów i licealistów $EDU_{(S)}$, czy gęstością demograficzną autostrad i dróg ekspresowych $DME_{(D)}$. Procent samochodów osobowych PPC jest silnie powiązany liniowo ze wskaźnikiem motoryzacji MRV, gęstością autostrad i dróg ekspresowych $DME_{(A)}$ a także z odsetkiem licealistów i studentów $EDU_{(S)}$ oraz dzieci objętych wychowaniem przedszkolnym $EDU_{(K)}$.

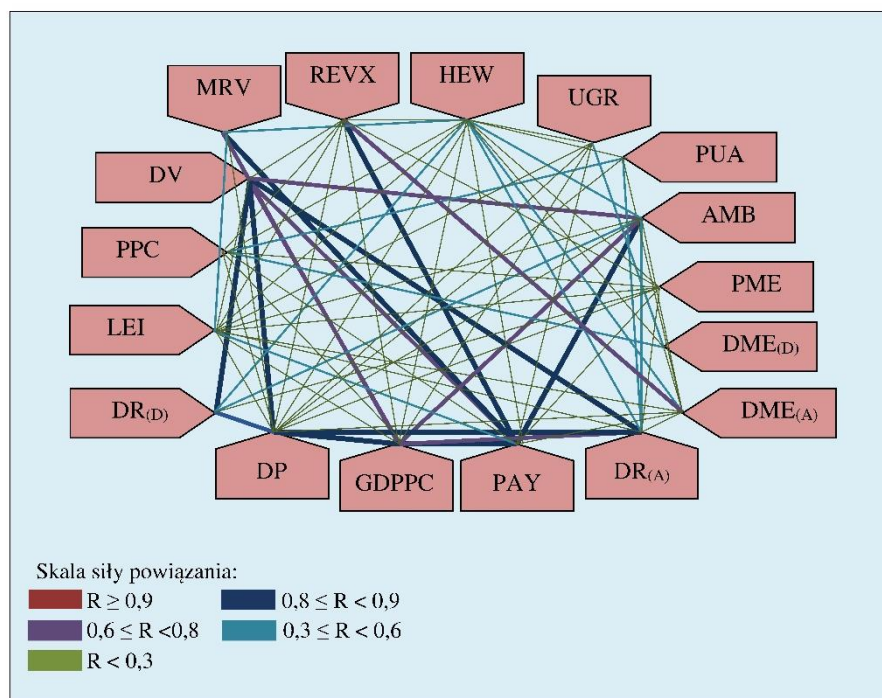
Wyniki badania siły zależności pomiędzy zmienną zależną RFR i zmiennymi niezależnymi przedstawiono w sposób graficzny (w formie rankingu) na rysunku rys. 4.5. Z przedstawionego rankingu wynika, że najsilniej wpływającymi zmiennymi niezależnymi na wielkość RFR są zmienne: gęstość zaludnienia DP, gęstość autostrad $DME_{(A)}$, dalej gęstość dróg ogółem $DR_{(A)}$ i jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC, który został oceniony podobnie jak gęstość demograficzna dróg ogółem $DR_{(D)}$. Na liście znalazł się również m.in. wskaźnik motoryzacji pojazdów osobowych MRPC oraz poziomu bezrobocia RUN.



Rys. 4.5 Wykres siły zależności poszczególnych zmiennych na RFR dla bazy danych regionów EU.

Źródło: Opracowanie własne

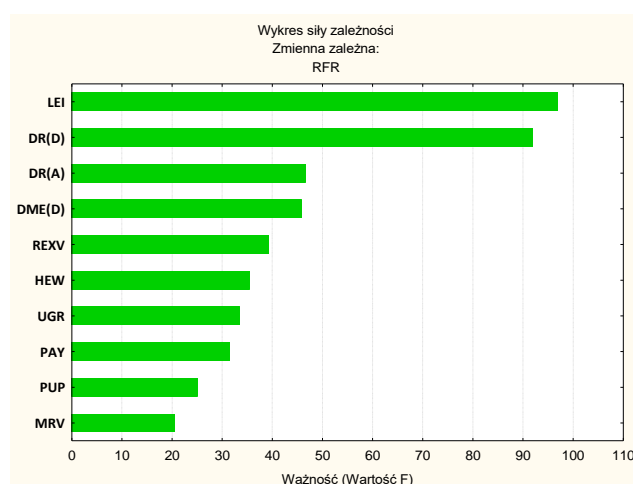
Województwa PL. Wyniki badania siły zależności pomiędzy zmiennymi przedstawiono w sposób graficzny na rysunku rys. 4.6. Zaobserwowano liniowe powiązania między innymi pomiędzy jednostkowym produktem krajowym brutto GDPPC a wynagrodzeniem brutto PAY, ilością zespołów ratownictwa medycznego i zespoły wyjazdowe AMB a także wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem MRV. Gęstość pojazdów ogółem DV silnie skorelowana jest z gęstością zaludnienia DP oraz gęstością demograficzną dróg ogółem $DR_{(D)}$. Wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem MRV silnie powiązany jest z wydatkami na drogi wojewódzkie REXV. Gęstość demograficzna dróg ogółem $DR_{(D)}$ skorelowany jest z liczbą zespołów ratownictwa medycznego i zespołów wyjazdowych (AMB a także z liczbą szpitalnych oddziałów ratunkowych HEW).



Rys. 4.6 Zestawienie siły współzależności pomiędzy wybranymi zmiennymi niezależnymi dla bazy danych z Polski.

Źródło: Opracowanie własne

Wyniki badania siły zależności pomiędzy zmienną zależną RFR i zmiennymi niezależnymi przedstawiono w sposób graficzny (w formie rankingu) na rysunku rys.4.7. Z przedstawionego rankingu wynika, że najsilniej wpływającymi zmiennymi niezależnymi na wielkość RFR są zmienne: wskaźnik przeciętnej długości życia LEI oraz gęstość demograficzna dróg ogółem $DR_{(D)}$. Dalej znalazły się gęstość dróg ogółem $DR_{(A)}$ i gęstość demograficzna autostrad i ekspresowych $DME_{(D)}$.



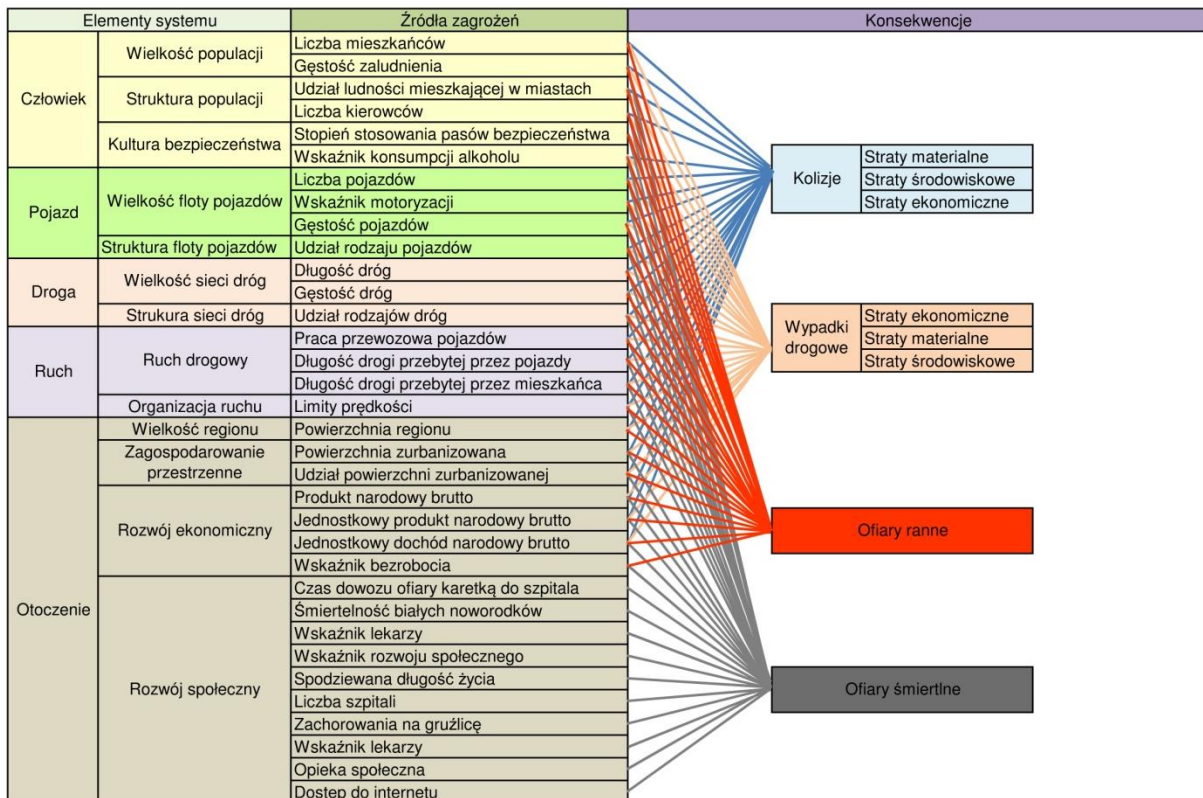
Rys. 4.7 Wykres siły zależności poszczególnych zmiennych na RFR dla bazy danych województw PL.

Źródło: Opracowanie własne

Wskazano również na wpływ wydatków na drogi wojewódzkie REXV oraz liczby szpitalnych oddziałów ratunkowych HEW. Wskaźnik motoryzacji ogółem MRV znalazł się na siódmym miejscu pod względem wpływu na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR i z przeprowadzonej analizy wynika, że jest ona ponad trzy razy słabiej powiązana niż np. wskaźnik spodziewanej długości życia LEI.

Porównując obie analizy wieloczynnikowe można zauważyć silniejsze powiązanie większej liczby zmiennych niezależnych ze zmienną zależną w zbiorze amerykańskim niż europejskim. Może się to wiązać z większą trudnością stworzenia wieloczynnikowego modelu o wysokiej mierze dobroci dla regionów europejskich niż dla stanów USA.

Na rysunku 4.8 wykorzystano model typu ButterFly przedstawiający zależności pomiędzy zmiennymi niezależnymi, reprezentującymi funkcjonowanie systemu Człowiek - Pojazd - Droga - Ruch - Otoczenie CPDRO przedstawionego na rys. 2.4 na poziomie strategicznym, a skutkami w zdarzeniach niebezpiecznych. Wskazano elementy systemu, możliwe źródła zagrożeń, o których można znaleźć informacje na poziomie regionalnym w bazach danych oraz możliwe konsekwencje wynikające z działania elementów systemu.



Rys. 4.8 Model zależności pomiędzy zmiennymi niezależnymi a stratami w zdarzeniach niebezpiecznych dla wybranych regionów.

Źródło: Opracowanie własne

4.3.3 Analiza podziału regionów na grupy bazowe

Biorąc pod uwagę duże rozproszenie danych, spróbowano zastosować analizę skupień w celu sprawdzenia, czy można podzielić analizowane regiony na grupy bazowe i w ten sposób umożliwić stworzenie modeli lepiej odwzorowujących rzeczywistość z uwzględnieniem tego podziału. Analizy wykazały, że regiony mogą tworzyć pewne jednolite struktury

i postanowiono sprawdzić czy za pomocą analizy skupień da się takie struktury wyłonić. Na bazie danych regionalnych z 4 krajów: Wlk. Brytanii, Niemiec, Francji i Hiszpanii dla roku 2008 stworzono podbazę składającą się ze 110 regionów. W każdym z wcześniejszych podejść do zagadnienia modelowania okazywało się, że bardzo duży wpływ na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego mają jednostkowy produkt krajowy brutto oraz gęstość zaludnienia. Do tego wykorzystano analizę skupień, biorąc pod uwagę trzy zmienne: poziom bezpieczeństwa liczony jako względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR, gęstość zaludnienia DP oraz jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC.

W celu wyłonienia liczby potencjalnych skupień wykorzystano drzewa klasyfikacyjne używając metodę Warda, a odległości między skupieniami obliczono metodą Czybyszewa. Dzięki zastosowanej metodzie możliwe było pogrupowanie przypadków z uwagi na najbliższe sąsiedztwo niezależnie od badanej cechy.

Na rysunku 4.9 pokazano wyniki badań z zastosowaniem analizy skupień, którą wykonano metodą k-średnich maksymalizując odległości przy założeniu 10 skupień. Analiza skupień jest wielowymiarową techniką klasyfikowania obserwacji w jednorodne grupy bazowe nazywane klastrami (clusters). Celem takiej klasyfikacji jest przypisanie podobnych do siebie obserwacji do jednego klastra, który jest jednocześnie różny od pozostałych klastrów ze względu na badane cechy. Stopień podobieństwa i różnic może być określany na podstawie odnotowanych wartości dla jednej lub wielu charakterystyk przypadków [48]. Procedura grupowania wymaga podobieństwa ilościowego. Jedną z miar ilościowych dla danych działki odczytowej jest odległość między przypadkami (obserwacjami). Jednym ze sposobów obliczenia tego jest obliczenie odległości Czebyszewa [5]. Metoda ta polega na obliczeniu bezwzględnej wielkości różnic między współrzędnymi pary obiektów według składowych wektora w R wymiarowej przestrzeni (charakterystyk, czynników):

$$d(X, Y) = \max(|x_1 - y_1|, |x_2 - y_2|, \dots, |x_r - y_r|) \quad (4.1)$$

Metoda K-średnich polega na wstępnym zakwalifikowaniu elementów z danego zbioru do pożądanej końcowej liczby klastrów. Następnie bada się każdy element w populacji i przypisuje go do jednego z klastrów w zależności od minimalnej odległości [5,40]. Podstawową ideą jest wykorzystanie centrum klastra (centroid) do reprezentowania klastra. Pomiar podobieństwa klastra jest podzielony na częściowe i zagregowane podobieństwa [5,48]. Wartości częściowe wyrażają stopień podobieństwa pomiędzy obiektami w obrębie grup. Są to:

Średnia odległość od obiektów w klastrze l od jego środka ciężkości:

$$d_{\text{średnia - centroid}} = \frac{\sum_{p=1}^{n_l} d(o_p, \bar{o}_l)}{n_l} \quad (l = 1, \dots, k) \quad (4.2)$$

Maksymalna odległość od obiektów w l - klastrze do jego środka ciężkości

$$d \text{ maximum - centroid}_l = \max_p \{d(O_p, \bar{O}_l)\} \quad (p = 1, \dots, n_l; l = 1, \dots, k) \quad (4.3)$$

gdzie:

k oznacza liczbę klastrów,

n_l - liczba obiektów w l - koncentracji,

$d(O_p, \bar{O}_l)$ - odległość między O_p obiektu należącego do l - koncentracji stężenie i środka ciężkości klastra.

Im mniejsze wartości obliczone we wzorach (4.2), (4.3), tym bardziej jednolity klastr.

Otrzymane wyniki dla 10 klastrów zaprezentowano w tabelicy 4.1

Tablica 4.1

Wartości podobieństwa klastrów.

Klaster	d srednia - centroid _{<i>l</i>}	d maximum - centroid _{<i>l</i>}
1	0,869568	1,003550
2	0,687123	1,001456
3	0,929886	1,004607
4	0,953417	1,006064
5	0,856024	1,130154
6	0,925152	1,130154
7	0,925152	1,130154
8	0,925152	1,130154
9	0,925152	1,130154
10	0,925152	1,130154

Źródło: Opracowanie własne

Środki podobieństwa obiektów w klastrach pozwalają na określenie poprawności przydziału obiektów do klastrów w zależności od ich zawartości. Jest to tworzone z wykorzystaniem metryk cząstkowych określonych wzorem:

$$d^s = \frac{1}{10} \sum_{l=1}^{10} d \text{ srednia - centroid}_l = 0,8921778 \quad ; \quad d^s = \max_l \{d \text{ maximum - centroid}_l\} = 1,130154 \quad (4.4)$$

Mniejsza wartość m , charakteryzuje większą jednorodność rozkładu wszystkich koncentracji (klastrów). Aby określić stopień zróżnicowania w klastrze należy określić miarę zmienności częściowych środków jednorodności. Przykładem takiego środka jest odchylenie standardowe. W literaturze [5,40,174] występują tzw. częściowe miary niejednorodności dla klastrów, podane w tabelicy 4.2. Należą do nich: minimalna i średnia odległość klastra.

Minimalna odległość między środkiem masy klastra l , a centroidów w innych klastrach określana jest wzorem (4,7):

$$d_l = \min_q \{d(\bar{O}_l, \bar{O}_q)\} \quad (l = 1, \dots, k; q = 1, \dots, k; q \neq l) \quad (4.5)$$

Średnia odległość pomiędzy środkiem masy klastra l , a centroidami w innych klastrach określana jest wzorem:

$$d_l = \frac{\sum_{q=1}^k d(\bar{0}_l, \bar{0}_q)}{k-1}, \text{ gdzie } d(\bar{0}_l, \bar{0}_q) - \text{odległość pomiędzy centroidami.}$$

Tablica 4.2

Częściowe miary niejednorodności

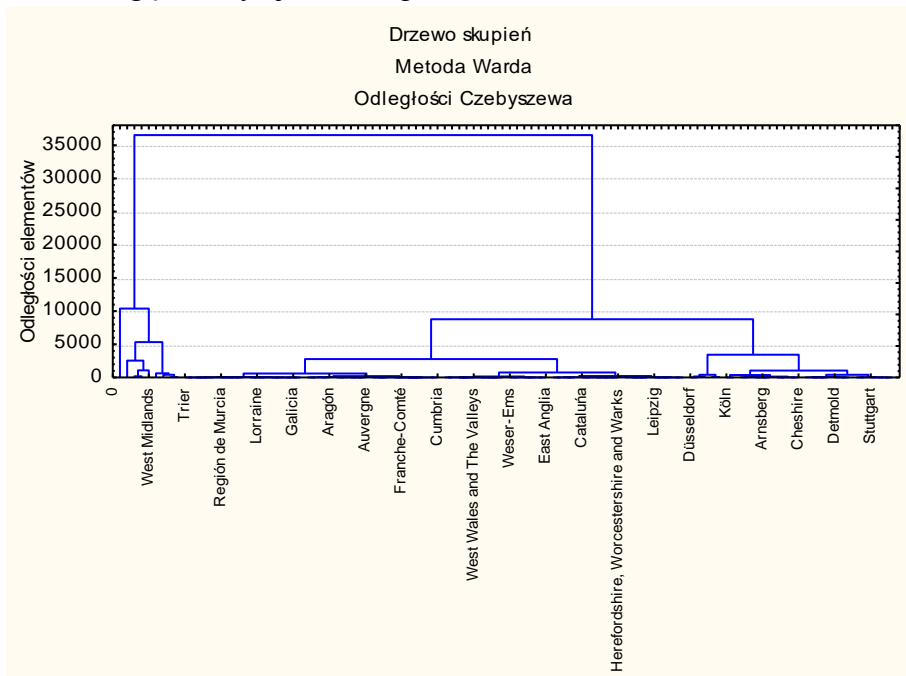
Cluster	Min, (c1)	Average,
1	1,003543	1,165189
2	1,007123	1,176576
3	1,005432	1,168772
4	1,008327	1,188648
5	1,074272	1,263017
6	1,005432	1,159123
7	1,089534	1,269498
8	1,007497	1,164228
9	1,028133	1,268568
10	1,003543	1,160681

Źródło: Opracowanie własne

Zagregowana wielkość niejednorodności klastrów.

$$d^s = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k d_l = 1,19843; \quad d^s = \max_l \{d_l\} = 1,2695$$

Na rysunku 4.9 przedstawiono drzewo skupień. Dzięki graficznemu przedstawieniu powyższej analizy można było zaobserwować, że regiony z różnych krajów wykazują na tyle podobieństwa, że mogą tworzyć jedno skupienie.



Rys. 4.9 Drzewo skupień analiz wstępnych

Źródło: Opracowanie własne

Szczegóły tworzenia modelu z wykorzystaniem tego podejścia przedstawiono w rozdziale 5.

4.4 Struktura ogólna modelu wybranych miar strategicznego ryzyka społecznego

Koncepcja modelowania strategicznego ryzyka społecznego opiera się na generalnych kilku różnych podejściach. W przypadku modelowania liczby ofiar śmiertelnych F przyjęto trzy różne podejścia, dzieląc je na trzy grupy: A, B i C.

Modele grupy F^A szacowania liczby ofiar śmiertelnych F_i^A w regionie i są to dwuelementowe modele wieloczynnikowe (opisane wzorem 4.6) składające się modelu bazowego $F_{R,b}$ opracowanego na zbiorze danych z regionów reprezentatywnych i współczynnika (lub funkcji) korygującego CF_i dostosowującej model bazowy do warunków występujących w analizowanym regionie.

$$F_i^A = F_{R,b} \cdot CF_i \quad (4.6)$$

przy czym:

$$F_{R,b} = f(X_R) \quad (4.7)$$

$$CF_{r,i} = f(X_{r,i}) \quad (4.8)$$

Modele grupy F^B szacowania liczby ofiar śmiertelnych F_i^B w regionie i są to jednoelementowe modele wieloczynnikowe (opisane wzorem 4.9) określające bezpośrednio zależność liczby ofiar śmiertelnych F_i^B od zbioru czynników charakteryzujących analizowany region lub wybraną grupę regionów $X_{r,i}$.

$$F_i^B = f(X_{r,i}) \quad (4.9)$$

Modele grupy F^C szacowania liczby ofiar śmiertelnych F_i^C w regionie i to dwuelementowe modele wieloczynnikowe (opisane wzorem 4.10) składające się modelu wielkości populacji mieszkańców P_i i względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR_i w i -tym regionie

$$F_i^C = P_i \cdot RFR_i \quad (4.10)$$

gdzie:

F_i^M - szacowana liczba ofiar śmiertelnych w i tym rejonie według wybranego modelu,

$F_{R,b}$ - model bazowy liczby ofiar śmiertelnych w i tym rejonie opracowany na zbiorze danych z regionów reprezentatywnych,

CF_i - współczynnik (lub funkcja) korygująca umożliwiający dostosowanie modelu bazowego do warunków występujących w analizowanym regionie.

X_R - zbiór (wektor) wartości zmiennych niezależnych dla reprezentatywnej grupy regionów,

$X_{r,i}$ - zbiór (wektor) wartości zmiennych niezależnych dla analizowanego regionu,

P_i - liczba mieszkańców w analizowanym regionie,

RFR_i - model względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w analizowanym regionie.

W przypadku modelowania względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR przyjęto cztery różne podejścia, dzieląc modele na cztery grupy: A, B, C i D.

Model grupy RFR^A szacowania względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR^A_i w i-tym regionie to dwuelementowy model wieloczynnikowy (opisany wzorem 4.11) składający się modelu bazowego RFR_{R,b} opracowanego na zbiorze danych z regionów reprezentatywnych i współczynnika (lub funkcji) korygującego CRFR^A_i dostosowującej model bazowy do warunków występujących w analizowanym regionie.

$$RFR_i^A = RFR_{R,b} \cdot CRFR_i^A \quad (4.11)$$

przy czym:

$$RFR_{R,b} = f(X_R) \quad (4.12)$$

$$CRFR_i^A = f(X_{r,i}) \quad (4.13)$$

Model grupy RFR^B szacowania względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR^B_i w i-tym regionie to jednoelementowy model wieloczynnikowy (opisany wzorem 4.14) określający bezpośrednio zależność wskaźnika RFR^B_i od zbioru czynników charakteryzujących analizowany region lub grupę regionów X_{r,i}.

$$RFR_i^B = f(X_{r,i}) \quad (4.14)$$

Model grupy RFR^C szacowania względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR^B_i w i-tym regionie to dwuelementowy model wieloczynnikowy (opisany wzorem 4.15) składający się modelu bazowego RFR_{C,b} opracowanego na zbiorze danych z reprezentatywnych krajów i współczynnika (lub funkcji) korygującego CRFR^C_i dostosowującej bazowy model krajowy do warunków występujących w analizowanym regionie.

$$RFR_i^C = RFR_{C,b} \cdot CRFR_i^C \quad (4.15)$$

przy czym:

$$FR_{C,b} = f(X_C) \quad (4.16)$$

$$CRFR_i^C = f(X_{r,i}) \quad (4.17)$$

Model grupy RFR^D szacowania względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR^D_i w i-tym regionie to dwuelementowy model wieloczynnikowy (opisany wzorem 4.18) składający się modelu bazowego RFR_{c,i} opracowanego na zbiorze zmiennych niezależnych analizowanego kraju i współczynnika (lub funkcji) korygującego CRFR^D_i dostosowującej model krajowy do warunków występujących w analizowanym regionie.

$$RFR_i^D = RFR_{c,i} \cdot CRFR_i^D \quad (4.18)$$

przy czym:

$$RFR_{c,i} = f(X_{c,i}) \quad (4.19)$$

$$CRFR_i^D = f(X_{r,i}) \quad (4.20)$$

gdzie:

RFR_i^M – szacowany względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w i tym rejonie według wybranego modelu,

$RFR_{R,b}$ - bazowy model względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych opracowany na zbiorze danych z regionów reprezentatywnych,

$RFR_{C,b}$ - bazowy model względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych opracowany na zbiorze danych z reprezentatywnych krajów,

$RFR_{c,i}$ - bazowy model względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych opracowany na zbiorze danych z analizowanego kraju,

$CRFR_i^M$ - współczynnik (lub funkcja) korygująca umożliwiającą dostosowanie modelu bazowego do warunków występujących w analizowanym regionie.

X_R – zbiór (wektor) wartości zmiennych niezależnych dla reprezentatywnej grupy regionów,

$X_{r,i}$ – zbiór (wektor) wartości zmiennych niezależnych dla analizowanego regionu,

X_C – zbiór (wektor) wartości zmiennych niezależnych dla reprezentatywnej grupy krajów,

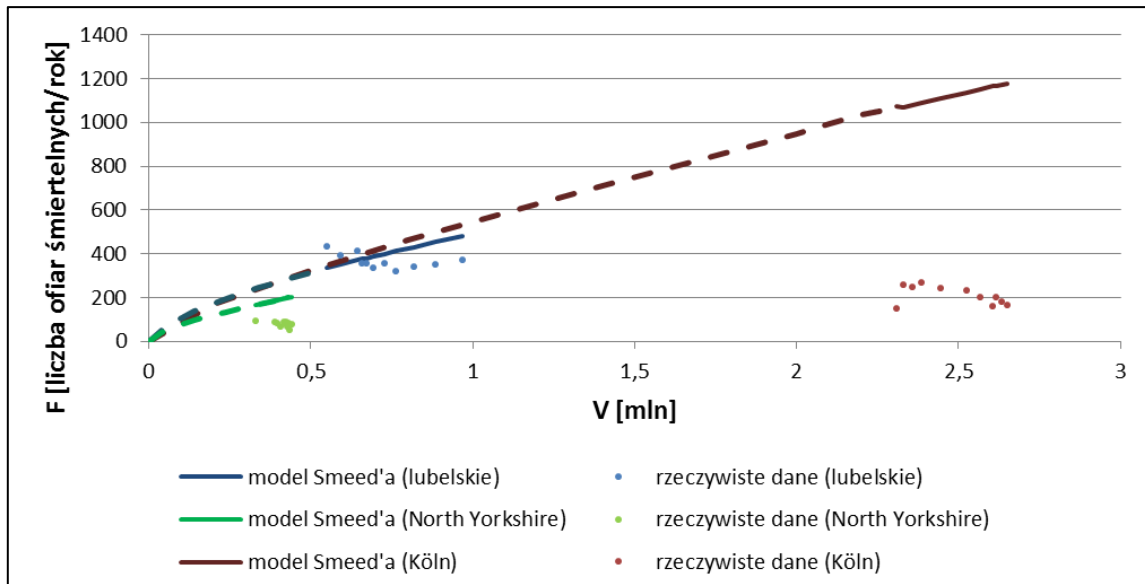
$X_{c,i}$ – zbiór (wektor) wartości zmiennych niezależnych dla analizowanego kraju.

Wyniki prac dotyczących zastosowania przedstawionych modeli przedstawiono w rozdziale 5.

4.5 Dobór typu i parametrów funkcji aproksymującej

4.5.1 Dobór typu funkcji

Studia literatury oraz wstępne analizy własne pokazały, że proste modele jedno, czy dwuczynnikowe nie dają satysfakcjonujących efektów. Przykładowo model Smeed'a (wzór (2.66)) opierający się jedynie na liczbie pojazdów i mieszkańców w danym obszarze nie jest dobrym modelem do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych na drogach. Widać to choćby na przykładzie trzech wybranych regionów o różnej liczbie mieszkańców z lat 1999-2008 (rys. 4.10) W województwie lubelskim populacja jest na poziomie ok. 2 mln osób, w regionie Köln 4 mln osób, a w North Yorkshire 750 tys. osób. W żadnym z analizowanych przypadków prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych wg modelu Smeed'a nie daje dobrych rezultatów.



Rys. 4.10 Wykres rzeczywistej liczby ofiar śmiertelnych w wybranych regionach F oraz prognozy wg Smeed'a w zależności od liczby pojazdów V.

Źródło: Opracowanie własne

Wzór ten bowiem nie uwzględnia np. wzrostu poziomu społecznego i rozwoju kultury bezpieczeństwa ruchu drogowego, rozwoju sieci drogowej czy charakteru zagospodarowania danego regionu. Przedstawiony przykład wskazuje, że budowany model powinien być modelem wieloczynnikowym, co wymaga poszukiwania kształtu funkcji najlepiej odwzorowującej badane zależności.

Na podstawie wyników studiów literatury i wstępnych prac autorki, wybrano kandydatów do funkcji opisujących zależność pomiędzy wybranymi miarami ryzyka i zmiennymi niezależnymi. Zaproponowano pięć rodzajów funkcji aproksymujących wyniki badań: liniową, logarytmiczną, Kuznetza, wykładniczą, potęgową, i potęgowo – wykładniczą. Funkcja liniowa (wzór 4.21) jest najprostszą z funkcji [56], często używaną również w modelach ekonometrycznych [193].

$$y = \alpha x + \beta \quad (4.21)$$

Kolejnymi funkcjami były funkcje logarytmiczna (4.22), potęgowa (4.23) i wykładnicza (4.24) [21] będące funkcjami nieliniowymi, a ich kształt umożliwia opisanie analizowanych danych.

$$y = \alpha \ln(x) \quad (4.22)$$

$$y = \alpha x^\beta \quad (4.23)$$

$$y = \alpha e^{(\beta x)} \quad (4.24)$$

W literaturze również spotkano się z funkcją Kuznetza (4.25) [129] i potęgowo-wykładniczą (4.22) [90].

$$y = \alpha + \beta \ln(x) + \gamma(\ln(x))^2 \quad (4.25)$$

$$y = \alpha x^\beta e^{\gamma x} \quad (4.26)$$

Dla potrzeb określenia kształtu funkcji wiążącej zmienne niezależne z względnym wskaźnikiem ofiar śmiertelnych RFR [2,21,56,129,171] przeprowadzono analizę dobroci dopasowania tych funkcji dla poszczególnych grup regionów.

Stany AP. Korzystając z bazy danych dedykowanej dla stanów AP przeprowadzono analizę zależności między wybranymi (28) zmiennymi niezależnymi i względnym wskaźnikiem ofiar śmiertelnych RFR z zastosowaniem wybranych funkcji. Wyniki obliczeń siły związku zestawiono w tabelicy 4.3.

Tablica 4.3

Wartość R^2 dla badanej funkcji zależności względnego wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych RFR od zmiennych niezależnych na przykładzie danych dla stanów AP

Zmienna niezależna	Funkcja					
	Liniowa	Logarytmiczna	Kuznetza	Potęgowa	Wykładnicza	Potęgowo-wykładnicza
INPC	0,41	0,00	0,45	0,48	0,45	0,46
GDPPC	0,24	0,00	0,38	0,33	0,30	0,00
MRV	0,06	0,00	0,08	0,06	0,07	0,10
MRPC	0,07	0,00	0,14	0,03	0,06	0,13
MRMO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03
DV	0,28	0,00	0,35	0,21	0,00	0,00
DMV	0,28	0,00	0,35	0,21	0,00	0,00
DPC	0,28	0,00	0,36	0,22	0,30	0,31
PPC	0,29	0,00	0,29	0,22	0,23	0,00
DP	0,28	0,00	0,37	0,22	0,00	0,00
PUP	0,28	0,00	0,31	0,19	0,24	0,31
DR _(A)	0,21	0,00	0,19	0,06	0,17	0,20
DME _(A)	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
DR _(D)	0,16	0,34	0,38	0,31	0,13	0,38
DME _(D)	0,19	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00
PME	0,07	0,00	0,00	0,06	0,06	0,00
DPR _(A)	0,22	0,00	0,21	0,09	0,20	0,20
DPR_(D)	0,44	0,00	0,45	0,45	0,38	0,46
PPR	0,16	0,00	0,17	0,09	0,12	0,15
PUR	0,33	0,00	0,35	0,24	0,32	0,33
VKTPC	0,61	0,00	0,59	0,57	0,53	0,58
ACPC	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
USB	0,11	0,00	0,12	0,10	0,11	0,12
TTC	0,07	0,00	0,09	0,07	0,06	0,00
LEI	0,37	0,00	0,35	0,35	0,35	0,00
FT _(I)	0,35	0,00	0,34	0,33	0,31	0,35
RD	0,44	0,00	0,49	0,47	0,47	0,48
HDI	0,63	0,00	0,65	0,65	0,65	0,65

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku każdej z badanych funkcji największe wartości miary dobroci R^2 dla badanych modeli uzyskały: wskaźnik rozwoju społecznego HDI (niestety dostępny tylko dla

jednego roku) ($R^2 \approx 0,7$) oraz długość drogi przebytej pojazdami w przeliczeniu na jednego mieszkańca VKTPC ($R^2 \approx 0,6$), która w oczywisty sposób odzwierciedla narażenie na ryzyko. Nieco niższe wartości R^2 uzyskano dla jednostkowego dochodu przypadającego na mieszkańca danego regionu INPC czy gęstości demograficznej dróg twardych $DPR_{(D)}$ ($R^2 \approx 0,45$). Jeżeli chodzi o determinanty, które mogłyby zastąpić ewentualny brak danych o HDI, to z analiz wynika, że mogłyby to być wskaźnik lekarzy RD czy np. spodziewana długość życia LEI. Przeprowadzone analizy potwierdzają trafność wstępnego przyjęcia zbioru zmiennych niezależnych.

W wyniku przeprowadzonych analiz w grupie stanów AP do dalszych analiz wytypowano 14 zmiennych niezależnych: praca przewozową VKTPC, jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC, jednostkowy dochód krajowy brutto INPC, gęstość demograficzna dróg twardych $DPR_{(D)}$, wskaźnik lekarzy na 10 tys. mieszkańców RD, procent dróg w terenie zabudowanym PUR, gęstość dróg twardych $DPR_{(A)}$, wskaźnik śmiertelności białych noworodków $FR_{(I)}$, procent ludności mieszkającej w miastach PUP, procent samochodów osobowych PPC, spodziewana długość życia LEI, wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem MRV, gęstość autostrad $DME_{(A)}$, i wskaźnik rozwoju społecznego HDI.

Prawie wszystkie analizowane funkcje wiążące, poza funkcję logarytmiczną, z podobną siłą określają zależność pomiędzy zmienną niezależną i zmienna zależną. Zwrócić uwagę należy na funkcję potęgowo-wykładniczą, która w wielu przypadkach najlepiej opisuje analizowane zależności, szczególnie w przypadkach występowania punktów przegięcia.

Regiony EU. Korzystając z bazy danych dedykowanej dla regionów UE przeprowadzono analizę zależności między wybranymi (18) zmiennymi niezależnymi i względnym wskaźnikiem ofiar śmiertelnych RFR z zastosowaniem wybranych funkcji. Wyniki obliczeń siły związku zestawiono w tablicy 4.4.

Tablica 4.4

Wartość R^2 dla badanej funkcji zależności wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych RFR od zmiennych niezależnych na przykładzie danych dla regionów UE

Zmienna niezależna	Funkcja					
	Liniowa	Logarytmiczna	Kuznets	Potęgowa	Wykładnicza	Potęgowo-wykładniczy
GDPPC	0,04	0,00	0,05	0,03	0,04	0,05
MRV	0,05	0,00	0,08	0,07	0,06	0,08
MRPC	0,08	0,00	0,11	0,11	0,11	0,11
DV	0,21	0,00	0,39	0,32	0,34	0,38
DPC	0,21	0,00	0,41	0,35	0,35	0,39
PPC	0,26	0,00	0,33	0,23	0,24	0,33
RUN	0,08	0,00	0,09	0,08	0,08	0,08
DP	0,17	0,00	0,33	0,27	0,30	0,33
$DR_{(A)}$	0,09	0,00	0,10	0,06	0,09	0,11
$DR_{(D)}$	0,06	0,00	0,12	0,11	0,06	0,13
$DME_{(A)}$	0,19	0,04	0,19	0,10	0,21	0,22
$DME_{(D)}$	0,01	0,00	0,06	0,01	0,01	0,01
PME	0,04	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03
$EDU_{(S)}$	0,01	0,00	0,05	0,00	0,01	0,07
$EDU_{(K)}$	0,05	0,00	0,08	0,06	0,04	0,08
UGR	0,09	0,00	0,10	0,06	0,09	0,09
PUP	0,01	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17
LEI	0,20	0,00	0,18	0,19	0,19	0,19

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku danych europejskich najlepsze statystycznie miary dobroci były niższe niż w przypadku danych amerykańskich. Najsilniejsze zależności między zmiennymi niezależnymi i zależnymi ($R^2 \approx 0,4$) uzyskano dla gęstości samochodów osobowych DPC, gęstości pojazdów ogółem DV, a ($R^2 \approx 0,3$) dla gęstości zaludnienia DP. Przeprowadzone analizy potwierdzają trafność wstępnego przyjęcia zbioru zmiennych niezależnych.

W wyniku przeprowadzonych analiz w grupie regionów EU do dalszych analiz wytypowano 8 zmiennych niezależnych: gęstość zaludnienia DP, gęstość pojazdów ogółem DV, jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC, gęstość samochodów osobowych DPC, procent samochodów osobowych PPC, spodziewana długość życia LEI, gęstość demograficzna dróg ogółem $DR_{(D)}$, gęstość autostrad $DME_{(A)}$.

Funkcje, które w najlepszy sposób opisują zależności między zmiennymi niezależnymi i zależnymi są to funkcja Kuzneta i potęgowo-wykładnicza.

Województwa PL. Korzystając z bazy danych dedykowanej dla województw w Polsce przeprowadzono analizę zależności między wybranymi (50) zmiennymi niezależnymi i wskaźnikiem śmiertelności demograficznej RFR z zastosowaniem wybranych funkcji. Wyniki obliczeń siły związku zestawiono w tabelicy 4.5.

Tabela 4.5

Wartość R^2 dla badanej funkcji zależności wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych RFR od zmiennych niezależnych na przykładzie danych dla województw PL.

Zmienna niezależna	Funkcja					
	Linioowa	Logarytmiczna	Kuznets	Potęgowa	Wykładnicza	Potęgowo-wykładniczy
GDPPC	0,13	0,00	0,25	0,2	0,16	0,24
PAY PL	0,37	0,00	0,43	0,42	0,00	0,00
PAY	0,13	0,00	0,38	0,2	0,00	0,00
PC	0,15	0,00	0,28	0,25	0,17	0,28
MRPC	0,45	0,36	0,45	0,42	0,45	0,45
DV	0,56	0,37	0,37	0,37	0,35	0,37
MRV	0,41	0,2	0,41	0,39	0,41	0,41
PPC	0,35	0,33	0,34	0,32	0,33	0,33
PUA	0,00	0,00	0,17	0,01	0,00	0,16
UGR	0,14	0,11	0,14	0,13	0,14	0,00
RUN	0,11	0,1	0,12	0,11	0,12	0,12
DP	0,14	0,00	0,15	0,14	0,00	0,00
$DR_{(A)}$	0,13	0,00	0,15	0,1	0,12	0,15
$DME_{(A)}$	0,27	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00
$DMX_{(A)}$	0,19	0,00	0,00	0,00	0,2	0,00
$DN_{(A)}$	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,03
$DV_{(A)}$	0,14	0,13	0,15	0,14	0,15	0,15
$DC_{(A)}$	0,02	0,00	0,03	0,02	0,02	0,03
$DCO_{(A)}$	0,21	0,00	0,20	0,18	0,21	0,21
$DR_{(D)}$	0,10	0,00	0,16	0,12	0,09	0,17
$DME_{(D)}$	0,07	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
$DMX_{(D)}$	0,05	0,00	0,07	0,06	0,05	0,06
$DN_{(D)}$	0,12	0,00	0,18	0,14	0,12	0,18
$DV_{(D)}$	0,06	0,00	0,08	0,07	0,06	0,08
$DC_{(D)}$	0,18	0,00	0,20	0,19	0,17	0,19
$DCO_{(D)}$	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10
AMB	0,10	0,00	0,15	0,14	0,10	0,15
HEW	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
RBUD	0,24	0,03	0,34	0,33	0,27	0,34
LURH	0,18	0,00	0,26	0,26	0,20	0,00

Zmienna niezależna	Funkcja					
	Liniowa	Logarytmiczna	Kuznets	Potęgową	Wykładnicza	Potęgowo-wykładniczy
LUURH	0,10	0,00	0,10	0,08	0,09	0,10
RLURH	0,26	0,00	0,26	0,26	0,26	0,26
RLUURH	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
REX	0,26	0,14	0,31	0,31	0,29	0,31
REXV	0,28	0,19	0,35	0,35	0,30	0,35
USB	0,03	0,00	0,05	0,02	0,03	0,05
PUP	0,10	0,00	0,23	0,00	0,01	0,23
EDU _(S)	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
EDU _(K)	0,10	0,00	0,11	0,11	0,10	0,00
ACPC	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
PUP1519	0,02	0,00	0,19	0,04	0,02	0,19
PUP2024	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,19
PUP70	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
PUP1524	0,00	0,00	0,23	0,01	0,00	0,21
RF	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
HOSP	0,03	0,00	0,03	0,02	0,03	0,00
HOS	0,07	0,00	0,07	0,06	0,07	0,07
LEI	0,20	0,00	0,18	0,19	0,19	0,19
S2	0,48	0,48	0,51	0,50	0,46	0,52
S3	0,05	0,00	0,08	0,07	0,05	0,09
VKTPD	0,32	0,00	0,32	0,30	0,31	0,32

Źródło: Opracowanie własne

Dla polskich województw istotny okazał się wpływ następujących zmiennych niezależnych: wynagrodzenie brutto PAY, wskaźnik motoryzacji pojazdów osobowych MRPC lub wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem MRV ($R^2 \approx 0,4$), udział kierowców przekraczających dozwoloną prędkość na drogach zamiejskich S2 ($R^2 \approx 0,5$), praca przewoźowa na drogach krajowych VKTPD ($R^2 \approx 0,3$), nakłady na budowę i utrzymanie dróg wojewódzkich w przeliczeniu na 1 km drogi REXV ($R^2 \approx 0,3$). Przeprowadzone analizy potwierdzają trafność wstępnego przyjęcia zbioru zmiennych niezależnych.

W wyniku przeprowadzonych analiz w grupie województw PL do dalszych analiz wytypowano 7 zmiennych niezależnych: jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC, spodziewana długość życia LEI, wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem MRV, wydatki na drogi wojewódzkie REXV, wynagrodzenie brutto PAY, gęstość demograficzna dróg ogółem $DR_{(D)}$, gęstość demograficzna dróg ogółem $DME_{(D)}$.

Funkcje, które w najlepszy sposób opisują analizowane zależności różnią się w zależności od zmiennej, ale w większości jest to funkcja Kuzneta i potęgowo-wykładnicza.

4.5.2 Dobór parametrów funkcji wiążących (opisujących)

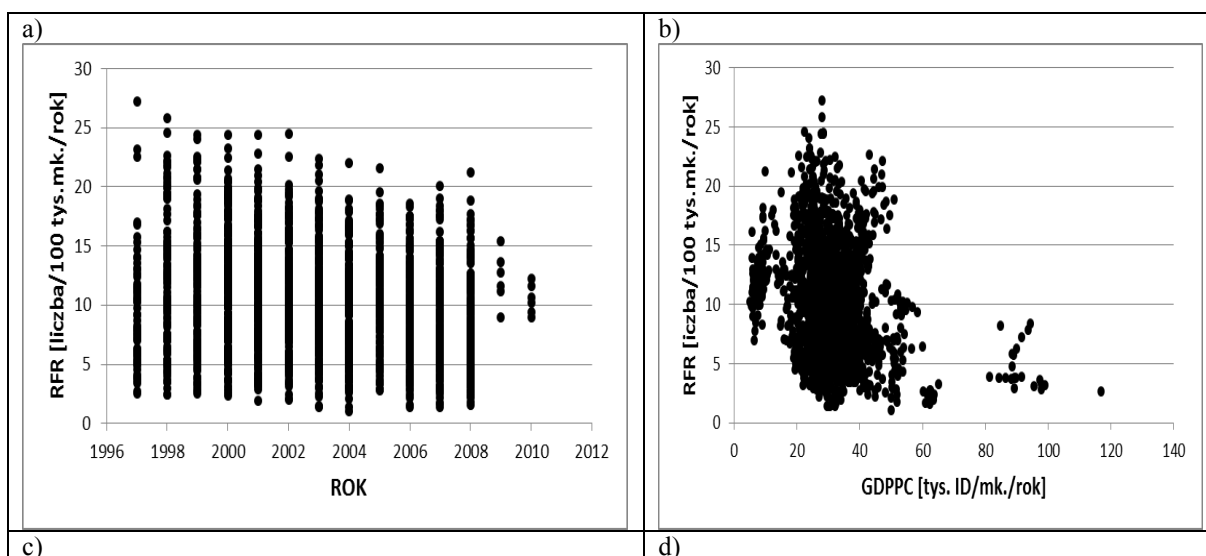
Z przyjętych założeń, przeprowadzonych studiów literatury i zaprezentowanych wyników badań wstępnych wynika, że modele opisujące zależności między przyjętymi miarami strategicznego ryzyka społecznego i zidentyfikowanymi czynnikami ryzyka (zmiennymi niezależnymi) powinny być wieloczynnikowymi modelami jedno lub wielopoziomowymi. Dobór parametrów funkcji opisującej może być realizowany w dwóch fazach użycia modelu zmian wskaźnika RFR: podczas jego konstruowania i podczas jego używania. Konstruowanie modelu regresyjnego polega na dopasowaniu funkcji opisującej zawierającej zależność między zmienną zależną (objaśnianą) od zmiennych niezależnych (objaśnianych). Można zatem przyjąć, że model matematyczny przyjętych miar strategicznego

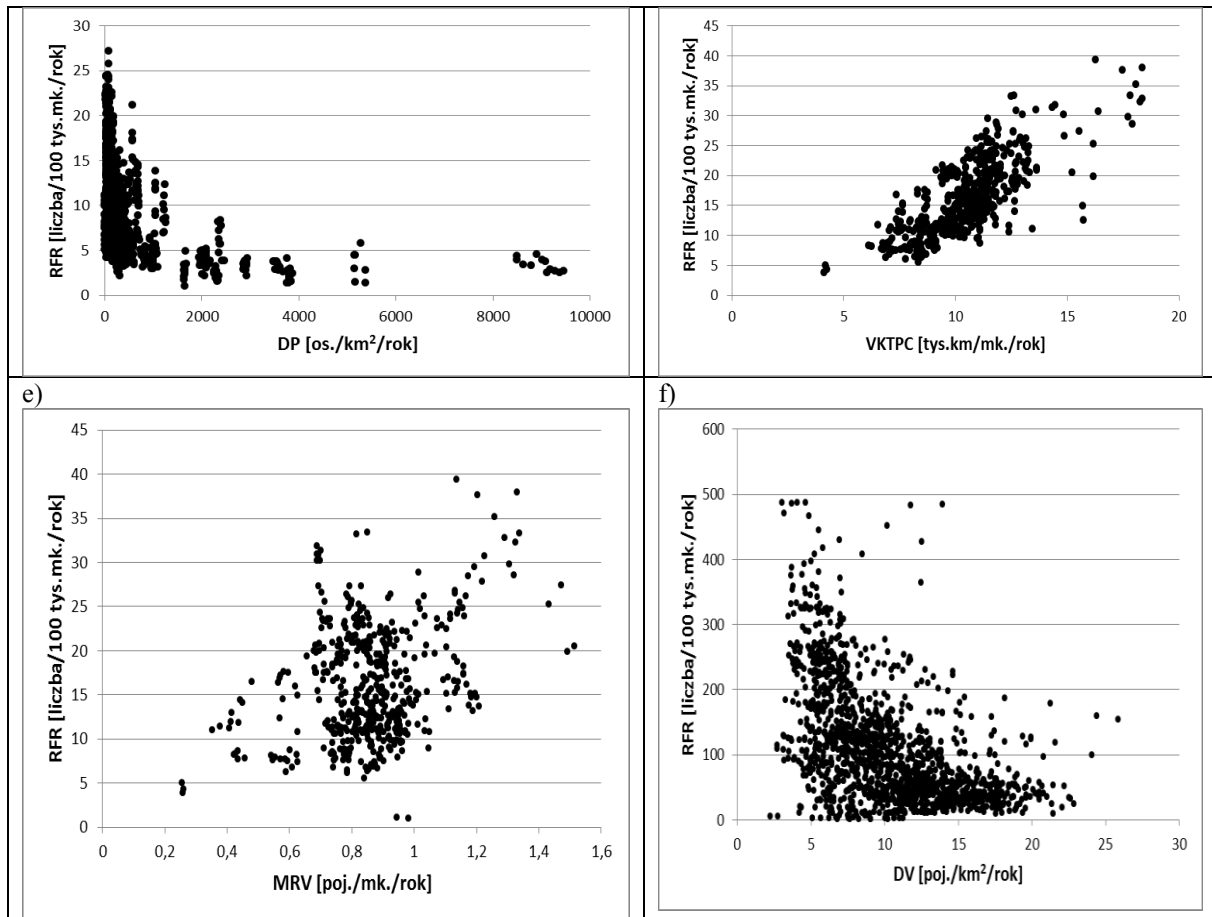
ryzyka społecznego konstruuje się tak, aby jak najlepiej pasował do zebranych danych historycznych. Istotne jest przyjęcie głównych parametrów skali i metoda doboru parametrów funkcji.

Dobór parametrów skali. Parametrem skali niniejszej pracy jest podstawowy parametr reprezentujący wielkość lub stopień rozwoju regionu. Wyniki studiów literatury wskazują, że w analizach zmian poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego najczęściej operuje się czasem jako parametrem skali. Jednak zmiany miar ryzyka w latach następują bardzo powoli i analiza w czasie wymaga zebrania danych z bardzo wielu lat. Na potrzeby niniejszej dysertacji zebrano dane z lat 1999-2008 (w przypadku niektórych krajów zakres od 1997 roku), wobec czego zakres ten nie był duży i jak obrazują rozkłady miar ryzyka w regionach przedstawione na rys. 4.11 trudno zauważyć jakąś wyraźną tendencję zmian. Analizując rozkłady zależności między poszczególnymi kandydatami na parametry skali, a względnym wskaźnikiem ofiar śmiertelnych (RFR), stwierdzono że zmiana każdej z analizowanych zmiennych niezależnych uwidacznia pływ na RFR. W przypadku danych zebranych na potrzeby niniejszej dysertacji objęto okres 10 lat, co jest krótkim przedziałem czasowym, eliminuje czas jako podstawę skali zmian. Natomiast, gdy zastosuje się na osi poziomej jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC, który zmienia się dość dynamicznie w czasie, można zauważyć istotne zmiany wskaźnika RFR. Biorąc pod uwagę wnioski ze studiów literatury, wyniki wcześniejszych prac na poziomie krajowym [90] dotychczasowe wyniki własnych prac [103,198,202] przyjęto jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC jako podstawowy parametr skali.

Dobór parametrów funkcji wiążącej. Zastosowaniem algorytmu dobór jego parametrów polega na pierwotnym oszacowaniu parametrów i kolejnym ich dostrajaniu, tak aby uzyskać jak najlepsze dopasowanie do danych rzeczywistych. Dobór parametrów funkcji wiążącej ma duży wpływ na jakość odnajdywanych rozwiązań. Wykazały to wyniki studiów literatury i wyniki własnych badań wstępnych [103,176,198,202].

W modelach parametrycznych zakłada się strukturę modelu, natomiast procedura obliczania polega na dobraniu współczynników dopasowujących zmienne niezależne tak aby funkcja wiążąca jak najlepiej definiowała dane z próby [70].





Rys. 4.11 Rozkłady wartości liczbowych wskaźnika RFR w zależności od wybranych parametrów skali: a) czas – Rok, b) jednostkowy produkt brutto GDPPC, c) gęstość zaludnienia DP, d) jednostkowa droga przebyta pojazdami VKTPC, e) wskaźnik motoryzacji MRV, f) gęstość pojazdów DV.

Źródło: Opracowanie własne

W tym przypadku ogólną postać modelu parametrycznego możemy zapisać jako [115]:

$$Y = f(X, \beta) + \varepsilon \quad (4.27)$$

gdzie:

Y – zmienna zależna (wybrana miara ryzyka),

$f(X, \beta)$ – funkcja wiążąca zmienną zależną ze zmiennymi niezależnymi,

X – wektor zmiennych niezależnych (objaśniających, źródeł zagrożeń),

β – wektor współczynników regresji,

ε – błąd losowy.

Wyniki analiz przedstawionych wcześniej wskazują, że analizowane zależności między wskaźnikiem ryzyka RFR a wybranymi zmiennymi niezależnymi mają charakter nieliniowy, zatem do określenia parametrów modelu funkcji wiążącej zastosowano metodę regresji nieliniowej. Parametry modelu dobierano korzystając z programu STATISTICA. Zmienne niezależne, rodzaj funkcji zależności i parametry modelu dobierano stosując krokową konstrukcję modelu regresji [115]. W zależności od zakresu informacji o strukturze modelu

(korzystając ze studiów literatury i wcześniejszych prób konstruowania modeli) i dostępnych danych stosuje się konstrukcję modelu metodą krokową: postępującą lub wsteczną.

Pierwszą metodę stosowano w przypadku, kiedy jedna zmienna niezależna była zmienną dominującą nad pozostałymi. Wówczas w pierwszym kroku stosowano tę zmienną wyznaczając dla tak uzyskanego modelu parametry. W drugim kroku dodawano kolejną istotną zmienną niezależną, której wartości są najsilniej skorelowane. Po obliczeniu parametrów sprawdzono ich istotność i badano wielkość i istotność współczynnika determinacji. Procedura kończono gdy zabrakło zmiennych niezależnych lub dołączenie nowej zmiennej do równania prowadziło do utraty waloru istotności przez parametry lub współczynnik determinacji.

Drugą metodę stosowano, gdy posiadano informację o zbiorze najbardziej istotnych zmiennych, polegała ona na tym, że w pierwszym kroku skonstruowano model zawierający wszystkie potencjalne zmienne niezależne, a następnie na stopniowym eliminowaniu zmiennych tak, aby utrzymać model z najwyższą wartością współczynnika determinacji przy zachowaniu istotności parametrów. Niekiedy stosowano oba podejścia, zarówno dodając jak i usuwając zmienne w kolejnych krokach.

4.6 Walidacja i weryfikacja kalibracja opracowanych modeli miar ryzyka

4.6.1 Walidacja i weryfikacja modeli

Walidacja jest ciągłym procesem monitorowania, procedury lub metody badania, w celu zapewnienia, że badania stale wykonywane są zgodnie z oczekiwaniami. Dzięki walidacji można ocenić, czy niepewność wyniku jest możliwa do zaakceptowania. Weryfikacja natomiast jest procesem jednorazowym, przeprowadzanym w celu ustalenia lub potwierdzenia oczekiwanego efektu modelowania [178]

Parametry oceniane w procesach weryfikacji i walidacji metody badawczej [30]: dokładność, precyzja, powtarzalność, odtwarzalność, odporność metody. Biorąc pod uwagę, że dane do konstruowania poszczególnych modeli dla stanów AP, regionów EU i województw PL pochodzą z jednorodnych baz, dokładność i precyzja jest tego samego rzędu w przypadku wszystkich danych.

Na metodę badawczą składa się nie tylko zebranie danych w tych samych, powtarzalnych warunkach (ta sama baza), ale również prawidłowe dobranie zmiennych niezależnych do modelu matematycznego, jak również prawidłowe dobranie funkcji opisującej analizowane zależności. Do oceny precyzyjności zastosowanych modeli przyjęto metodę porównania prognozowanych wielkości z wielkościami rzeczywistymi. Jako miary dobroci modeli przyjęto wartości liczbowe:

- 1) skorygowanego współczynnika determinacji R_{sk}^2 ,
- 2) względny średni błąd kwadratowy WBK,
- 3) poziom istotności współczynników modelu.

Skorygowany współczynnik determinacji R_{sk}^2 informuje o tym, jaka część zmienności zmiennej modelowanej została wyjaśniona przez model. Jest on więc miarą stopnia, w jakim model wyjaśnia zmienność danej objaśnianej. Współczynnik determinacji przyjmuje wartości z przedziału $[0;1]$ lub inaczej, 0-100%. Do estymacji parametrów wykorzystano metodę

najmniejszych kwadratów. Jego wartości najczęściej są wyrażane w procentach. Dopasowanie modelu jest tym lepsze, im wartość R_{sk}^2 jest bliższa jedności. Wyraża się on wzorem:

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - \bar{y})^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2} \quad (4.28)$$

gdzie:

y_t - rzeczywista wartość zmiennej Y w momencie t ,

\hat{y}_t - wartość teoretyczna zmiennej objaśnianej (na podstawie danych szacowanych w modelu),

\bar{y} - średnia arytmetyczna empirycznych wartości zmiennej objaśnianej.

Względny średni błąd kwadratowy WBK jest miarą względną średniokwadratowej różnicy pomiędzy wartościami obliczonymi i rzeczywistymi. Obliczany jest następująco:

$$BK_m = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (M_{obl} - M_{rzecz})^2}{n-1}} \quad (4.29)$$

$$WBK_m = \frac{BK_m}{SM_{m,rzecz}} \cdot 100 \quad (4.30)$$

gdzie:

BK_m – średni błąd kwadratowy miary m ,

WBK_m – względny, średni błąd kwadratowy miary m [%],

M_{obl} – analizowana miara obliczona za pomocą modelu w roku i ,

M_{rzecz} – analizowana miara rzeczywista w roku i ,

SM_{rzecz} – średnia miara rzeczywista.

Poziom istotności współczynników modelu p – jest to maksymalne dopuszczalne prawdopodobieństwo popełnienia błędu I rodzaju, w literaturze często określane jako α . Poziom istotności określa maksymalne ryzyko błędu, jakie badacz jest skłonny zaakceptować. Wybór wartości α zależy od badacza, natury problemu i od tego, jak dokładnie chce on weryfikować swoje hipotezy, najczęściej przyjmuje się $\alpha = 0,05$; rzadziej 0,1. Wartość założonego poziomu istotności jest porównywana z wyliczoną z testu statystycznego wartością p (czasem porównuje się od razu wartości statystyki testowej z wartością odpowiadającą danemu poziomowi istotności). Jeśli p -wartość jest większa, oznacza to, iż nie ma powodu do odrzucenia tzw. hipotezy zerowej H_0 , która zwykle stwierdza, że obserwowany efekt jest dziełem przypadku [172]. W niniejszej dysertacji jako podstawowy poziom istotności przyjęto wartość 0,05; a w wyjątkowych przypadkach 0,1. Im wyższy poziom p , tym mniej możemy być pewni, że relacja obserwowana w próbie jest wiarygodnym wskaźnikiem relacji pomiędzy mierzonymi wielkościami w całej interesującej nas populacji. Dokładnie rzecz

biorąc, poziom p odpowiada prawdopodobieństwu popełnienia błędu polegającego na tym, że przyjmujemy uzyskany rezultat jako prawdziwy, tj. reprezentatywny dla populacji [177].

4.6.2 Kalibracja modeli

Modele matematyczne po przejściu walidacji i weryfikacji na dużym zbiorze danych dla wszystkich regionów danego obszaru czy to Europy, czy Polski w akceptowalny sposób mogą być stosowane do opisu rzeczywistości. Jednak, gdy zaczynamy je sprawdzać na ograniczonym zakresie danych tylko jednego regionu może się okazać, że opracowany model wymaga modyfikacji, aby w lepszy sposób odwzorowywał dodatkowe czynniki charakterystyczne dla tego regionu. W koncepcji budowy modeli miar ryzyka przyjęto możliwość kalibracji niektórych modeli bazowych do warunków lokalnych.

Kalibracji poddano modele bazowe grupy RFR^B opracowane na zbiorze danych regionalnych z wszystkich województw PL zebranych w latach 1999-2008. Kalibracja tych modeli została przeprowadzona dwuetapowo. Etap pierwszy polegał na kalibracji danych na uaktualnionym zbiorze danych do 2014 roku.

Przeprowadzony proces kalibracji można opisać następująco:

$$RFR_i^{Bk} = RFR_i^B \cdot CRFR_i^{Bk} \quad (4.31)$$

przy czym:

$$RFR_i^B = f(X_R) \quad (4.32)$$

$$CRFR_i^{Bk} = f(X_k) \quad (4.33)$$

gdzie:

RFR_i^{Bk} – skalibrowany względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w i tym rejonie według wybranego modelu,

RFR_i^B - bazowy model względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych opracowany na zbiorze danych historycznych z regionów reprezentatywnych,

$CRFR_i^{Bk}$ - współczynnik (lub funkcja) korygująca umożliwiający dostosowanie modelu bazowego do aktualnych warunków występujących w analizowanej grupie regionów.

X_R – zbiór (wektor) historycznych wartości zmiennych niezależnych dla reprezentatywnej grupy regionów,

X_k – zbiór (wektor) uaktualnionych wartości zmiennych niezależnych dla analizowanego regionu,

5 BUDOWA MODELI MATEMATYCZNYCH WYBRANYCH MIAR RYZYKA W REGIONACH

5.1 Metodyka budowy modeli miar ryzyka na sieci dróg w regionach

Zjawiska i procesy zachodzące w funkcjonowaniu systemu transportu drogowego mają złożony charakter. Jako że system zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego jest jednym z podsystemów tego systemu i wymaga sprawnych narzędzi do jego zarządzania. Takimi narzędziami są różnego rodzaju modele stanowiące uproszczone odwzorowanie rzeczywistości, często odzwierciedlające tylko wybrane cechy badanego zjawiska czy obiektu. Dobrze skonstruowany model powinien dobrze odtwarzać badane obiekty, zjawiska lub procesy i powinien stanowić kompromis między nadmiernym uproszczeniem rzeczywistości, a zbytnimi szczegółami. Dokładność odwzorowania zależy od klasy modelu. Największe uproszczenia występują przy konstruowaniu makro modeli, a największa szczegółowość przy konstruowaniu mikro modeli. Modele strategicznego ryzyka społecznego należą do grupy makro modeli, zatem cechują się dużym poziomem uproszczeń [69].

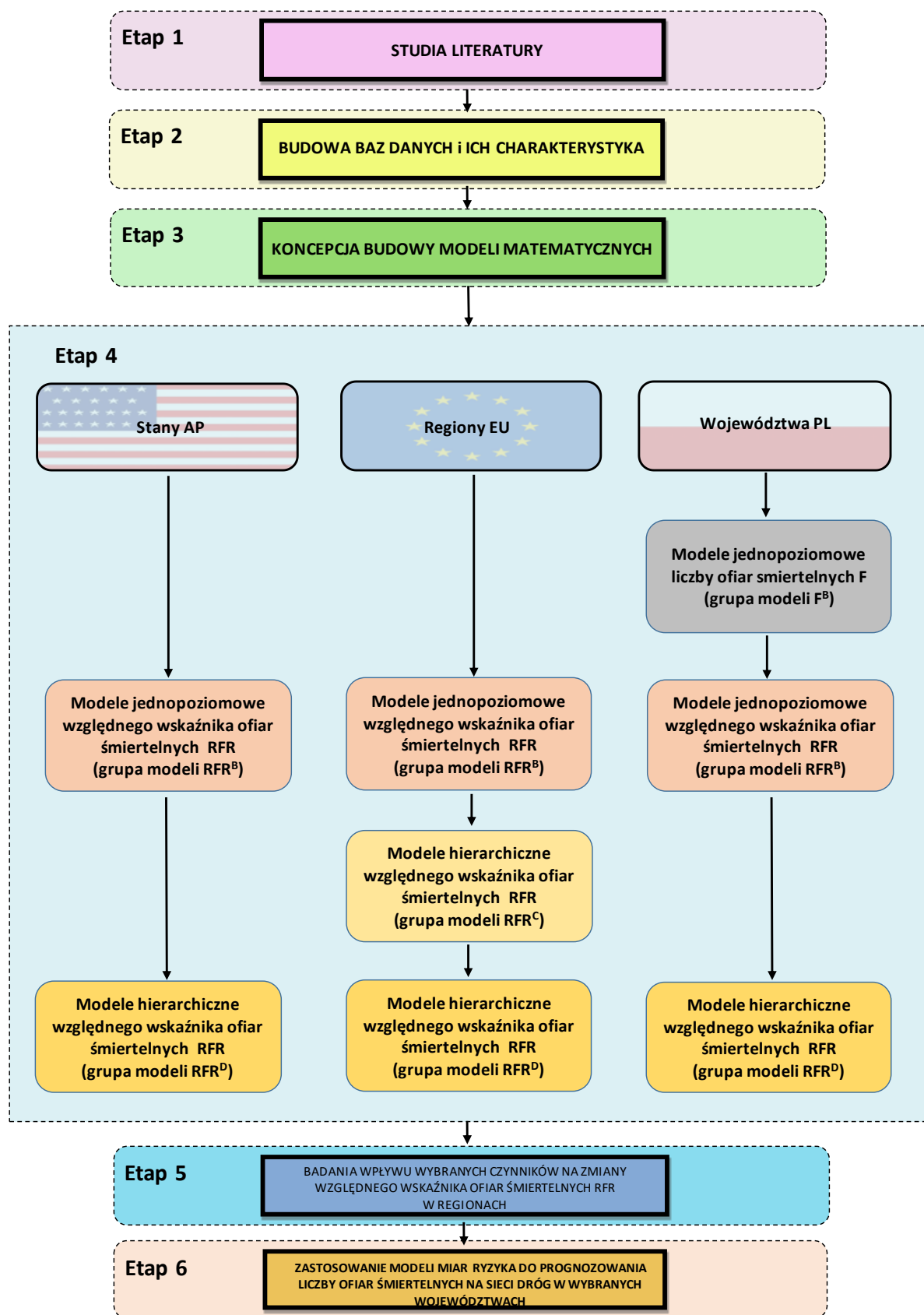
Model matematyczny strategicznego ryzyka społecznego powinien być tak skonstruowany, aby można go było wykorzystać do:

- 1) identyfikacji czynników wpływających na zmianę wartości liczbowej analizowanej miary ryzyka,
- 2) badania wielkości wpływu zmian czynników ryzyka (źródeł zagrożeń) na wielkość zmian analizowanych miar strategicznego ryzyka społecznego w regionach,
- 3) badania skutków decyzji podejmowanych przez decydentów i zarządzających drogami w regionach dotyczących działań na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego,
- 4) prognozowania zmian miar ryzyka w zależności od przyjętych scenariuszy działań i zastosowanych interwencji na rzecz bezpieczeństwa ruchu w regionach.

W niniejszym rozdziale (zgodnie z metodyką przyjętą w rozdz. 1.4) przeprowadzono badania dotyczące konstruowania modeli miar strategicznego ryzyka społecznego w regionach. Ogólny schemat zastosowanej metodyki przedstawiono na rysunku 5.1.

W początkowym etapie prowadzenia badań przyjęto założenie, że podstawowe modele opisowe wybranych miar ryzyka zbudowane będą z wykorzystaniem danych ze stanów Ameryki Północnej i regionów Unii Europejskiej. Następnie przewidywano zastosowanie tych modeli dla obszarów województw w Polsce. Wyniki wstępnych analiz przedstawionych w rozdziale 3 wykazały, że dane amerykańskie bardzo różnią się od europejskich, w bazach danych dla stanów AP dostępnych jest więcej zmiennych niż w przypadku danych europejskich. Ponadto zakres i zmienność danych w przypadku obu zbiorów jest nieco inna, co nie pozwoliło na skonstruowanie wiarygodnych modeli dla łącznych danych z obu baz.

Wymusiło to podział pracy i opracowanie modeli osobno dla danych amerykańskich i europejskich. W pierwszym kroku przygotowano modele wybranej miary ryzyka (RFR) dla danych opisujących stany AP. Pozwoliło to na zidentyfikowanie najbardziej istotnych czynników i sprawdzenie funkcji wiążących wskaźnik RFR ze zmiennymi niezależnymi w znacznej części niedostępnymi w bazach UE. Szczegółowy raport z badań przedstawiono w rozdz. 5.2.



Rys. 5.1 Schemat realizacji zadań w 4 etapie prowadzenia prac badawczych

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnym kroku skonstruowano modele wybranej miary ryzyka (RFR) dla danych opisujących regiony w UE. Opracowano dwie grupy modeli: modele jedno i dwupoziomowe. Modele jednopoziomowe uwzględniające charakterystyki i czynniki ryzyka z wybranych regionów UE. Natomiast modele wielopoziomowe skonstruowano uwzględniając charakterystyki i czynniki ryzyka krajowe i regionalne. Szczegółowy raport z badań przedstawiono w rozdz. 5.3.

W kolejnym kroku skonstruowano modele wybranych miar ryzyka (F i RFR) dla danych opisujących województwa w Polsce. W przypadku wskaźnika RFR opracowano dwie grupy modeli: modele jedno i dwupoziomowe (hierarchiczne). Modele jednopoziomowe uwzględniające charakterystyki i czynniki ryzyka w województwach. Natomiast modele wielopoziomowe skonstruowano uwzględniając charakterystyki i czynniki ryzyka krajowe oraz dla województw. Szczegółowy raport z badań przedstawiono w rozdz. 5.4.

5.2 Stany Ameryki Północnej

5.2.1 Cel i zakres badań

Motywacją zebrania, analizy i próby stworzenia modeli dla stanów AP były studia literatury, gdzie wiele publikacji dotyczyło wpływu różnych czynników na poziom bezpieczeństwa na wybranym obszarze. Ponadto na etapie zbierania informacji okazało się, że dane z tego kraju zbierane są systematycznie, są one ogólnodostępne i często swym zasięgiem czasowym sięgają daleko wstecz. Jest to duża przewaga nad bazą np. Eurostatu, której baza jest uzupełniania w zależności od dostępności danych poszczególnych krajów członkowskich UE, a dane historyczne nie są dostępne w tak szerokim zakresie jak dane amerykańskie. Ponadto dzięki temu być może, że w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej zagadnieniem bezpieczeństwa ruchu drogowego zajmuje się w wiele jednostek naukowych i badania naukowe są prowadzone w wielu kierunkach, a ich wyniki udostępniane powszechnie, możliwe było stworzenie bazy bogatej w wiele charakterystyk niedostępnych w przypadku danych o regionach EU i województw PL. Stworzona baza danych zawierała ostatecznie 51 charakterystyk poszczególnych stanów. Jedynie w przypadku stanów AP dostępne były takie zmienne jak długość drogi przebytej przez jednego mieszkańca VKTPC oraz dochód przypadający na mieszkańca danego obszaru INPC, które podczas wstępnych analiz czynnikowych okazały się mieć istotny wpływ na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w poszczególnych stanach. To właśnie w stanach AP dostępne są dane o średnim dowozie poszkodowanego w wypadku drogowym do szpitala, dzięki czemu można było sprawdzić, czy czynnik ten ma znaczenie i czy warto to monitorować. Podczas analiz wstępnych okazało się, że jest to ważna zmienna opisująca system ratownictwa [198], co może być istotne dla skuteczniejszego zarządzania brd w regionach EU i polskich województwach.

Konkluzje z analizy danych wykonanych w rozdziałach 3 i 4 pozwoliły wyciągnąć wstępne wnioski dotyczące potencjalnych możliwości stworzenia modeli dla tej grupy regionów. Podczas wstępnych analiz podstawowych zależności oraz rozkładu analizowanej miary ryzyka: liczby ofiar śmiertelnych F okazało się, że część regionów bardzo odstaje od pozostałych stanów i tworzy osobne skupiska danych. Stany te różniły się nie tylko pod względem liczby ofiar śmiertelnych F, ale również wielkości obszaru A czy populacji P. Wobec

powyższego w przypadku tego zbioru danych konieczne było wprowadzenie unormowanej miary ryzyka w postaci względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR.

Wytypowano również zmienne, które w największym stopniu powiązane są z modelowaną zmienną zależną RFR. Były to dane wyjściowe do budowy modelu wieloczynnikowego, gdzie kolejne zmienne z bazy były dodawane do modelu w procesie regresji krokowej, tak aby uzyskać model o wysokiej mierze dobroci, jak najmniejszym błędzie i wiarygodnych współczynnikach.

5.2.2 Konstruowanie modeli

W przypadku stanów AP zastosowano dwie struktury modelu opisanego w pkt. 4.2. Modele struktury RFR^B oraz RFR^D. W pierwszej kolejności w modelach uwzględniano dane wytypowane w analizach w rozdziale 4, a następnie próbowano poszerzyć model o kolejne zmienne.

5.2.2.1 Modele o strukturze RFR^B.

Podczas analiz wstępnych zmiennymi silnie wpływającymi na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych okazały się: długość drogi przebytej przez jednego mieszkańca VKTPC oraz dochód przypadający na mieszkańca danego obszaru INPC. Dlatego pierwszą grupę modeli stanowiły modele uwzględniające dwie wskazane zmienne oraz pozostałe zmienne niezależne. Spośród ponad 30 modeli wybrano modele o najwyższych miarach dobroci oraz najmniejszym błędzie średniokwadratowym. Przedstawione modele mają miarę dobroci $R^2=73-76\%$, a błąd średniokwadratowy wielkości około 19-27%. Na rysunkach 5.2 i 5.3 obrazujących opracowane modele uzmienniono wskazane zmienne niezależne, natomiast pozostałe zmienne przyjęto jako wartości średnie w analizowanej bazie danych. Opracowane funkcje w dobry sposób opisują dane rzeczywiste uwzględniając również ich rozproszenie.

$$RFR = \alpha \cdot \exp(\beta_1 \cdot INPC + \beta_2 \cdot PPC + \beta_3 \cdot MRV + \beta_4 \cdot DPR_{(D)} + \beta_5 \cdot VKTPC + \beta_6 \cdot DME_{(D)} + \beta_7 \cdot USB + \beta_8 \cdot DR_{(D)}) \quad (5.1)$$

gdzie:

INPC – dochód narodowy na mieszkańca [tys.ID/os.],

PPC – udział samochodów osobowych [%],

MRV – wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem [poj./os./rok],

DPR_(D) – gęstość demograficzna dróg twardych [tys.km/100 tys.os.],

VKTPC – długość drogi przebytej pojazdami w przeliczeniu na mieszkańca [tys.km/os.],

DME_(D) – gęstość demograficzna autostrad i ekspresowych [tys.km/100 tys.os.],

USB – stopień stosowania pasów bezpieczeństwa [%],

DR_(D) – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os.].

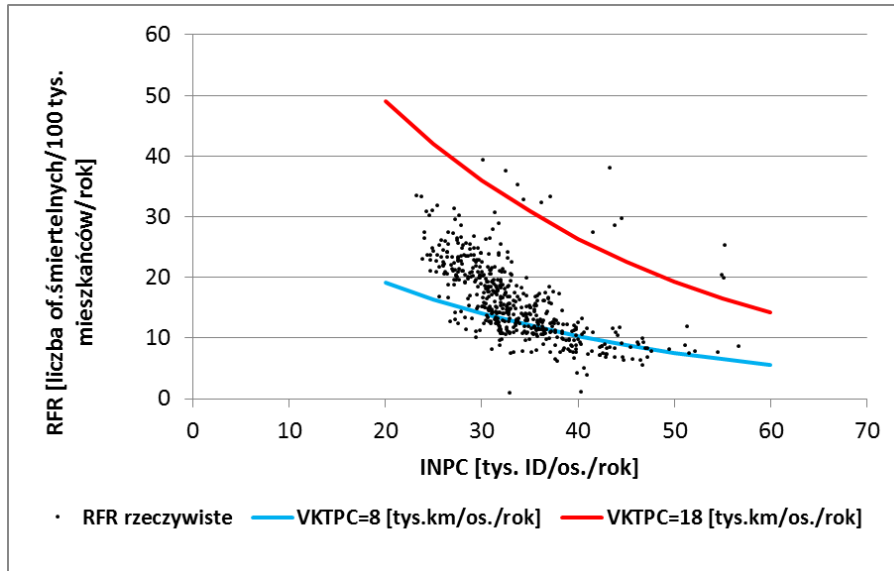
Tablica 5.1

Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.1

Model nr	Parametr										
	R _{sk} ²	Błąd	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8
RFR_AP_01	0,75	19%	26,401	-0,029	-0,004	0	0,058	0,082	0,117	-0,004	-0,011
RFR_AP_02	0,75	19%	19,031	-0,029	0	0	0,063	0,089	0,136	-0,003	-0,010
RFR_AP_03	0,74	20%	14,789	-0,031	0	0	0,041	0,094	0,108	0	0

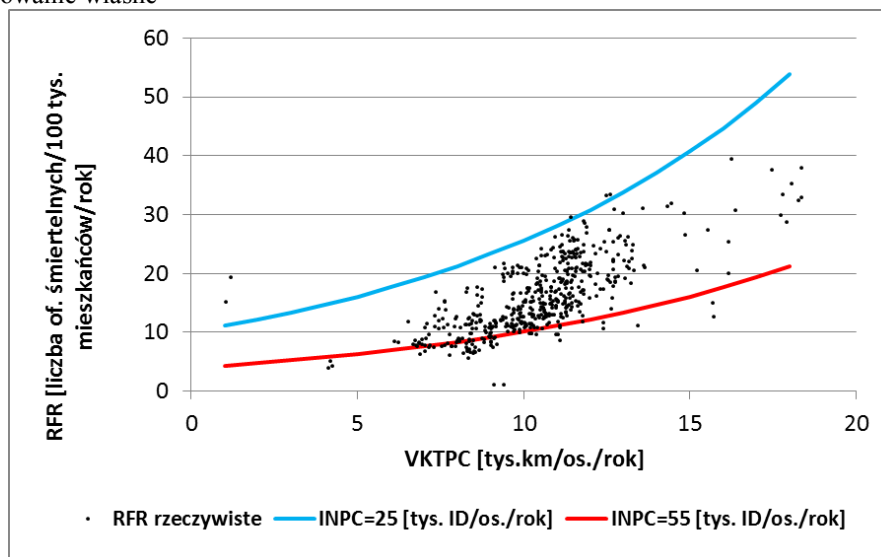
RFR_AP_04	0,73	20%	20,278	-0,031	-0,005	0	0,049	0,09	0	0	0
RFR_AP_05	0,57	26%	66,018	-0,034	-0,01	0	0,126	0	0	0	0
RFR_AP_06	0,51	27%	103,942	-0,044	-0,013	0,343	0	0	0	0	0
RFR_AP_07	0,73	20%	27,926	-0,030	-0,006	0	0,030	0,089	0	-0,003	0
RFR_AP_08	0,74	20%	29,991	-0,029	-0,007	0	0,066	0,082	0	-0,003	-0,009
RFR_AP_09	0,73	20%	32,680	-0,031	-0,008	0	0	0,093	0	-0,004	0

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.2 Wykres rzeczywistych wartości RFR oraz modelu RFR_AP_03 w zależności od dochodu na mieszkańca INPC oraz pracy przewozowej VKTPC.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.3 Wykres rzeczywistych wartości RFR oraz modelu RFR_AP_09 w zależności od pracy przewozowej VKTPC oraz dochodu na mieszkańca INPC.

Źródło: Opracowanie własne

Przedstawione wyniki (tabl. 5.4, rys. 5.6 i 5.6) wskazują, że wraz ze zwiększającą się długością drogi przebytej pojazdami przez jednego mieszkańca VKTPC, zwiększa się prawdopodobieństwo bycia ofiarą śmiertelną. Jednocześnie regiony o niższym dochodzie przypadającym na mieszkańca INPC, charakteryzują się wyższym względnym wskaźnikiem ofiar śmiertelnych. Ponadto wzrost udziału pojazdów osobowych we flocie PPC, wyższy stopień stosowania pasów bezpieczeństwa USB, a także gęstość demograficzna dróg ogółem

$DR_{(D)}$ skutkuje zmniejszeniem względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych. Natomiast większa gęstość demograficzna autostrad i dróg ekspresowych $DME_{(D)}$ oraz wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem MRV powoduje zwiększenie tego wskaźnika.

W kolejnym kroku prac nad modelami zdecydowano się zastąpić niedostępną, poza stanami AP zmienną o dochodzie przypadającym na mieszkańca $INPC$, jednostkowym produktem krajowym brutto przypadającym na mieszkańca $GDPPC$. W modelu zachowano zmienną o drodze przebytej przez jednego mieszkańca $VKTPC$. Po wielu próbach okazało się, że najlepszym modelem będzie w tym wypadku model potęgowo wykładniczy. W modelu udało się również uwzględnić zmienne wymieniane w literaturze, jako dobrze charakteryzujące poziom opieki zdrowotnej czy rozwoju społeczno-ekonomicznego. Są nimi: wskaźnik lekarzy na 10 tys. mieszkańców RD , czy wskaźnik śmiertelności białych noworodków $FR_{(I)}$. Przedstawione modele mają miarę dobroci $R^2=54-77\%$, a błąd średniokwadratowy wielkości około 18-25%. Na rysunku 5.4 przedstawiono wizualizację jednego z modeli na tle danych rzeczywistych. W legendzie rysunku podano wielkości parametrów przyjętych do wizualizacji, pozostałe zmienne występujące we wzorze przyjmują wartość średnią ze zbioru danych, na którym modelowano.

$$RFR = \alpha \cdot DP^{\beta_1} \cdot DR_{(D)}^{\beta_2} \cdot \exp(\beta_3 \cdot GDPPC + \beta_4 \cdot VKTPC + \beta_5 \cdot USB + \beta_6 \cdot RD + \beta_7 \cdot FR_{(I)} + \beta_8 \cdot ACPC) \quad (5.2)$$

gdzie:

DP - gęstość zaludnienia [os./km²/rok],

$GDPPC$ – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

RD – wskaźnik lekarzy na 10 tys. mieszkańców [lekarze/10 tys. mieszkańców/rok],

$FR_{(I)}$ – wskaźnik śmiertelności białych noworodków [zm./1000 urodzonych],

$VKTPC$ – długość drogi przebytej pojazdami w przeliczeniu na mieszkańca [tys.km/os.],

$ACPC$ – wskaźnik konsumpcji alkoholu [l/os./rok],

USB – stopień stosowania pasów bezpieczeństwa [%],

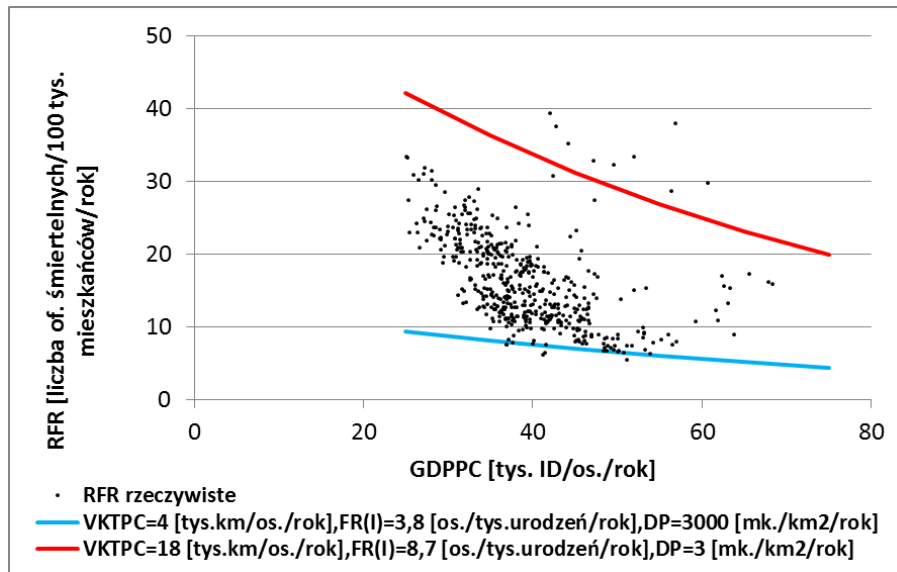
$DR_{(D)}$ – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os.].

Tablica 5.2

Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.2

Model nr	Parametr										
	R_{sk}^2	Błąd	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8
RFR AP 09	0,54	25%	86,602	0	0	-0,045	0	0	0	0	0
RFR AP 10	0,62	22%	23,305	0	0	-0,032	0,078	0	0	0	0
RFR AP 11	0,67	21%	28,157	-0,069	0	-0,028	0,069	0	0	0	0
RFR AP 12	0,67	21%	30,047	-0,068	0	-0,026	0,071	-0,002	0	0	0
RFR AP 13	0,74	19%	52,893	-0,046	0	-0,021	0,055	-0,002	-0,025	0	0
RFR AP 14	0,76	18%	26,737	-0,057	0	-0,015	0,052	-0,002	-0,021	0,077	0
RFR AP 15	0,74	19%	27,017	-0,078	0	-0,022	0,020	0	-0,016	0,108	0,012
RFR AP 16	0,77	17%	28,841	-0,089	-0,069	-0,015	0,062	-0,003	-0,022	0,081	0

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.4 Wykres rzeczywistych wartości RFR oraz modelu RFR_{AP_14} w zależności od drogi przebytej przez jednego mieszkańca VKTPC, śmiertelności białych noworodków $FR_{(I)}$ oraz produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC, oraz gęstości zaludnienia DP.

Źródło: Opracowanie własne

Podobnie jak w przypadku poprzedniej grupy modeli, droga przebyta przez jednego mieszkańca VKTPC oraz jednostkowy produkt krajowy brutto przypadający na mieszkańca GDPPC, okazała się mieć duży wpływ na poziom bezpieczeństwa na drogach w poszczególnych stanach AP. Jednocześnie wzrost wskaźnik śmiertelności białych noworodków $FR_{(I)}$ związany z gorszą opieką medyczną, był powiązany ze wzrostem względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR. Natomiast większy wskaźnik lekarzy przypadających na mieszkańca RD, związany z wyższym standardem opieki medycznej, okazał się mieć pozytywny wpływ na wskaźnik RFR. Oba te wnioski są zgodne z wnioskami z przestudiowanej literatury [28,31,166].

W związku z brakiem dostępności danych o drodze przebytej przez jednego mieszkańca VKTPC w pozostałych bazach regionów EU i województw PL stworzono kolejną grupę modeli bez tej zmiennej. Były to również modele potęgowo-wykładnicze. Modele te miały miarę dobroci $R^2=54-72\%$, a błąd średniokwadratowy wielkości około 19-25%.

$$RFR = \alpha \cdot DP^{\beta_1} \cdot \exp(\beta_2 \cdot GDPPC + \beta_3 \cdot MRV + \beta_4 \cdot USB + \beta_5 \cdot DPC + \beta_6 \cdot RD + \beta_7 \cdot FR_{(I)}) \quad (5.3)$$

gdzie:

DP - gęstość zaludnienia [os./km²/rok],

$GDPPC$ – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

RD – wskaźnik lekarzy na 10 tys. mieszkańców [lekarze/10 tys. mieszkańców/rok],

$FR_{(I)}$ – wskaźnik śmiertelności białych noworodków [zm./1000 urodzonych],

MRV – wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem [poj./os./rok],

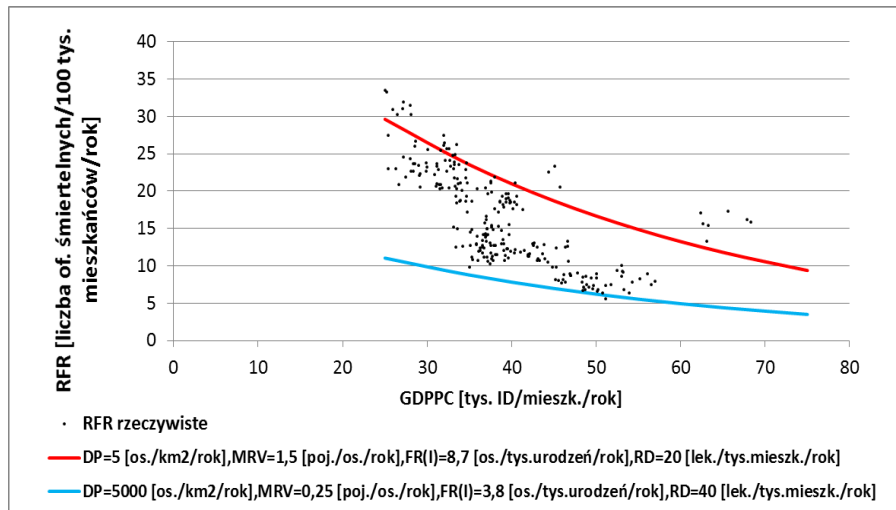
DPC – gęstość samochodów osobowych [poj./km²/rok],

USB – stopień stosowania pasów bezpieczeństwa [%].

Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.3

Model nr	Parametr									
	R_{sk}^2	Błąd	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7
RFR AP 17	0,54	25%	76,431	0	-0,045	0,135	0	0	0	0
RFR AP 18	0,60	23%	108,710	-0,088	-0,038	-0,191	0	0	0	0
RFR AP 19	0,69	20%	138,693	-0,047	-0,030	0,026	-0,003	0	-0,025	
RFR AP 20	0,72	20%	55,185	-0,058	-0,022	0,023	-0,003	0	0	0,094
RFR AP 21	0,72	19%	45,947	-0,052	-0,023	0,026	-0,002	0	-0,023	0,101
RFR AP 22	0,60	23%	69,103	0	-0,036	0	0	-0,003	0	

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.5 Wykres rzeczywistych wartości RFR oraz modelu RFR_AP_21 w zależności od produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC, gęstości zaludnienia DP, śmiertelności białych noworodków $FR_{(I)}$, wskaźnika motoryzacji MRV i wskaźnika lekarzy RD.

Źródło: Opracowanie własne

Ostatnią grupą modeli o strukturze RFR^B były modele potęgowo wykładnicze uwzględniające gęstość pojazdów ogółem DV z pominięciem gęstości zaludnienia DP, a także drogi przebytej przez jednego mieszkańca VKTPC. Stworzone modele potęgowo-wykładnicze miały miarę dobroci $R^2=65-81\%$, a błąd średniokwadratowy wielkości około 17-26%. Modele te okazały się mieć wysoką miarę dobroci. Wraz ze zwiększaniem się gęstości pojazdów ogółem DV, gęstości dróg ogółem $DR_{(A)}$ i ilości lekarzy wzrasta poziom bezpieczeństwa na drogach danego stanu. Jak widać na wykresie na rys. 5.6 zbudowana zależność o dużej wiarygodności jest możliwa dzięki temu, że w badanej grupie stanów AP jest duże zróżnicowanie gęstości pojazdów ogółem DV.

$$RFR = \alpha \cdot DV^{\beta_1} \cdot \exp(\beta_2 \cdot GDPPC + \beta_3 \cdot DR_{(A)} + \beta_4 \cdot PUR + \beta_5 \cdot RD + \beta_6 \cdot PUP + \beta_7 \cdot PPC) \quad (5.4)$$

gdzie:

DV - gęstość pojazdów ogółem [poj./km²/rok],

$GDPPC$ – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

RD – wskaźnik lekarzy na 10 tys. mieszkańców [lekarze/10 tys. mieszkańców/rok],

PUR – udział dróg w terenie zabudowanym [%],

PUP - udział ludności mieszkającej w miastach [%],

$DR_{(A)}$ – gęstość dróg ogółem [$\text{km}/\text{km}^2/\text{rok}$],

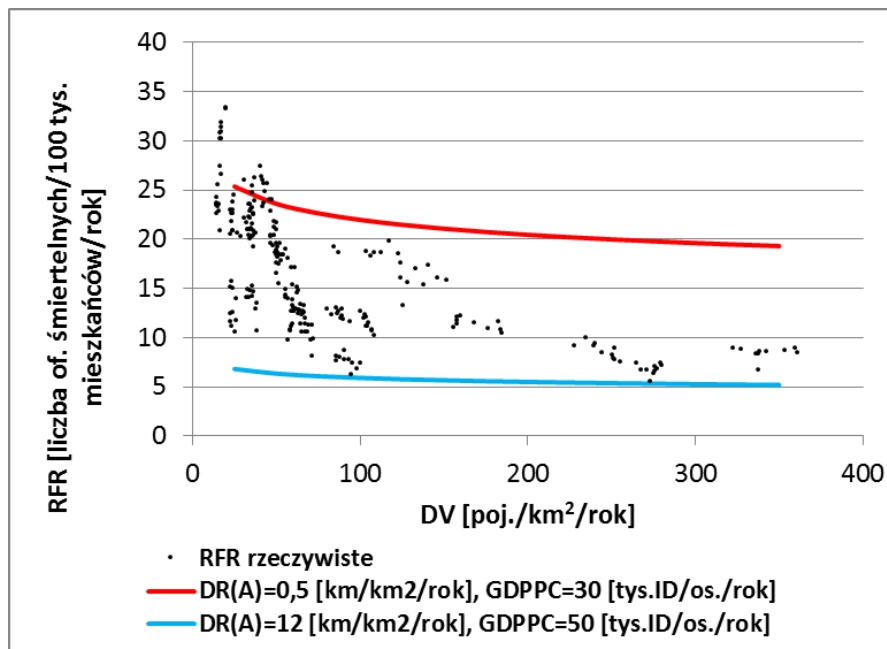
PPC - udział samochodów osobowych [%].

Tablica 5.4

Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.4

Model nr	Parametr									
	R ²	Błąd	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7
RFR AP 23	0,65	26%	88,131	-0,103	-0,028	-0,17	0	0	0	0
RFR AP 24	0,67	25%	124,208	-0,247	-0,026	-0,199	0,008	0	0	0
RFR AP 25	0,80	18%	146,86	-0,258	-0,009	0,003	0,006	-0,04	0	0
RFR AP 26	0,76	19%	179,103	-0,118	-0,004	-0,200	-0,011	-0,04	-0,009	0
RFR AP 27	0,81	17%	116,601	-0,022	-0,007	0,021	0	-0,004	-0,006	0
RFR AP 29	0,79	18%	112,458	-0,118	-0,010	-0,019	0	-0,04	0	0
RFR AP 30	0,65	23%	88,131	-0,103	-0,028	-0,170	0	0	0	0
RFR AP 31	0,65	23%	89,744	-0,130	-0,028	-0,175	0	0	0,002	
RFR AP 32	0,69	22%	132,634	-0,233	-0,026	-0,193	0,007	0	0	-0,002
RFR AP 33	0,65	23%	103,431	-0,090	-0,026	-0,165	0	0	0	-0,005

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.6 Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR AP 23 w zależności od gęstości pojazdów ogółem DV, produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC i gęstości dróg ogółem $DR_{(A)}$.

Źródło: Opracowanie własne

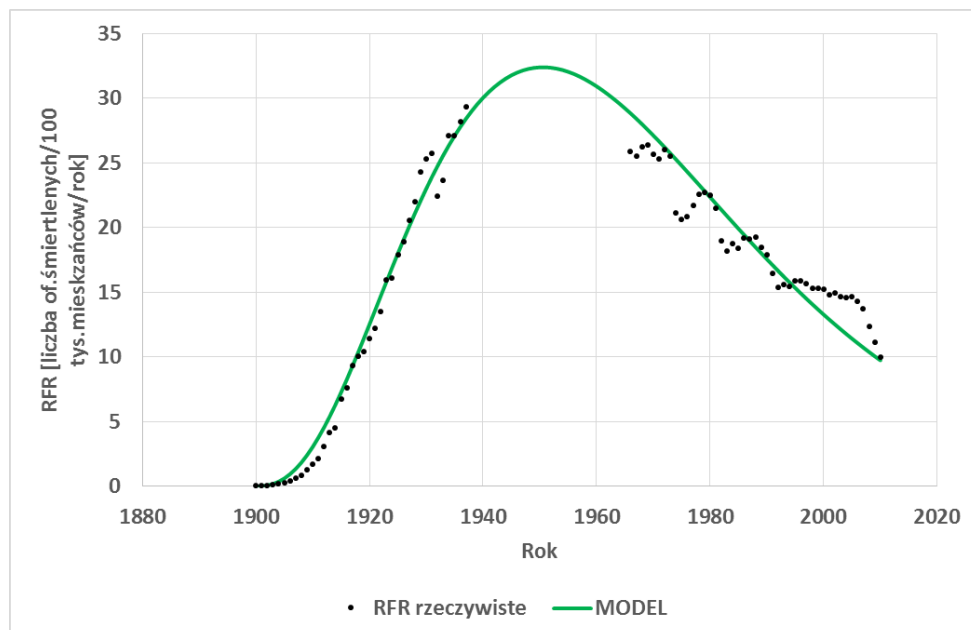
Powyższe modele nie uwzględniają wprowadzonej w 2001 roku przez 30 stanów wizji zero, mającej na celu zredukowanie liczby ofiar śmiertelnych. Po uwzględnieniu tego elementu, przeprowadzono próbę stworzenia modelu uwzględniającego ten fakt. Dla stanów, które nie wprowadziły tego programu lub dla danych z lat, sprzed tej inicjatywy nadano wartość 0, dla pozostałych 1 zmiennej VZERO. Opracowane modele, bez względu na liczbę uwzględnianych zmiennych niezależnych, wykazały że w stanach które wprowadziły program poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR był o około 5% niższy niż w przypadku stanów, które nie wprowadziły wizji zero. Można więc stwierdzić, że

wdrożenie wizji zero wraz idącymi za tym działaniami, wpłynęło pozytywnie na poziom bezpieczeństwa w regionach.

5.2.2.2 Modele o strukturze RFR^D.

Dane o stanach AP zebrane na potrzeby niniejszej dysertacji obejmowały lata 1999-2008. Wnioski z analiz wstępnych pokazują, że większość regionów Ameryki Północnej odnotowuje spadek analizowanego wskaźnika RFR, choć w przypadku kilku stanów spadek ten nie jest tak jednoznaczny. Na podstawie studiów literatury [90,114] postawiono hipotezę, że społeczeństwa do momentu osiągnięcia pewnego statusu ekonomicznego, nie zwracają uwagi na działania na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Po osiągnięciu takiego maksimum, wdrażane zostają pewne działania, a także wyższy jest poziom biernych środków bezpieczeństwa i poziom ryzyka zaczyna spadać. Dynamika tych zmian jednak może zależeć od wielu czynników i być różna w różnych krajach czy regionach. Dzięki dostępności danych o średnim krajowym produkcie brutto GDPPCC w AP [90] można było sprawdzić, czy w przypadku Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej również miało miejsce taka sytuacja i kiedy miało to miejsce. Na rysunku 5.7 przedstawiono wykres zmian średniego krajowego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR, w poszczególnych latach. Dane z okresu II Wojny Światowej i tuż po jej zakończeniu zostały pominięte, ponieważ w tym okresie występowały poważne zaburzenia, a widać było tendencję, którą zapisano za pomocą modelu matematycznego wzorem (5.5) i zilustrowano na rysunku 5.7. Miara dobroci opracowanego modelu wynosiła $R^2=0,98$.

$$RFR = 0,003 \cdot (ROK - 1899)^{3,109} \cdot \exp(-0,060 \cdot (ROK - 1899)) \quad (5.5)$$



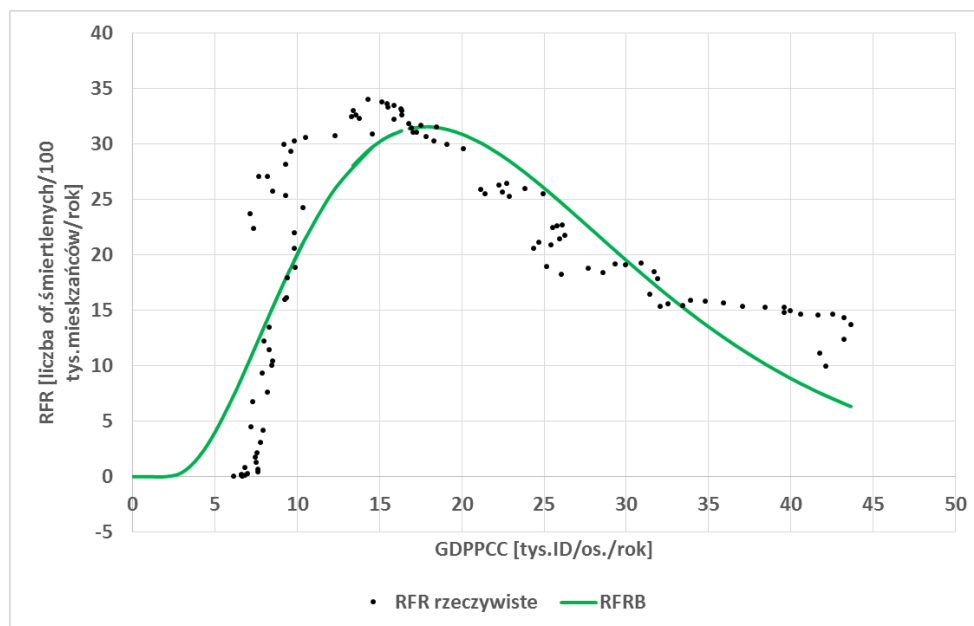
Rys. 5.7 Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz zamodelowanej krzywej w zależności od czasu ROK.

Źródło: Opracowanie własne

Kolejnym krokiem było opracowanie modelu bazowego RFR_B (5.6), obrazującego wpływ krajowego średniego względnego jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPCC

na średni krajowy względny wskaźnik ofiar śmiertelnych. Model ten okazał się mieć gorszą miarę dobroci, bo $R^2=0,66$. Dzięki danym krajowym od roku 1900, potwierdzono opisywane w przestudiowanych wcześniej opracowaniach maksimum względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR, które nastąpiło gdy średni produkt krajowy brutto GDPPCC wynosił około 18 tys.ID/mk.rok. Na rysunku 5.8 zobrazowano, jak model ten wygląda na tle danych rzeczywistych. Zaobserwowano, że mimo oddania za pomocą modelu zaobserwowanego trendu, wartości rzeczywiste odbiegały od funkcji zamodelowanej.

$$RFR_B = (0,608 \cdot (GDPPCC - 2)^{2,416} \cdot \exp(-0,153 \cdot GDPPCC)) \quad (5.6)$$



Rys. 5.8 Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu bazowego RFR_B od średniego krajowego jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPCC.

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie powyższej analizy można było postawić następujące hipotezy:

1. Do wiarygodnego prognozowania warto jest skorzystać z jak największego zakresu czasowego danych, nawet na wyższym poziomie agregacji, aby w jak najbardziej wiarygodny sposób odwzorować zaobserwowane zależności.
2. Na poziom bezpieczeństwa w danym regionie mogą wpływać charakterystyki właściwe dla danego regionu różnicujące na przykład stan infrastruktury oraz zachowania użytkowników. Ponadto w zależności od tego, czy zostaną podjęte odpowiednie kroki, mające na celu poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego w danym regionie, będzie sukcesywnie spadać poziom ryzyka na drogach danego regionu lub po pewnym czasie zacznie on znowu rosnąć.

W celu sprawdzenia niniejszej hipotezy, opracowano model matematyczny (5.8) zawierający dane o średnim jednostkowym produkcie krajowym brutto w danym roku GDPPCC, względny wskaźnik produktu krajowego brutto WGDPPC oraz inne dane charakteryzujące dany stan, pochodzące z bazy opisanej w rozdziale 4. Model ten ma więc postać modelu hierarchicznego,

składającego się z danych krajowych i stanowych. Jak wspomniano w syntezie literatury tego rodzaju modele również były stosowane w modelowaniu bezpieczeństwa ruchu drogowego [33,60,72]. Dane krajowe znajdują się w modelu bazowym RFR_B , natomiast dane regionalne w zamodelowanym współczynniku korygującym CF_R . Ogólna postać modelu to:

$$RFR = RFR_B \cdot CF_R \quad (5.7)$$

gdzie:

$$CF_R = f(WGDPPC, VKTPC, MRPC, DPR_{(D)})$$

W wyniku czego uzyskano funkcję:

$$RFR = (0,608 \cdot (GDPPCC - 2)^{2,416} \cdot \exp(-0,153 \cdot GDPPCC)) \cdot (\exp(\alpha_1 \cdot WGDPPC + \alpha_2 \cdot VKTPC) \cdot DP^{\beta_1} \cdot MRPC^{\beta_2} \cdot DPR_{(D)}^{\beta_3} \cdot WGDPPC^{\beta_4}) \cdot \gamma \quad (5.8)$$

$$WGDPPC = \frac{GDPPC}{GDPPCC}$$

Gdzie:

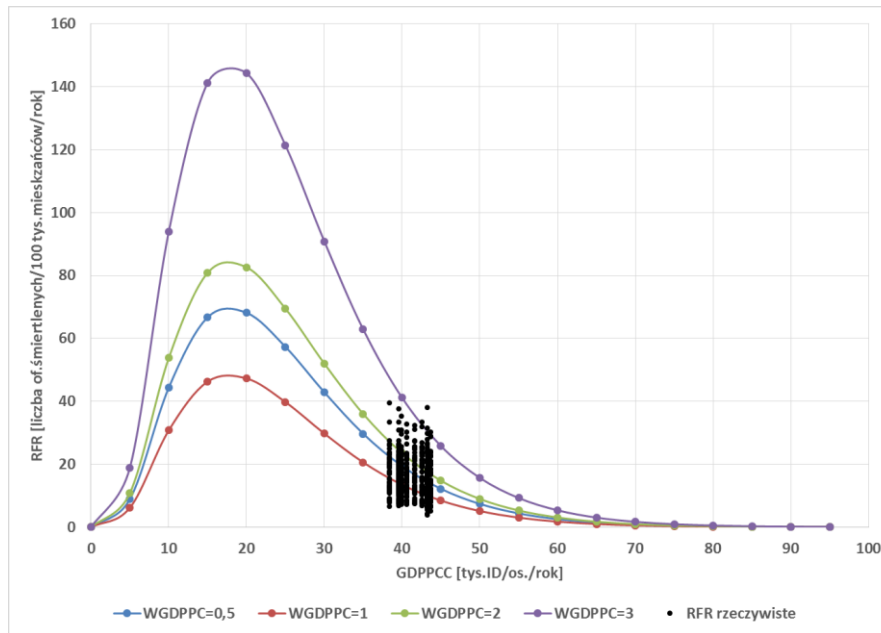
$WGDPPC$ – względny produkt krajowy brutto w poszczególnych stanach w danym roku [-],
 $GDPPCC$ – średni jednostkowy produkt krajowy brutto w AP w danym roku [tys. ID/mk./rok],
 $GDPPC$, $VKTPC$, $MRPC$, $DPR_{(D)}$, DP – zmienne charakteryzujące poszczególne stany AP.

Tablica 5.5

Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.8

Model nr	Parametr								
	R_{sk}^2	Błąd	α_1	α_2	β_1	β_2	β_3	β_4	γ
RFR_AP_34	0,61	24%	-0,265	0,105	-0,140	-0,483	0,133	0,000	1,000
RFR_AP_35	0,64	23%	0,558	0,081	-0,266	-0,384	0,251	-0,928	0,910

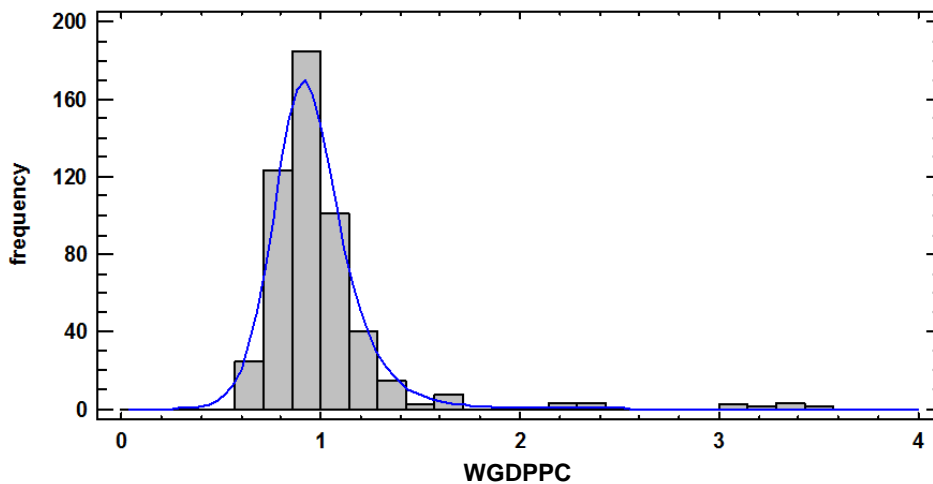
Na kolejnym wykresie (rys. 5.9) przedstawiono wykresy zmian względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w zależności od średniego jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPCC oraz względnego produktu krajowego brutto w regionach WGDPPC i opisanych modelem RFR_AP_35. Na tym samym wykresie naniesiono również wartości liczbowe wskaźnika RFR ze zbioru danych z poszczególnych stanów, zebrane na potrzeby niniejszej dysertacji. Z tego wykresu widać, że poziom rozwoju społeczno – ekonomicznego poszczególnych stanów AP jest bardzo wysoki, stąd zaobserwowane wskaźniki RFR znajdują się już w opadającej części krzywej RFR jako $f(GDPPC)$, tj. w znacznej odległości od punktu przełamania. Wyniki przedstawione na wykresie wskazują ponadto, że istotny wpływ na poziom RFR ma także względna różnica produktu krajowego brutto, w poszczególnych stanach GDPPC, w stosunku do produktu krajowego brutto GDPPCC. Zależność ta dla stanu obecnego jest krzywoliniowa (w kształcie litery U), a optimum znajduje się w przypadku, gdy WGDPPC jest najbliższe wartości 1.



Rys. 5.9 Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_AP_35 w zależności od średniego jednostkowego produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPCC i względnego wskaźnika produktu krajowego brutto WGDPPC.

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 5.10 przedstawiono rozkład gęstości prawdopodobieństwa względnego wskaźnika jednostkowego produktu krajowego brutto WGDPPC w analizowanej bazie stanów AP. Najczęstszą wartością tego wskaźnika w analizowanym zbiorze danych była wartość 1 tzn. że większość stanów jest na poziomie rozwoju społeczno- gospodarczego zbliżonym do średniej krajowej.



Rys. 5.10 Rozkład gęstości prawdopodobieństwa względnego wskaźnika jednostkowego produktu krajowego brutto WGDPPC w analizowanym zbiorze danych stanowych AP.

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 5.11 przedstawiono rozkład wskaźnika RFR w stanach AP oraz wykresy zależności wskaźnika RFR uzyskanych za pomocą modelu RFR_AP_34 oraz RFR_AP_35,

w zależności od względnego wskaźnika jednostkowego produktu krajowego brutto WGDPPC i średniego produktu krajowego brutto GDPPC. Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że biedniejsze stany od przeciętnego regionu w danym kraju, do momentu osiągnięcia średniej krajowej jednostkowego produktu krajowego brutto WGDPPC=1 zmniejszają poziom ryzyka na drogach. W momencie osiągnięcia przez dany region GDPPC średniej wartości dla kraju, w dalszej perspektywie możliwe są dwa scenariusze. Jeżeli dany region wprowadzi silną politykę transportową oraz będzie wdrażał i dotował programy poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, trend poprawy bezpieczeństwa na drogach zostanie utrzymany. W przeciwnym razie poziom BRD może się pogarszać.

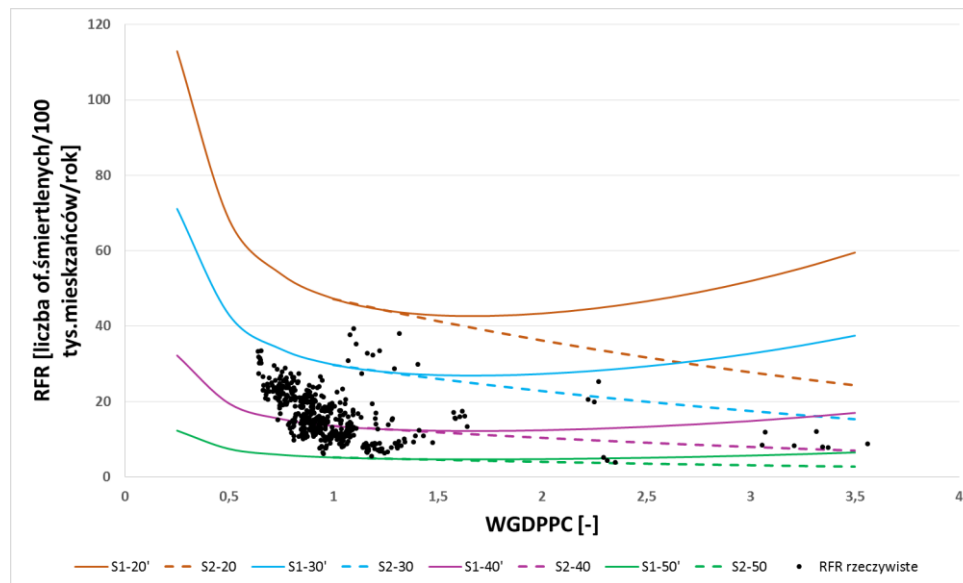
Na rys. 5.11 przedstawiono dwa scenariusze zmian:

- S1- Nie robić nic nowego
- S2- Podjąć zdecydowane działania na rzecz brd.

Scenariusz S1 reprezentujący aktualny stan działań bez specjalnego zwiększenia wysiłków na rzecz poprawy brd. Do opisu zmian wykorzystano model RFR_AP_34.

Scenariusz S2 reprezentujący stan działań wymagający specjalnego zwiększenia wysiłków na rzecz poprawy brd. Do opisu zmian wykorzystano model RFR_AP_35.

Zarządzający bezpieczeństwem ruchu drogowego w danym regionie potrzebują wiedzy, jakie czynniki wpływają w najwyższym stopniu, jakie w mniejszym, a jakie nie mają wpływu na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w danym regionie. Należy wobec tego opracować modele matematyczne uwzględniające wybrane charakterystyki danego regionu. Modele takie jak choćby przedstawione wcześniej modele od RFR_AP_01 do RFR_AP_33 zawierały zmienne opisujące stan opieki medycznej, rozwoju ekonomicznego, zachowań użytkowników dróg oraz zagospodarowania terenu i charakterystyki infrastruktury. Na większość tych parametrów można wpływać polityką społeczną, gospodarczą czy zwiększonym nadzorem policji. Dzięki umieszczeniu tego rodzaju zmiennych w modelu matematycznym, można tworzyć prognozy z różnymi scenariuszami. Łatwiej też o podjęcie decyzji o działaniach na których należy się skupić w pierwszej kolejności tak, aby osiągnąć zamierzony cel.



Rys. 5.11 Wykres rzeczywistych i modelowanych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych (RFR) w zależności od względnego wskaźnika jednostkowego produktu krajowego brutto (WGDPPC).

Źródło: Opracowanie własne

Zastosowanie hierarchicznego modelu wskaźnika RFR dla danych ze stanów AP, pozwoliło na umiejscowienie poziomu bezpieczeństwa poszczególnych stanów na krzywej pokazującej zależność RFR od poziomu rozwoju społeczno- ekonomicznego sięgającej początku XX wieku. Tak jak wspomniano wcześniej, dane o regionach w niniejszej dysertacji pochodzą z lat 1999-2008. Jest to czasokres już po latach 60-tych kiedy to prawdopodobnie wystąpił punkt przegięcia dla funkcji opisującej zmiany względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR. Dlatego generalnie względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR wykazuje tendencję spadkową. Jednak widać dane, które wskazują na zjawisko scenariusza S1. Mimo osiągniętego wysokiego jednostkowego produktu brutto GDPPC w danym stanie, nie zmniejsza się liczba ofiar śmiertelnych w przeciągu 10 lat. Szczegółowa analiza matematyczna charakterystyk poszczególnych regionów i stworzenie modelu matematycznego może być pomocnym narzędziem do wyjaśnienia tego zjawiska.

5.2.3 Dyskusja wyników

Opracowane modele o strukturze RFR^B pozwoliły na wskazanie zmiennych wpływających na poziom bezpieczeństwa w poszczególnych stanach AP.

W przypadku danych amerykańskich znaczące okazały się: droga przebyta przez jednego mieszkańca VKTPC. Dochód przypadający na mieszkańca INPC okazał się lepszą zmienną objaśniającą niż jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC. Niestety dwie pierwsze zmienne dostępne są jedynie dla danych o stanach AP. Wyniki modelowania pokazały również, że większa gęstość zaludnienia DP, to mniejszy względny wskaźnik liczby ofiar śmiertelnych RFR, co jest zgodne z wnioskami ze studiów literatury [29,151,166]. Różnica w poziomie opieki zdrowotnej wyrażona we wskaźniku lekarzy RD, czy śmiertelności białych noworodków $FR_{(1)}$ ma swoje odbicie także w modelowanym wskaźniku RFR, co również jest spójne z wnioskami ze studiów literatury [28,151]. Mimo, że analizy jednoczynnikowe wskazywały

na wpływ czasu transportu uszkodzonego do szpitala TTC, to w modelach zmienna ta została odrzucona jako mało istotna. Jednak zapinanie pasów bezpieczeństwa, wskazywane w literaturze [38], również okazało się istotne. W przypadku danych amerykańskich, gęstość pojazdów ogółem DV okazała się być na tyle zróżnicowana w grupie badanych stanów, że pozwoliło to stworzyć modele o wysokiej mierze dobroci. Model o strukturze RFR^D pozwolił na umieszczenie danych zebranych na potrzeby niniejszej dysertacji na tle zmian w dłuższym okresie czasu. Ponadto można było pokazać, że nie tylko od rozwoju ekonomicznego, ale również strategicznego podejścia do polityki transportowej zależy, czy w danym regionie będzie bardziej lub mniej bezpiecznie na drogach.

5.2.4 Podsumowanie i wnioski

Stosowanie obu struktur modeli ma swoje zalety. Model hierarchiczny o strukturze RFR^D pozwolił stworzyć funkcję o kształcie odpowiadającym zmianom, obejmującym duży zakres czasowy oraz umożliwił potwierdzenie w matematyczny sposób hipotezy, że od wielu czynników zależy trend zmian brd w regionach i wpływa na niego sposób zarządzania brd.

Opracowanie modeli o strukturze RFR^B pozwoliło uwzględnić wielu czynników wpływających na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego na sieci dróg w poszczególnych stanach. Można było dzięki temu wskazać szczegółowe czynniki różnicujące poszczególne regiony, które powinny być monitorowane a ich zmiany mogą posłużyć do prognozowania z założeniem różnych scenariuszy.

Ze względu na fakt, że głównym celem niniejszej dysertacji było opracowanie modeli dla regionów EU ze szczególnym uwzględnieniem województw PL, nie rozwijano dalej metodyki budowy kolejnych modeli dla stanów AP. Jednak przeprowadzone prace miały wysoki walor poznawczy w kontekście konstrukcji modeli wybranych miar ryzyka i zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego na poziomie regionalnym. Dzięki analizie stanu bezpieczeństwa w stanach AP, dla których ogólnie dostępne są charakterystyki o np. długości drogi przebytej pojazdami w analizowanym stanie, rzeczywisty dochód przypadający na jednego mieszkańca, czy poziom zapinania pasów i czas dowozu uszkodzonego w wypadku do szpitala, można było wskazać zmienne w wysokim stopniu wyjaśniające poziom bezpieczeństwa w poszczególnych regionach. Wnioski z tych analiz są tym bardziej cenne, że tego rodzaju dane nie są zbierane w bazie EUROSTAT [226] czy Głównym Urzędzie Statystycznym [67], które są najbardziej dostępnymi bazami zbierającymi i udostępniającymi dane z Europy i Polski na poziomie regionalnym. Należy zatem podkreślić zasadność, a nawet konieczność monitorowania i zbierania tego rodzaju danych w bazach europejskiej i polskiej.

5.3 Regiony Europy

5.3.1 Cel i zakres badań

Motywacją zebrania, analizy i próby stworzenia modeli dla regionów EU były studia literatury, gdzie wiele publikacji dotyczyło wpływu różnych czynników na poziom bezpieczeństwa na wybranym obszarze. Jednak w przypadku publikacji dotyczących Europy, analizy te ograniczały się do regionów z jednego kraju [36,147], lub kilku krajów o podobnej charakterystyce [41,42]. Najczęściej były to modele jednoczynnikowe, rzadziej

wieloczynnikowe. Nie znaleziono jednak opracowań dotyczących regionów z całej Europy, i dlatego zdecydowano się w niniejszej dysertacji potraktować regiony EU jako jednorodny zbiór regionów europejskich i podjęto próbę stworzenia uniwersalnych modeli matematycznych objaśniających różnice w poziomie bezpieczeństwa ruchu drogowego, w poszczególnych regionach EU. Ponieważ ilość charakterystyk regionów zbieranych w jednorodnej bazie danych EUROSTAT [226] jest mniejsza niż w przypadku stanów AP (27 zmiennych niezależnych), zbudowane modele miały być modelami bazowymi dla modeli województw PL, wzbogaconych o charakterystyki dodatkowe, dostępne w bazie GUS [67].

Z analiz wstępnych, podobnie jak w przypadku regionów AP, wynikało, że z uwagi na rozproszenie regionów EU pod względem bezpieczeństwa ruchu drogowego, a także innych charakterystyk budowa modeli będzie możliwa jedynie dla względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR.

Wytypowano również zmienne, które w największym stopniu powiązane są z modelowaną zmienną zależną RFR. Były to dane wyjściowe do budowy modelu wieloczynnikowego, gdzie kolejne zmienne z bazy były dodawane do modelu w procesie regresji krokowej, tak aby uzyskać model o wysokiej mierze dobroci, jak najmniejszym błędzie i wiarygodnych współczynnikach.

5.3.2 Konstruowanie modeli

W przypadku regionów EU zastosowano trzy struktury modelu opisanego w pkt. 4.2. Modele struktury RFR^B, RFR^C oraz RFR^D. W pierwszej kolejności w modelach uwzględniano zmienne zidentyfikowane na podstawie analiz przedstawionych w rozdz. 4 (tabl. 4.4), a następnie w miarę potrzeb poszerzano modele o kolejne zmienne.

5.3.2.1 Modele o strukturze RFR^B.

Podjęcie ogólne. Pierwszym sposobem na stworzenie modeli względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR dla regionów EU było potraktowanie tych regionów jako jednolitej bazy. Celem było stworzenie uniwersalnych modeli opisujących dynamikę zmian poziomu bezpieczeństwa na sieci drogowej poszczególnych regionów dla całej Europy. Ponieważ podczas wstępnych analiz zebranych charakterystyk poszczególnych regionów zauważono dużą ich dyspersję, podczas tworzenia modeli dla wybranych zmiennych niezależnych przeprowadzono normalizację wprowadzając logarytm naturalny zmiennych niezależnych o dużym rozstępie. Wyniki modelowania przedstawiono poniżej. W modelach (5.9) i (5.10) będącymi modelami potęgowo-wykładniczymi największą rolę odgrywają: poziom rozwoju społeczno-ekonomicznego wyrażonego jako jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC, gęstość zaludnienia DP oraz gęstość pojazdów DV. Jest to zgodne z wnioskami z przestudiowanej literatury [53,114,169]. Jednak model zawierający tylko te zmienne nie oddawałby pełni obrazu dla wszystkich regionów. Podczas opracowywania modeli pojawił się dodatkowy problem. Zmienne zbierane na poziomie regionalnym z jednej strony wykazują duże rozproszenie, przez co podczas tworzenia modeli trzeba je było ustandaryzować, co powoduje zmniejszenie ich zróżnicowania. Pomaga to w utworzeniu modelu, ale jednocześnie traci się ważną cechę zróżnicowania poszczególnych regionów. Celem niniejszej dysertacji było stworzenie modeli uwzględniających różnice pomiędzy regionami a nie ujednoczenia ich i zatracania różnic.

Pozostałe zmienne takie jak gęstość demograficzna dróg ogółem $DR_{(D)}$, czy udział samochodów osobowych w całej flocie pojazdów PPC miały mniejszy wpływ. Niestety uzyskane modele, opracowane dla regionów EU [103] mają miarę dobroci $R_{sk}^2=16-56\%$, przy jednoczesnym błędzie średniokwadratowym jest rzędu 31-45%. W modelach tych wraz ze wzrostem jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC maleje względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR (rys. 5.12), natomiast w przypadku zlogarytmowanej wartości gęstości pojazdów $\ln DV$ do pewnego momentu wskaźnik ten rośnie a potem zaczyna maleć (rys. 5.13). Z uwagi na zastosowanie logarytmu podstawowych zmiennych budujących te modele, są one trudne do interpretacji a tym samym ich aplikacja do prognozowania może być utrudniona.

$$RFR = \alpha \cdot \ln(GDPPC)^{\beta_1} \cdot DP^{\beta_2} \cdot DV^{\beta_3} \cdot GDPPC^{\beta_4} \cdot EXP(\beta_5 \cdot PPC + \beta_6 \cdot DR_{(D)} + \beta_7 \cdot EDU_{(K)}) \quad (5.9)$$

gdzie:

DV - gęstość pojazdów ogółem [poj./km²/rok],

$GDPPC$ – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

DP - gęstość zaludnienia [os./km²/rok],

$DR_{(D)}$ – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys. km/100 tys. os./rok]

PPC - udział samochodów osobowych [%]

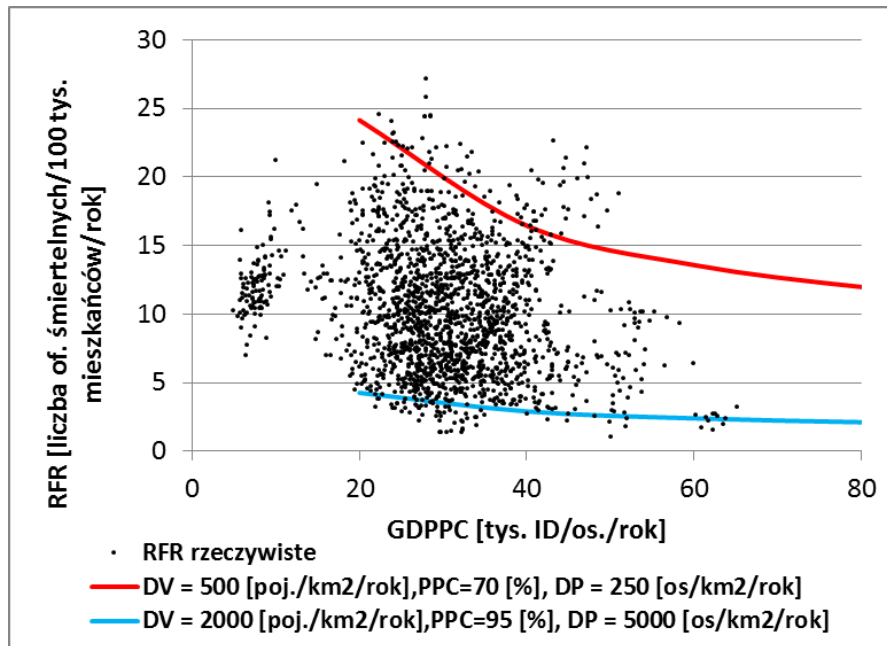
$EDU(K)$ - udział 4-latków i starszych w przedszkolach [%],

Tablica 5.6

Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.9

Model nr	Parametr									
	R_{sk}^2	Błąd	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7
RFR_EU_01	0,56	34%	2117,008	-1,842	-0,758	0,586	0	-0,023	0	0
RFR_EU_02	0,57	34%	2166,961	-1,845	-0,806	0,610	0	-0,021	-0,036	0
RFR_EU_03	0,39	45%	1692,812	-1,294	-0,789	0,676	0	-0,027	0	0
RFR_EU_04	0,56	34%	1026,21	-2,778	-0,453	0,281	0,468	-0,022	0	0,468

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.12 Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_EU_01 w zależności od gęstości pojazdów ogółem DV, produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC i gęstości zaludnienia DP oraz udziału samochodów osobowych PPC.

Źródło: Opracowanie własne

$$RFR = \alpha \cdot DV^{\beta_1} \cdot DP^{\beta_2} \cdot \ln(DV)^{\beta_3} \cdot \ln(DP)^{\beta_4} \cdot \exp(\beta_5 \cdot GDPPC + \beta_6 \cdot DR_{(A)} + \beta_7 \cdot DME_{(A)}) \quad (5.10)$$

gdzie:

DV - gęstość pojazdów ogółem [poj./km²/rok],

$GDPPC$ – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

DP - gęstość zaludnienia [os./km²/rok],

$DR_{(A)}$ – gęstość dróg ogółem [km/km²/rok],

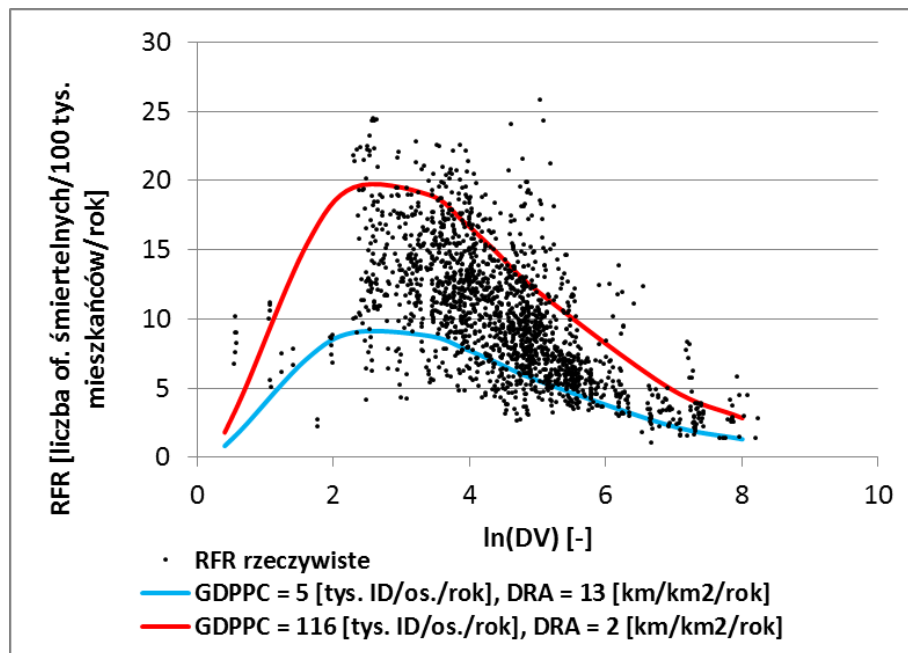
$DME_{(A)}$ - gęstość autostrad [km/km²/rok],

Tablica 5.7

Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.10

Model nr	Parametr									
	R_{sk}^2	Błąd	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7
RFR_EU_05	0,16	41%	19,185	0	0	-0,43	0	0	0	0
RFR_EU_06	0,18	41%	21,289	0	0	-0,397	0	-0,005	0	0
RFR_EU_07	0,30	38%	31,652	0	-0,289	0,366	0	-0,006	0	0
RFR_EU_08	0,18	41%	26,622	0	0	-0,132	-0,353	0,006		0
RFR_EU_09	0,23	37%	27,746	0	0	-0,122	-0,281	-0,006	-0,083	0
RFR_EU_10	0,33	36%	20,208	0	0	0,047	-0,239	-0,002	-0,092	-8,270
RFR_EU_11	0,44	34%	13,992	-0,829	0	2,289	-0,045	0,004	-0,030	0
RFR_EU_12	0,44	34%	13,440	-0,836	0	2,284	0	0,004	-0,030	0

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.13 Wykres rzeczywistych i modelowanych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR za pomocą modelu RFR_EU_12 w zależności od gęstości pojazdów ogółem DV, produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC i gęstości dróg ogółem DRA.

Źródło: Opracowanie własne

Podział na grupy regionów – podejście heurystyczne. Biorąc powyższe pod uwagę zdecydowano się na inne podejście do modelowania. W kolejnym kroku wzięto pod uwagę wnioski z analiz w punkcie 3, gdzie zauważono duże rozproszenie zbioru wszystkich danych regionalnych z Europy w jednym zbiorze. Podzielono tam heurystycznie dane na dwa zbiory regionów „nowej” i „starej” Unii Europejskiej. Pierwsza baza to regiony „rozwijające się” (głównie z krajów, które niedawno dołączyły do wspólnoty, druga to regiony „rozwinęte” (regiony krajów „starej Unii”). Podjęto próbę stworzenia modeli dla każdej z baz oddzielnie.

Regiony z krajów „rozwijających się”. Mimo zaobserwowanej różnicy statystycznej pomiędzy grupą regionów „rozwinętych” i krajów „rozwijających się”, podczas szczegółowej analizy zależności okazało się, że problem jest skomplikowany. Założono przyjęcie tych samych parametrów skali, jakie zostały wytypowane dla zbiorczej bazy regionów europejskich. Niestety po podzieleniu regionów mniej i bardziej zaawansowanych ekonomicznie, społecznie i kulturowo, jeśli chodzi o kulturę jazdy na drogach okazało się, że zauważone zależności na bazie zbiorczej inaczej wyglądają w każdej z mniejszych baz oddzielnie. W przypadku regionów „rozwijających się” w analizowanym okresie czasu, nie zaobserwowano jednoznacznej zależności względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych FRF od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC, wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV. Najbardziej obiecujące wyniki dała analiza wpływu gęstości zaludnienia DP i gęstości pojazdów DV, jednak również tam zaobserwowana tendencja nie jest jednoznacznie malejąca.

W przypadku modeli, gdzie parametrem skali był jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC, miara dopasowania nie przekraczała 20%, a błąd średniokwadratowy oscylował około 26% (model (5.11), tablica 5.8). W regionach o niższym jednostkowym produkcie krajowym brutto GDPPC, początkowo wraz ze wzbogacaniem się następuje wzrost wskaźnika liczby ofiar

śmiertelnych na drogach RFR. Najprawdopodobniej jest to spowodowane tym, że regiony te osiągają już taki poziom zaawansowania ekonomicznego pozwalający na inwestowanie w kampanie na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, przebudowy dróg czy wprowadzanie automatycznego nadzoru nad niebezpiecznymi zachowaniami (np. fotoradary, odcinkowe pomiary prędkości). Zmianę tę udało się uwzględnić w opracowanych modelach. Jednakże na wykresie danych rzeczywistych (rys. 5.14) nie widać jednoznacznego punktu przegięcia. Jednocześnie zauważono, że wraz ze wzrostem udziału procentowego obszarów rolnych UGR wzrasta poziom ryzyka na drogach. Można postawić tezę, że w takiej sytuacji rośnie liczba odcinków dróg w terenie niezabudowanym, a tam kierowcy jeżdżą z większymi prędkościami. W takiej sytuacji konsekwencje wypadku są większe i jest wyższe prawdopodobieństwo bycia ofiarą śmiertelną. Jednocześnie w opracowanych modelach wskaźnik motoryzacji MRV ma ujemny, a gęstość demograficzna dróg ogółem $DR_{(D)}$ współczynnik dodatni. Oznacza to, że wraz ze wzrostem liczby pojazdów przypadających na mieszkańca poprawia się poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego, a wzrost sieci drogowej liczony na mieszkańca pogarsza stan bezpieczeństwa ruchu drogowego w danym regionie.

$$RFR = \alpha \cdot GDPPC^{\beta_1} \cdot \exp(\beta_2 \cdot GDPPC + \beta_3 \cdot DR_{(D)} + \beta_4 \cdot MRV + \beta_5 \cdot RUN + \beta_6 \cdot UGR) \quad (5.11)$$

gdzie:

$GDPPC$ – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

RUN – wskaźnik bezrobocia [%],

MRV – wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem [poj./os./rok],

UGR – udział gruntów ornych [%],

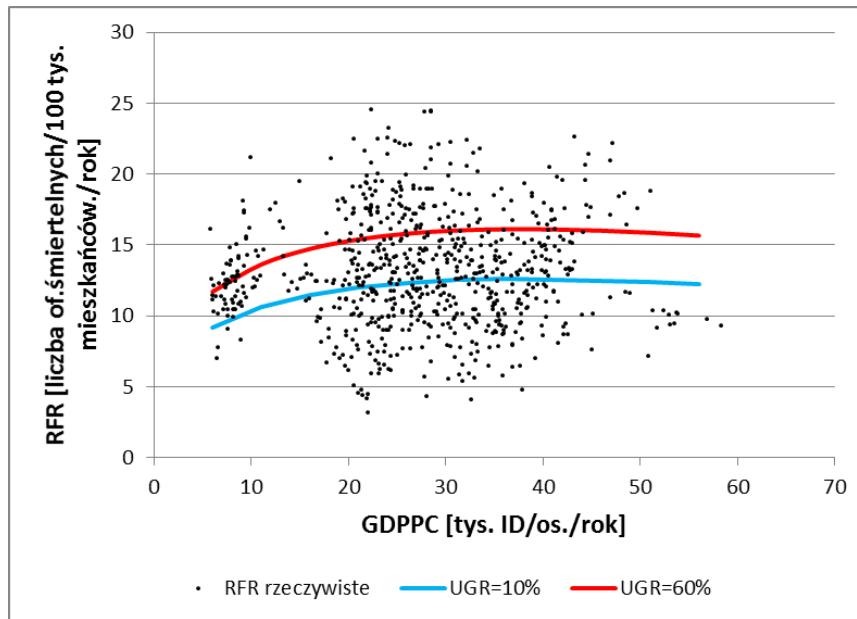
$DR_{(D)}$ – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os./rok].

Tablica 5.8

Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.11

Model nr	Parametr								
	R_{sk}^2	Błąd	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
RFR EU_13	0,17	25%	5,926	0,277	-0,006	0	-0,281	0,003	0,006
RFR EU_14	0,15	27%	5,957	0,320	-0,008	0	-0,317	0	0,005
RFR EU_15	0,19	26%	7,957	0,145	-0,001	0,108	-0,208	0	0,003

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.14 Wykres rzeczywistych i modelowanych (za pomocą modelu RFR_EU_14) wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC, pozostałe zmienne w modelu przyjęto dla wartości średnich w zbiorze.

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku modeli, gdzie parametrem skali była gęstość zaludnienia DP, uzyskane modele wyjaśniają około 35% przypadków, a błąd średniokwadratowy oscyluje około 25% (model (5.12), tablica 5.9). W analizowanym zbiorze wraz ze wzrostem gęstości zaludnienia DP w danym regionie maleje względny wskaźnik ofiar śmiertelnych. W przypadku tych regionów zauważono tendencję wzrostową względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR, gdy rośnie jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC, a także gdy wzrasta wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem MRV. Warto zauważyć, że wraz ze wzrostem spodziewanej długości życia LEI, czy też gęstości autostrad $DME_{(A)}$ zmniejsza się względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR. Modele te wydają się lepiej oddawać rzeczywistość, niż modele o wzorze ogólnym (5.11).

$$RFR = \alpha \cdot DP^{\beta_1} \cdot \exp(\beta_2 \cdot GDPPC + \beta_3 \cdot DR_{(D)} + \beta_4 \cdot MRV + \beta_5 \cdot (LEI - 20) + \beta_6 \cdot UGR + \beta_7 \cdot DME_{(A)}) \quad (5.12)$$

gdzie:

$GDPPC$ – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

LEI – wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia [lata],

MRV – wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem [poj./os./rok],

UGR – udział gruntów ornych [%],

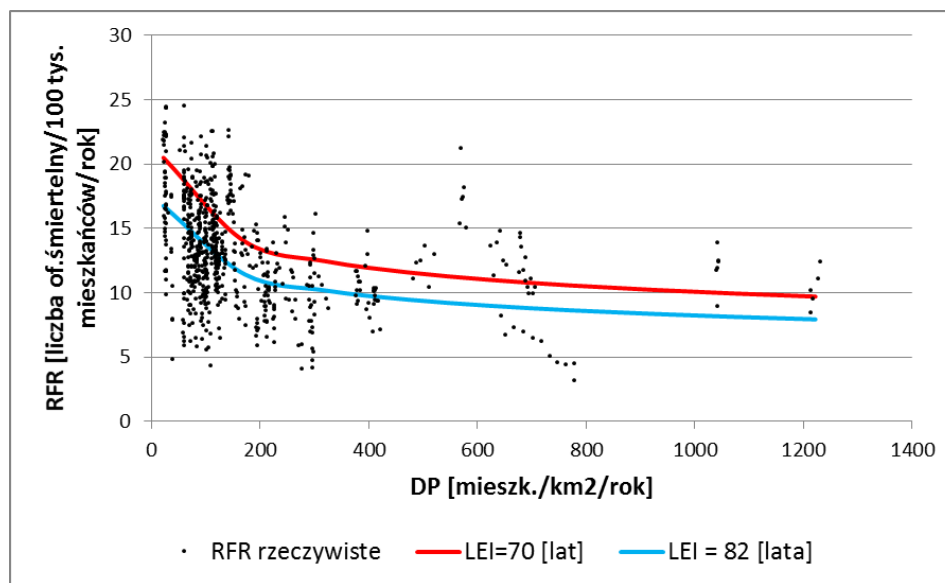
$DR_{(D)}$ – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os./rok],

$DME_{(A)}$ – gęstość autostrad [km/km²/rok].

Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.12

Model nr	Parametr									
	R_{sk}^2	Błąd	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7
RFR_EU_16	0,24	26%	32,661	-0,17	0,004	0	-0,473	0	0	0
RFR_EU_17	0,32	25%	231,668	-0,185	0,004	0	0,099	-0,037	0	0
RFR_EU_18	0,32	25%	191,516	-0,170	0,004	0	0,139	-0,035	0	-1,531
RFR_EU_19	0,32	24%	114,914	-0,154	0,004	0,050	0,107	-0,028	0	-1,383
RFR_EU_20	0,35	23%	54,802	-0,177	0,004	0,024	0,132	-0,015	0,004	0
RFR_EU_21	0,35	23%	59,747	-0,186	0,004	0,023	0,109	-0,016	0,004	0

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.15 Wykres rzeczywistych oraz modelowanych (za pomocą modelu RFR_EU_21) wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w zależności od gęstości zaludnienia DP oraz spodziewanej długości życia LEI. Pozostałe zmienne w modelu przyjęto dla wartości średnich w zbiorze.

Źródło: Opracowanie własne

Regiony z krajów „rozwinętych”. W przypadku regionów krajów „rozwinętych” zauważono, że zależność względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC ma kształt trójkąta. Dla regionów o jednostkowym produkcie krajowym brutto GDPPC do ok.30 tys. ID/rok odnotowano zależność wzrostu względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR wraz ze wzrostem jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC. Natomiast w przypadku wyższych zarobków już odnotowuje się już tendencję spadkową. Podobnie jak w przypadku krajów „rozwijających się” wraz ze wzrostem gęstości zaludnienia DP zauważa się zmniejszenie względnego wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych RFR, podobnie ma się z gęstością pojazdów ogółem DV. Co ciekawe jednocześnie wraz ze wzrostem wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV, zauważono wzrost wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych RFR. Stworzone modele potęgowo-wykładnicze miały miarę dobroci $R_{sk}^2=37-44\%$, a błąd średniokwadratowy wielkości około 34-39%.

$$RFR = \alpha \cdot GDPPC^{\beta_1} \cdot \exp(\beta_2 \cdot GDPPC + \beta_3 \cdot DR_{(D)} + \beta_4 \cdot MRV + \beta_5 \cdot (LEI - 20) + \beta_6 \cdot UGR) \quad (5.13)$$

gdzie:

GDPPC – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

MRV - wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem [poj./os./rok],

UGR– udział gruntów ornych [%],

LEI– wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia [lata],

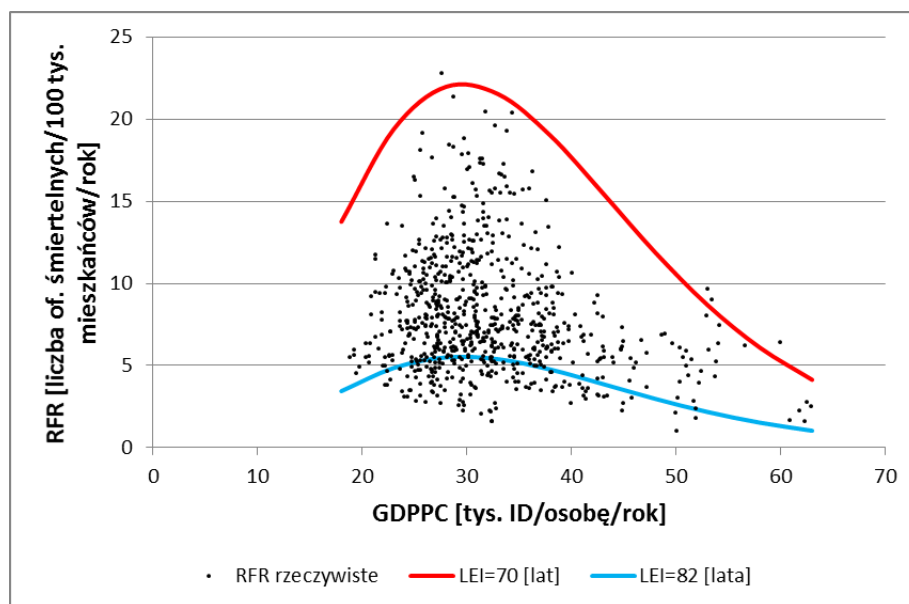
DR_(D) – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os./rok].

Tablica 5.10

Współczynniki modeli o wzorze ogólnym 5.13

Model nr	Parametr								
	R _{sk} ²	Błąd	α	β ₁	β ₂	β ₃	β ₄	β ₅	β ₆
RFR EU 22	0,37	36%	0,017	4,5	-0,157	0	3,195	-0,106	0
RFR EU 23	0,46	39%	0,022	4,5	-0,152	0	2,861	-1,110	2,861
RFR EU 24	0,44	34%	0,005	4,5	-0,127	0,246	0	-0,075	0

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.16 Wykres rzeczywistych oraz modelowanych (za pomocą modelu RFR_EU_23) wartości RFR w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC. Pozostałe zmienne w modelu przyjęto dla wartości średnich w zbiorze.

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku, gdy parametrem skali w modelu przyjęto gęstość zaludnienia DP to okazało się, że wraz z jej wzrostem malało ryzyko bycia ofiarą śmiertelną w danym regionie. Drugim najistotniejszym czynnikiem okazuje się wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia LEI. Stworzone modele potęgowo-wykładnicze miały miarę dobroci $R_{sk}^2=33-49\%$, a błąd średniokwadratowy wielkości około 37-43%.

$$RFR = \alpha \cdot DP^{\beta_1} \cdot \exp(\beta_2 \cdot GDPPC + \beta_3 \cdot DR_{(D)} + \beta_4 \cdot MRV + \beta_5 \cdot (LEI - 20) + \beta_6 \cdot UGR) \quad (5.14)$$

gdzie:

GDPPC – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

LEI– wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia [lata],

MRV - wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem [poj./os./rok],

UGR– udział gruntów ornych [%],

DR_(D) – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os./rok].

Tablica 5.11

Współczynniki modeli o wzorze ogólnym 5.14.

Model nr	Parametr								
	R_{sk}^2	Błąd	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
RFR EU 25	0,49	37%	2943,67	-0,079	0,004	0,172	0,156	-0,104	0,005
RFR EU 26	0,33	43%	1061,58	-0,191	0	0	-0,002	-0,070	0,007

Źródło: Opracowanie własne

W modelach, gdzie parametrem skali jest gęstość pojazdów ogółem DV okazało się, że im większa gęstość pojazdów tym bezpieczniej na drogach danego regionu. Jednocześnie wraz ze zwiększaniem się gęstości demograficznej dróg ogółem *DR_(D)* zwiększa się wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR. Zachodzi podobna zależność jak w przypadku krajów „rozwijających się”. Ujemnie skorelowany jest natomiast wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia *LEI* oraz jednostkowy produkt krajowy brutto *GDPPC*. Stworzone modele potęgowo-wykładnicze miały miarę dobroci $R_{sk}^2=29-45\%$, a błąd średniokwadratowy wielkości około 27-35%.

$$RFR = \alpha \cdot DV^{\beta_1} \cdot \exp(\beta_2 \cdot GDPPC + \beta_3 \cdot DR_{(D)} + \beta_4 \cdot (LEI - 20) + \beta_5 \cdot UGR) \quad (5.15)$$

gdzie:

GDPPC – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

LEI– wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia [lata],

DV - gęstość pojazdów ogółem [poj./km²/rok],

UGR– udział gruntów ornych [%],

DR_(D) – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os./rok].

Tablica 5.12

Współczynniki modeli o wzorze ogólnym 5.15

Model nr	Parametry							
	R_{sk}^2	Błąd	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
RFR EU 27	0,29	27%	10,177	-0,044	-0,007	0,131	0	0,005
RFR EU 28	0,36	35%	8,230	-0,097	0,008	0,158		
RFR EU 29	0,45	34%	1719,24	-0,100	0,012	0,187	-0,095	

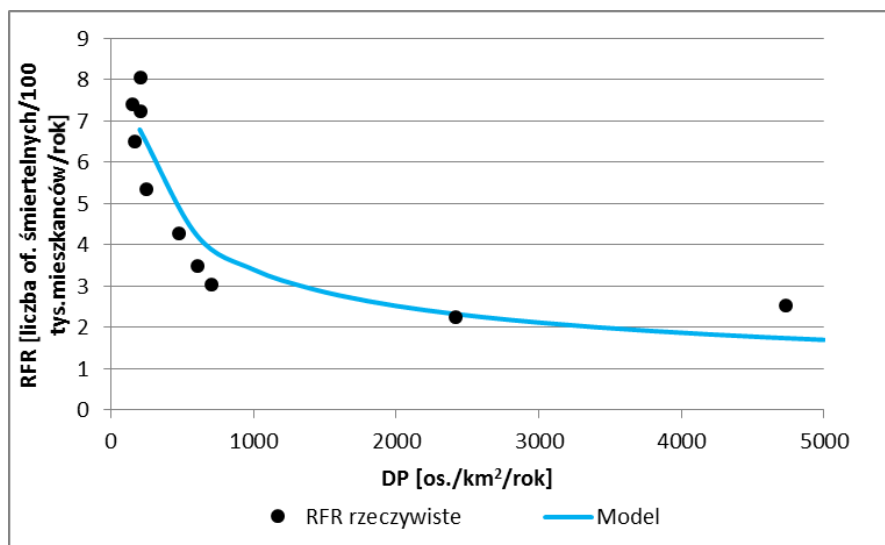
Źródło: Opracowanie własne

Podsumowując można stwierdzić, że podobnie jak w przypadku grupy regionów z krajów „rozwijających się” uzyskane modele wyjaśniają około 40% przypadków, przy jednoczesnym błędzie średniokwadratowym wielkości około 30%. Nie jest to wynik satysfakcjonujący zwłaszcza, że dość subiektywny jest podział na kraje „rozwijające się” i na kraje „rozwinęte”. Zmiany legislacyjne jak i różne tempo rozwoju gospodarczego poszczególnych krajów i regionów może spowodować, że zaobserwowane różnice będą się zacierać pomiędzy regionami z obu zbiorów, lub powinny być stworzone nowe podziały regionów. W każdym

z analizowanych zbiorów jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC inaczej wpływa na wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR. W przypadku krajów „rozwinętych” zauważalna jest GDPPC równe ok.30 tys.ID/osobę/rok, w którym względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR przyjmuje wartość maksymalną. W krajach „rozwijających się” nie zaobserwowano jednoznacznie takiego punktu.

Podział na grupy regionów - zastosowanie analizy skupień. Z uwagi na trudności napotkane podczas modelowania zdecydowano się spróbować wykorzystać analizę skupień do stworzenia jak najlepszych modeli. Na bazie danych regionalnych z 4 krajów: Wlk. Brytanii, Niemiec, Francji i Hiszpanii dla roku 2008 stworzono podbazę składającą się ze 110 regionów [199]. Szczegóły matematyczne utworzonych skupień przedstawiono w rozdziale 4. Natomiast w tym rozdziale przedstawiono opracowany model w wyniku takiego podejścia. W tym konkretnym, wydzielonym zbiorze regionów okazało się, że regiony wykazują większe zróżnicowanie pod względem gęstości zaludnienia niż jednostkowego produktu krajowego brutto. Może to wynikać z podobieństwa tych regionów pod względem poziomu ekonomicznego. Poza regionami reprezentującymi duże metropolie, gdzie zarobki wyraźnie odstają od pozostałych obszarów, ciężko zauważyć wpływ jednostkowego produktu krajowego brutto na poziom bezpieczeństwa w tych regionach. Dlatego w modelu to gęstość zaludnienia DP wpływała mocniej na kształt opracowanej funkcji, a także daje lepsze dopasowanie modelu do zmiennych rzeczywistych, a współczynnik determinacji wynosi $R_{sk}^2=0,87$.

$$RFR_{EU_30} = 73,407 \cdot DP^{-0,43} \cdot \exp(-0,004 \cdot GDPPC) \quad (5.16)$$



Rys. 5.17 Wykres modelowanej funkcji w zależności od gęstości zaludnienia na tle analizowanych skupień.

Źródło: Opracowanie własne

Podczas analizy większego zbioru obszarów, okazało się, że do pewnego stopnia ze wzrostem dochodu zwiększa się również liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w tym regionie. Jednak po osiągnięciu pewnych wartości na danym obszarze, zaczynają być wprowadzane pewne ogólnoustrojowe działania, a następnie wraz ze wzrostem jednostkowego produktu krajowego per capita poziom bezpieczeństwa ruchu na sieci drogowej w regionie poprawia się. Gdy regiony nie różnią się znacząco pod względem jednostkowego produktu



krajowego brutto GDPPC trudno zauważyć tę zależność. Taka sytuacja miała miejsce w przypadku analizowanego zbioru regionów. Zaobserwowano jednak, że wraz ze wzrostem gęstości zaludnienia DP zmniejsza się względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR na drogach. Dlatego gęstość zaludnienia DP w opracowanym modelu ma najsilniejszy wpływ na kształt funkcji, a jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC jest dodatkową zmienną.

Metoda tworzenia modeli wykorzystując analizę skupień wydaje się być obiecująca, jednak ma swoje ograniczenia. Ciężko jest grupować dane pod względem większej liczby charakterystyk. W przypadku analizowanego problemu, poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego na danym obszarze zależy od wielu czynników i ograniczanie ich nie wyjaśni istoty zagadnienia. Ponadto dane są z wielu lat, a analizy skupień nie można wykonać jednocześnie dla wielu lat. Dlatego po wypróbowaniu tego narzędzia, zdecydowano się na jeszcze inne podejście do zagadnienia.

5.3.2.2 Modele o strukturze RFR^C.

Zastosowanie funkcji bazowej. Dotychczasowe próby budowy modelu na całej bazie regionów europejskich nie dawały zadowalających rezultatów. Podjęto próbę stworzenia modeli na podstawie funkcji bazowej opracowanej na bazie danych krajowych z wielu krajów, z uwagi na dostęp danych z dłuższego okresu czasu. Metodyka budowania modeli polegała na zaadaptowaniu modelu opracowanego na danych krajowych przez Jamroza [90] i skorygowania współczynników zmiennych celem dopasowania funkcji do kształtu jaki przyjmują dane regionalne w danej grupie krajów. Wcześniejsze analizy wykazały, że budowa jednego, dobrze objaśniającego zależności modelu dla wszystkich regionów UE, jest niemożliwa. Wobec tego postanowiono sprawdzić zastosowanie funkcji bazowej na dwóch grupach wskazanych w rozdziale 3, każdą oddzielnie, z tym że:

Postać wyjściowa modelu wyglądała następująco (wzór 5.17):

$$RFR = DP^{0,124} \cdot \exp(-0,027 \cdot GDPPC - 8,144 \cdot LEI + 0,016 \cdot DR_{(D)} + 0,002 \cdot MRV + 11,193) \quad (5.17)$$

W pierwszej kolejności skupiono się na krajach „rozwinętych” a wyniki modelowania przedstawiono poniżej. Uzyskane modele miały miarę dobroci $R_{sk}^2=0,26-0,44$, przy błędzie sięgającym 38%.

$$RFR = DP^{0,124} \cdot \exp(-0,027 \cdot GDPPC - (8,144 + \beta_1) \cdot LEI + (0,016 + \beta_2) \cdot DR_{(D)} + (0,002 + \beta_3) \cdot MRV + 11,193 + \beta_4 \cdot PPC + \beta_5 \cdot DR_{(A)} + \beta_6) \quad (5.18)$$

gdzie:

GDPPC – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

LEI– wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia [lata],

DP - gęstość zaludnienia [os./km²/rok],

DR_(D) – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os./rok].

MRV - wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem [poj./os./rok],

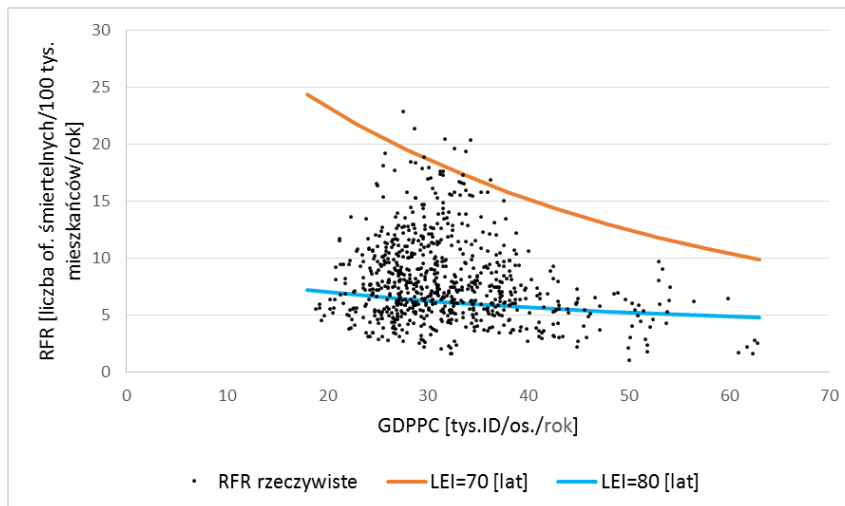
DR_(A) - gęstość dróg ogółem [km/km²/rok],

PPC - udział samochodów osobowych [%].

Wartości współczynników w opracowanych modelach. Kraje „rozwinęte” Europy.

Model nr	Parametry							
	R_{sk}^2	Błąd	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
RFR_EU_31	0,26	37%	0	0	0	0	0	4,303
RFR_EU_32	0,27	38%	-0,291	0	0	0	0	3,854
RFR_EU_33	0,33	35%	0,746	0,216	0	0	0	4,13
RFR_EU_34	0,35	34%	0,874	0,184	0,439	0	0	3,817
RFR_EU_35	0,44	34%	-5,239	0	0,478	-0,06	0	2,555
RFR_EU_36	0,44	34%	-5,058	0	0,441	-0,059	-0,091	0

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.18 Wykres rzeczywistych oraz modelowanych (za pomocą modelu RFR_EU_33) wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w zależności od produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC i spodziewanej długości życia LEI.

Źródło: Opracowanie własne

Przyjęta metodyka budowania modelu na zbiorze europejskich regionów „rozwijających” nie dała zadowalających rezultatów. Nie udało się uzyskać modeli dobrze opisujących istniejące dane .

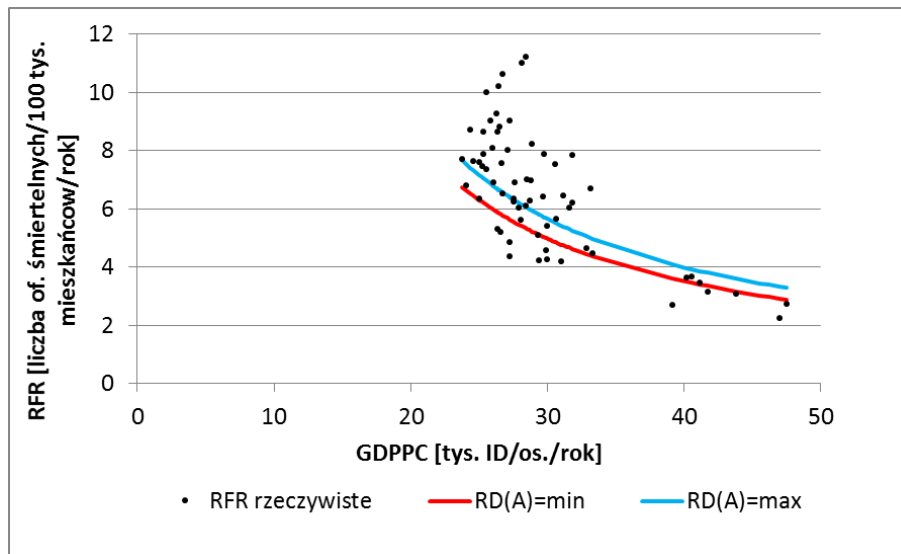
Zastosowanie metody zbiorów rozmytych. Przedstawione powyżej podejście może być dobrym wstępem do tworzenia modeli matematycznych, jednak w zależności od rozkładu zmiennych w danej bazie może takie podejście dać efekty lub nie. W przypadku pierwszej grupy regionów dało to pozytywne rezultaty, w przypadku drugiej grupy niestety już nie.

Na przykładzie danych z regionów Szwecji, sprawdzono metodę zbiorów rozmytych [200]. Tą metodę matematyczną zastosował również Szarata [180–182] w swoich badaniach dotyczących zachowań transportowych. Punktem wyjścia do pracy było stworzenie na bazie wszystkich danych europejskich prostego modelu bazowego. Model ten składał się z dwóch zmiennych niezależnych: jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC oraz gęstości dróg ogółem $DR_{(A)}$ (5.19).

$$RFR_{EU_37} = 937,868 \cdot (\ln GDPPC)^{-4,291} \cdot \exp(0,124 \cdot DR_{(A)}) \quad (5.19)$$

Po zilustrowaniu opracowanego modelu na danych szwedzkich (rys. 5.19) okazało się, że najistotniejszym czynnikiem determinującym poziom brd w tym kraju jest jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC i dlatego bez popełnienia dużego błędu można przyjąć gęstość

dróg $DR_{(A)}$ jako stałą na poziomie średniej ze zbioru. Kolejnym krokiem było stworzenie modeli opisujących maksymalne i minimalne wartości zmiennych zależnych: wzory (5.20) i (5.21).



Rys. 5.19 Wykres opracowanego modelu w zależności od gęstości dróg ogółem na tle danych rzeczywistych w Szwecji.

Źródło: Opracowanie własne

$$RFR_{max} = GDPPC^{1,401} \cdot \exp(-0,089 \cdot GDPPC) \quad (5.20)$$

$$RFR_{min} = 18,458 \cdot \exp(-0,047 \cdot GDPPC) \quad (5.21)$$

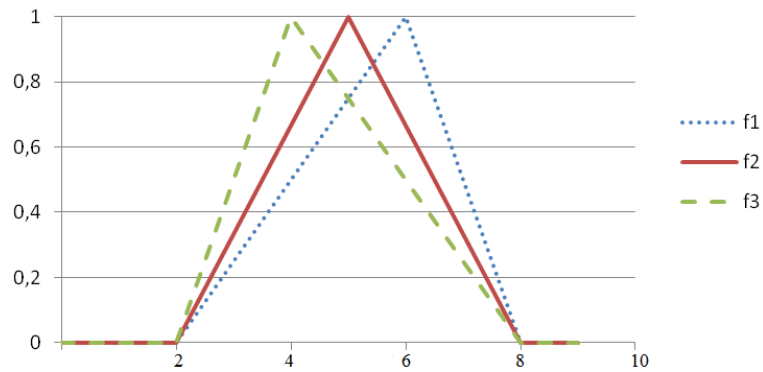
Dokładność oszacowania tego parametru jest uzależniona od prawdopodobieństwa, ponieważ w podejściu rozmytym zbiory określane są poprzez swoją funkcję przynależności. Regresja rozmyta może być w przybliżeniu sklasyfikowana przez warunki zmiennych niezależnych i zależnych w trzech kategoriach [26,215,216]:

- dane wejściowe i wyjściowe nie są danymi rozmytymi,
- dane wejściowe nie są rozmyte, a dane wyjściowe tak,
- dane wejściowe jak i wyjściowe są rozmyte.

W tym przypadku zmienna niezależna jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC jest wartością nierozmytą, a zmienna zależna względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR jest zmienną rozmytą. Rozważono trójkątny model rozmycia. Według definicji trójkątne rozmycie liczby A to liczba rozmyta z częściowo liniowymi funkcjami przynależności f_A zdefiniowanymi jako:

$$f_A = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (x - a)/(b - a), & x \in (a, b] \\ (c - x)/(c - b), & x \in (b, c) \\ 0, & x \geq c \end{cases} \quad (5.22)$$

Posiada trzy parametry: a - minimum, b - średnia, c - maksimum, tworzące trójkąt.

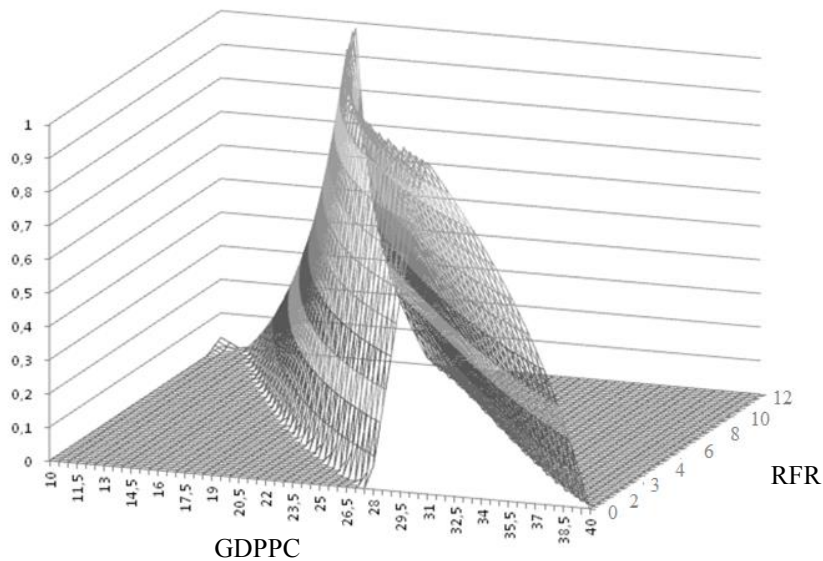


Rys. 5.20 Przykład trójkątnej funkcji przynależności RFR, gdzie a=2, c=8 i b=4,5,6; GDPPC=28-30.

Źródło: Opracowanie własne

Rozmycie funkcji RFR ma kształt trójkątny, a funkcję przynależności każdej wartości GDPPC pokazano we wzorze (5.23). Na rysunku 5.21 zaprezentowano wizualizację tejże funkcji.

$$f_{RFR}(GDPPC) = \begin{cases} 0 & GDPPC \leq RFR_{MIN} \\ \frac{GDPPC - RFR_{MIN}}{RFR - RFR_{MIN}} & RFR_{MIN} < GDPPC \leq RFR \\ \frac{RFR_{MAX} - GDPPC}{RFR_{MAX} - RFR} & RFR < GDPPC \leq RFR_{MAX} \\ 0 & RFR_{MAX} < GDPPC \end{cases} \quad (5.23)$$



Rys. 5.21 Model regresji rozmytej z trójkątną funkcją przynależności $f_{RFR}(GDPPC)$.

Źródło: Opracowanie własne

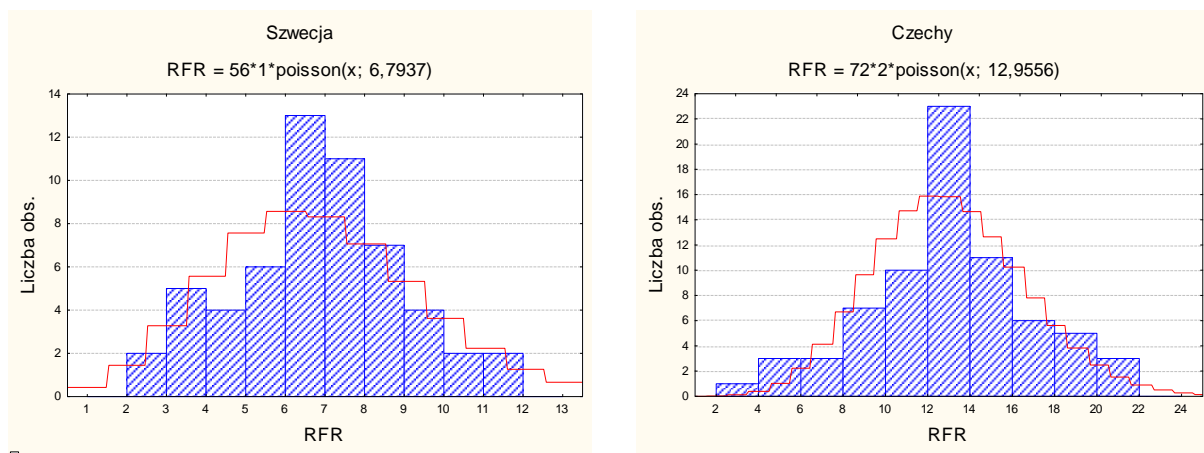
Zastosowanie modeli rozmytych jest dobrym sposobem na uchwycenie zmian modelowanego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR, w uzależnieniu od zmienności parametru skali. W tym wypadku był to jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC. Z drugiej strony pozostałe zmienne we wzorze są potraktowane, jako wartości stałe a w takim podejściu nie jest możliwe zbadanie jak ewentualna zmiana innego czynnika niż GDPPC może zmienić poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w danym regionie. Jest to istotne ograniczenie zwłaszcza, gdy intencją jest stworzenie modeli wieloczynnikowych.

5.3.2.3 Modele o strukturze RFR^D.

Kolejnym podejściem w poszukiwaniu modelu dobrze opisującego poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w regionach, była próba stworzenia modelu hierarchicznego, uwzględniającego charakterystykę danego kraju oraz poszczególnych regionów. Estymacja polegała na założeniu, że rozkład względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR jest rozkładem Poissona. Generalną postać modelu przedstawiono poniżej (5.24). Opracowane tą metodą modele zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach [203,204].

$$RFR = \alpha \cdot MODEL_{KRAJ}^{\beta_1} \cdot MODEL_{REGIONY}^{\beta_2} \cdot GDPPC_{KRAJ}^{\beta_3} \quad (5.24)$$

Zastosowano ją również do stworzenia szczegółowych modeli dla Szwecji, będącej wzorem dla krajów europejskich pod względem działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz Czech, w których średni wskaźnik ofiar śmiertelnych jest dwukrotnie większy, prawdopodobnie z uwagi na różnice kulturowe, polityczne i ekonomiczne. Jak wynika z analizy histogramów względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR, w regionach porównywanych krajów na przestrzeni analizowanych lat 1999-2008, przedstawionych na rys.5.22, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o rozkładzie Poissona, często przyjmowanym w analizach poziomu bezpieczeństwa [218].

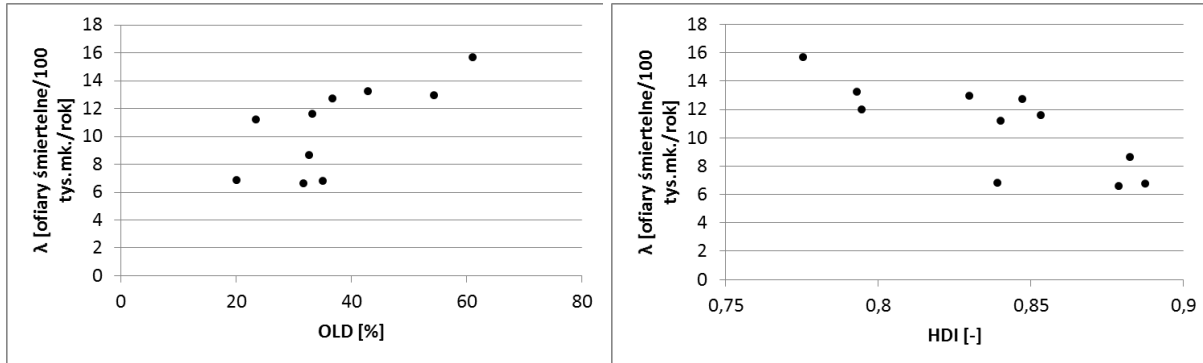


Rys. 5.22 Histogramy analizowanych wskaźników RFR w regionach Szwecji i Czech.

Źródło: Opracowanie własne

Biorąc pod uwagę przyjęte założenia, oszacowano z prawdopodobieństwem 95% parametr λ , dla zbioru danych z porównywanych krajów. Następnie stworzono zbiór zmiennych niezależnych, dostępnych jedynie na poziomie agregacji kraju, charakteryzujących kraj,

służących do stworzenia modeli opisowych dla oszacowanych parametrów λ MODEL_{KRAJ}. W pierwszym podejściu [203] analizowano wpływ takich czynników jak: wskaźnik rozwoju społecznego HDI, udział procentowy w całkowitej flocie kraju samochodów osobowych starszych niż 10 letnich OLD oraz poziom inflacji INFL, liczone jako średnie z 10 lat.

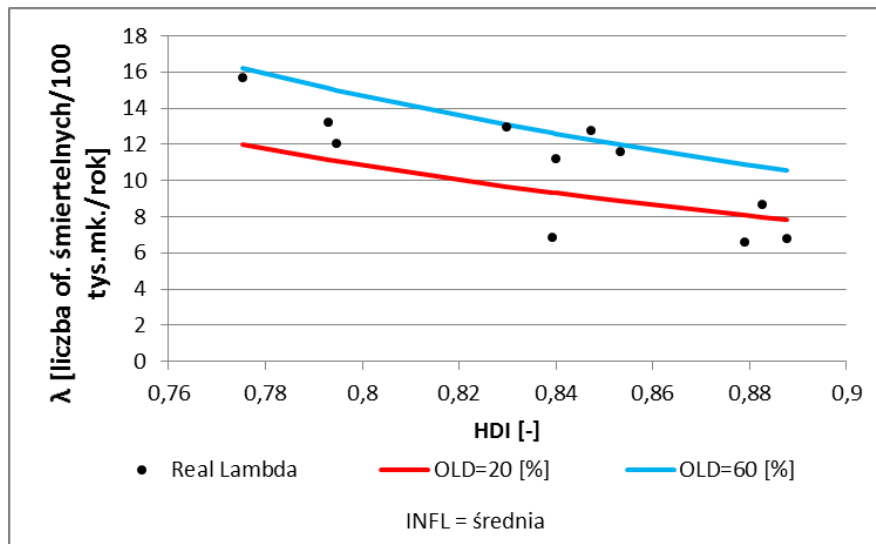


Rys. 5.23 Wykres zależności λ od wartości HDI w danym kraju oraz udziału samochodów osobowych starszych niż 10 letnich

Źródło: Opracowanie własne

Jak wynika z rysunku 5.23 wskaźniki te mogą mieć wpływ na badany parametr. Zauważa się tendencję zmniejszania się parametru λ , wraz ze wzrostem wskaźnika rozwoju społecznego oraz odwrotną zależność w przypadku udziału starych samochodów osobowych. Opracowany model (5.25) ma postać modelu potęgowo wykładniczego, a jego miara dobroci wynosi $R^2=70\%$.

$$\lambda = 4,438 \cdot HDI^{-3,167} \cdot \exp(0,007 \cdot OLD + 0,009 \cdot INFL) \quad (5.25)$$



Rys. 5.24 Ilustracja modelu potęgowo-wykładniczego uwzględniającego wskaźnik rozwoju społecznego HDI, odsetek pojazdów starszych niż 10-cio letnich w całej flocie pojazdów OLD i poziom inflacji INFL.

Źródło: Opracowanie własne

Kolejnym krokiem było stworzenie modeli opisujących wpływ charakterystyk regionalnych w poszczególnych krajach, na wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w tych regionach. W tym celu dla każdego kraju wydzielono bazę z danymi regionalnymi, która umożliwiła opracowanie modeli wpływu poszczególnych zmiennych na modelowaną zmienną zależną. W przypadku obu krajów sprawdzano jeden rodzaj modelu, który wstępnie opracowano na łącznej bazie wszystkich regionów europejskich. Ogólną postać tego modelu przedstawiono poniżej (5.26), natomiast w tabelicy 5.14 zestawiono obliczone współczynniki w modelu w zależności od kraju. Analiza skupień pozwoliła na określenie klas współzależnych zmiennych. W poszczególnych modelach uwzględniano wpływ poszczególnych klas poprzez wybieranie ich reprezentantów.

$$MODEL_{REGIONY} = \alpha \cdot \ln(GDPPC)^\beta \cdot \exp(\gamma_1 \cdot \ln(DP) + \gamma_2 \cdot \ln(DV) + \gamma_3 \cdot DR_{(D)} + \gamma_4 \cdot EDU_{(S)} + \gamma_5 \cdot PME) \quad (5.26)$$

gdzie:

GDPPC – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

DV- gęstość pojazdów ogółem [poj./km²/rok],

DR_(D) – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os./rok].

DP - gęstość zaludnienia [os./km²/rok],

EDU_(S)- udział licealistów i studentów [%],

PME - udział procentowy autostrad [%].

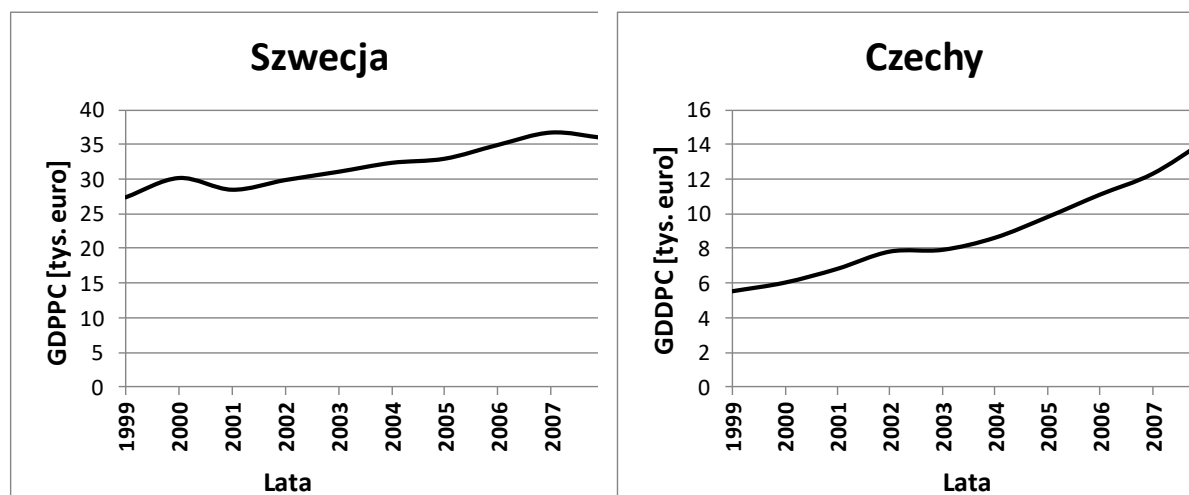
Tablica 5.14

Zestawienie parametrów i miar oceny modeli regionalnych dla wybranych krajów wg modelu 5.26.

Model	Parametry							
	R _{sk} ²	α	β	γ ₁	γ ₂	γ ₃	γ ₄	γ ₅
Czechy 1	0,81	35,529	-2,259		0,174	1,056		
Czechy 2	0,83	59,816	-2,048		0,166	0,878	-0,030	
Czechy 3	0,85	307,415	-2,751			0,688	-0,038	0,051
Szwecja 1	0,65	482,858	-3,229	-0,116				
Szwecja 2	0,71	937,868	-4,291			0,142		

Źródło: Opracowanie własne

Globalne modele krajowe oraz lokalne modele regionalne to modele, w których większość zmiennych niezależnych charakteryzuje się niewielką zmiennością w czasie. Jedyną zmienną dynamicznie zmieniającą się w czasie i jednocześnie występującą w prawie wszystkich modelach jest jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC. Analiza zmian w czasie GDPPC wykazała, że analizowane kraje charakteryzują się dwoma typami trendu. Pierwszy z nich to trend liniowy, charakteryzujący głównie kraje „Starej Unii”, gdzie sytuacja ekonomiczna jest ustabilizowana i poziom życia w nich rośnie. Drugi natomiast jest trendem nieliniowym, wynikającym prawdopodobnie z dynamicznych zmian zachodzących w tych krajach po wejściu do Unii Europejskiej, rys. 5.25.



Rys. 5.25 Wykres zależności zmian (GDPPC) w Szwecji i Czechach w analizowanych latach.
Źródło: Opracowanie własne

Modele stworzone dla tych dwóch przykładowych krajów miały postać (5.27) dla Szwecji i (5.28) dla Czech:

$$GDPPC_{KRAJ(Szwecja)} = -1992,11 + 1,01 \cdot ROK \quad (5.27)$$

$$GDPPC_{KRAJ(Czechy)} = 4,341 \cdot e^{(0,105 \cdot (ROK - 1997))} \quad (5.28)$$

Po opracowaniu modeli cząstkowych stworzono model złożony ze wszystkich modeli cząstkowych i ostatecznie ma on postać:

$$RFR_{EU_38} = 10,171 \cdot MODEL_{KRAJ}^{0,240} \cdot MODEL_{REGIONY}^{0,088} \cdot GDPPC_{KRAJ}^{-0,28} \quad (5.29)$$

Jest to multiplikatywny model, którego składowe mają miary dobroci od 0,7 do 0,99. Model wynikowy ma miarę dobroci równą 0,41. Jest to wynikiem wykorzystywania jako dane wejściowe wartości średniorocznych, w celu eliminacji chwilowych wahań, które mogłyby przesłonić charakter oddziaływania poszczególnych wpływów. Niestety taka wartość miary dobroci nie jest wielkością zadowalającą w przypadku chęci wykorzystania tych modeli w celach prognostycznych.

W związku z tym postanowiono w podobny sposób poszukiwać kolejnych modeli, biorąc pod uwagę inne czynniki. Szczegółowe wyniki drugiego podejścia przedstawiono w drugim z recenzowanych artykułów [204]. Tym razem przeanalizowano Wlk. Brytanię i Polskę. W tym podejściu zamiast wskaźnika rozwoju społecznego HDI i poziomu inflacji INFL wzięto do modelu dane o poziomie korupcji COR w danym kraju. Opracowany model na danych regionalnych dla tych krajów okazał się mieć nieco inną postać (5.30). Jak widać w przypadku tych dwóch krajów więcej zmiennych niezależnych zostało wykorzystanych do opisu zmiennej zależnej:

$$MODEL_{REGIONY} = \alpha \cdot (\ln(GDPPC))^{\beta} \cdot GDPPC^{\gamma_1} \cdot DP^{\gamma_2} \cdot DV^{\gamma_3} \cdot \exp(\gamma_4 \cdot PPC + \gamma_5 \cdot DR_{(A)} + \gamma_6 \cdot RUN) \quad (5.30)$$

gdzie:

$GDPPC$ – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

DV - gęstość pojazdów ogółem [poj./km²/rok],

PPC – udział samochodów osobowych [%],

DP - gęstość zaludnienia [os./km²/rok],

$DR_{(A)}$ - gęstość dróg ogółem [km/km²/rok],

RUN - wskaźnik bezrobocia [%].

Tablica 5.15

Zestawienie parametrów i miar oceny modeli regionalnych dla wybranych krajów, model 5.30.

Model	Parametry								
	R_{sk}^2	α	β	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_6
Wlk.Brytania	0,71	0,012	32,318	-9,501	-0,413	0,266		0,364	-0,039
Polska	0,54	154,361	-0,179		0,123	-0,149	-0,031	0,358	

Źródło: Opracowanie własne

Podobnie jak w przypadku pierwszego podejścia stworzono modele trendu zmian GDPPC w obu analizowanych krajach i miały one postać (5.31) dla Wlk.Brytanii i (5.32) dla Polski:

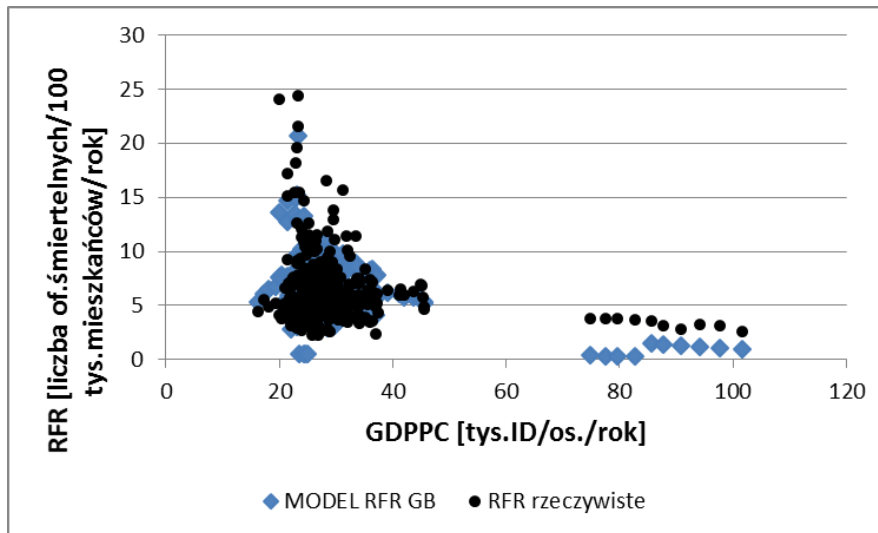
$$GDPPC_{KRAJ(Wlk.Brytania)} = -1934,07 + 0,98 \cdot ROK \quad (5.31)$$

$$GDPPC_{KRAJ(Polska)} = 3,462 \cdot e^{(0,084 \cdot (ROK-1997))} \quad (5.32)$$

Opracowano multiplikatywny model, którego składowe mają miary dobroci od 0,54 do 0,89. Model końcowy ma miarę dobroci równą 0,76. Taki poziom dopasowania można uznać za bardzo dobry. Postać tego modelu przedstawiono poniżej:

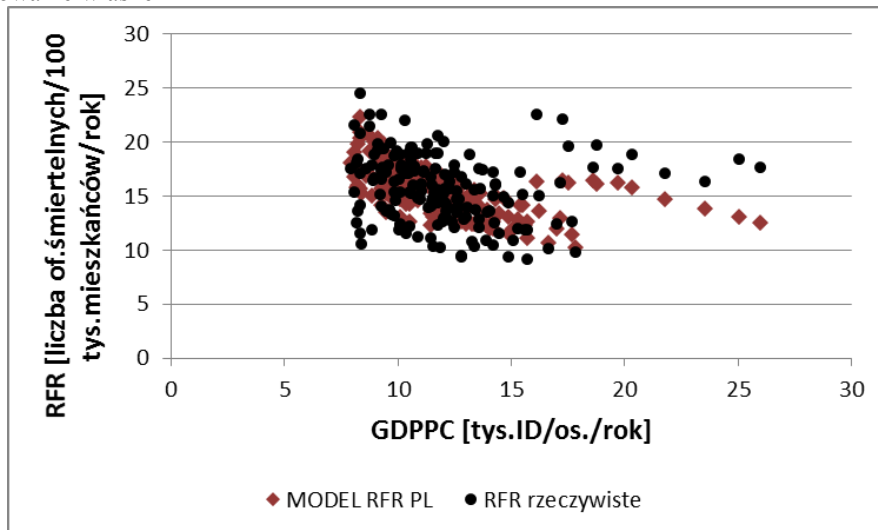
$$RFR_{EU_39} = 5,353 \cdot MODEL_{KRAJ}^{-0,285} \cdot MODEL_{REGIONY}^{0,818} \cdot GDPPC_{KRAJ}^{-0,212} \quad (5.33)$$

Na rysunku 5.26 i 5.27 przedstawiono jak opracowany model jest dopasowany do danych rzeczywistych.



Rys. 5.26 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC w danym regionie dla regionów Wlk. Brytanii

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.27 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC w danym regionie dla regionów Polski.

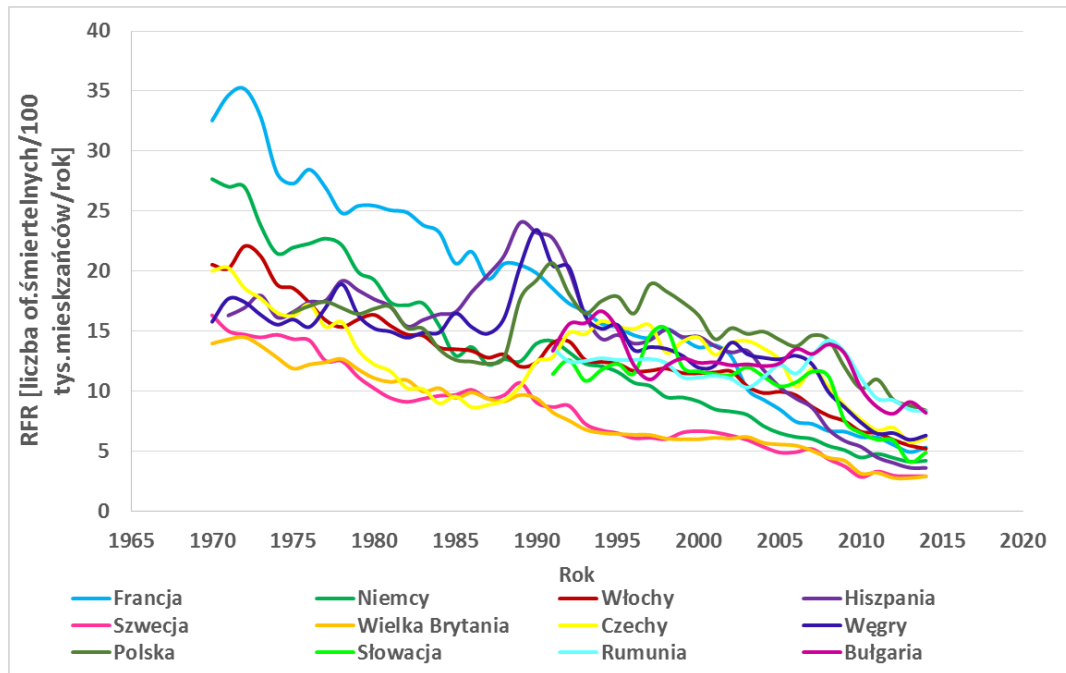
Źródło: Opracowanie własne

Zaprezentowane podejście daje obiecujące wyniki. Widać na tych dwóch przykładach, że uzyskany model zbiorczy może mieć wysoką miarę dobroci. Ponieważ na model zbiorczy składają się poszczególne modele cząstkowe, bardzo duże znaczenie ma osiągnięcie wysokiego poziomu dobroci dla poszczególnych modeli cząstkowych.

Należy zwrócić uwagę, że model zbiorczy bazował w obu przypadkach jedynie na danych z dwóch krajów. W przypadku próby stworzenia modelu dla całej bazy europejskiej, bardzo prawdopodobny mógłby okazać się problem rozproszenia danych regionalnych, który został wskazany wcześniej (rozdział 3).

Kolejną próbą było zastosowanie modelu hierarchicznego dla wszystkich regionów EU. Podobnie, jak w przypadku modeli dla stanów AP, podjęto próbę stworzenia modeli

hierarchicznych bazujących na danych dla wszystkich krajów EU objętych niniejszą analizą i danych regionalnych. W tym podejściu jednak spróbowano stworzyć modele dla wszystkich zebranych regionów. W przypadku zbioru regionów EU problem polegał na tym, że w jego skład wchodzi wiele krajów, a w każdym z nich zmiana poziomu ryzyka na drogach w czasie, wyrażona jako średni względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR następuję z inną dynamiką. Przedstawiono to na rysunku 5.28.



Rys. 5.28 Wykres zmian średniego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w analizowanych krajach EU w latach 1970-2015.

Źródło: Opracowanie własne

Wobec dużego zróżnicowania krajów między sobą, w tym przypadku zdecydowano się na zbudowanie modelu mającego postać ogólną:

$$RFR = RFR_{SR} \cdot CF_R \quad (5.34)$$

gdzie:

RFR_{SR} – średnia wartość względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR, w grupie analizowanych krajów EU, w poszczególnych latach.

$CF_R = f(GDPPC, DR_{(D)}, LEI, MRV, DV)$

W wyniku czego uzyskano funkcję:

$$RFR = RFR_{SR} \cdot ((\exp(\alpha_1 \cdot GDPPC + \alpha_2 \cdot DR_{(D)} + \alpha_3 \cdot DV + \alpha_4 \cdot MRV + \alpha_5 \cdot LEI)) \cdot GDPPC^{\beta_1}) \quad (5.35)$$

gdzie:

$GDPPC$ – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

LEI – wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia [lata],

DV – gęstość pojazdów ogółem [poj./km²/rok],

$DR_{(D)}$ – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os./rok],

MRV – wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem [poj./os./rok].

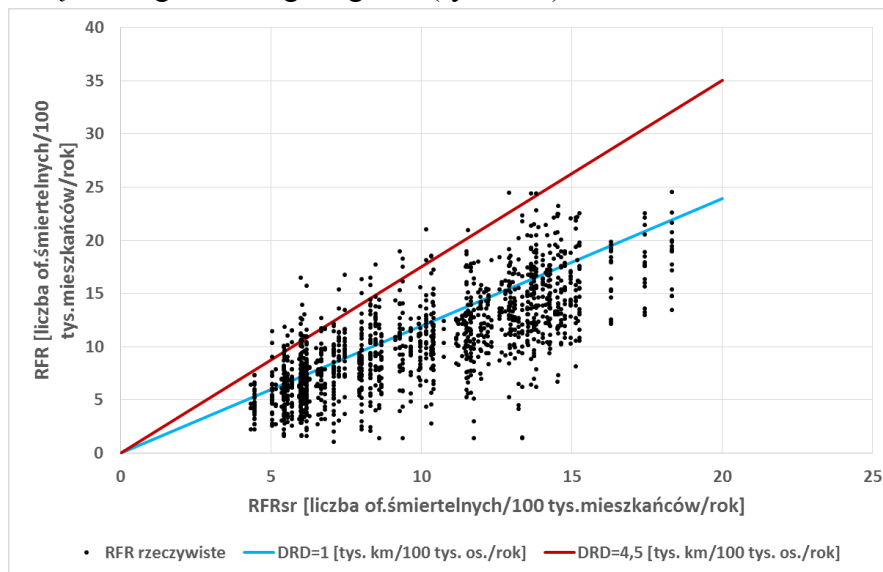
Tablica 5.16

Współczynniki i miary oceny modeli o wzorze ogólnym 5.35

Model nr	Parametry							
	R ²	Błąd	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	β_1
RFR_EU_40	0,62	27%	0,002	0,109	0	0	0	-0,035
RFR_EU_41	0,61	27%	-0,003	0,093	0	0,142	0	0
RFR_EU_42	0,62	26%	0	0,102	0	0,249	-0,002	0
RFR_EU_43	0,67	25%	0	0,097	-0,001	0	0	0

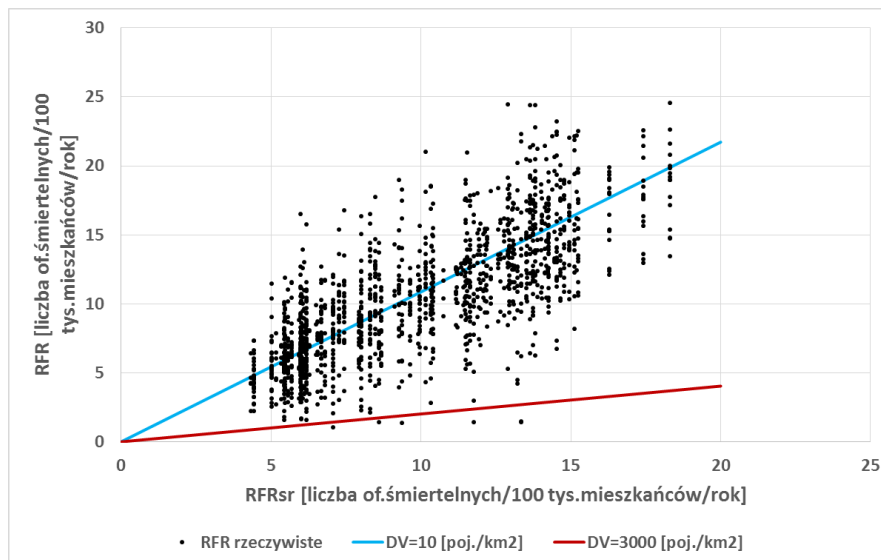
Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 5.29 przedstawiono modelowaną wartość względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR, w zależności od średniego rocznego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w danym kraju RFR_{SR} . Oczywiste jest, że wraz ze wzrostem średniej wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w danym kraju, rośnie również względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w poszczególnych regionach. Jednak, jeżeli gęstość demograficzna dróg ogółem $DR_{(D)}$ jest mniejsza, to wskaźnik RFR również jest mniejszy. W przypadku gęstości pojazdów ogółem zauważono, że wraz ze wzrostem tej zmiennej zmniejsza się ryzyko bycia ofiarą śmiertelną na drogach danego regionu (rys. 5.30).



Rys. 5.29 Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_EU_40, w zależności od średniego rocznego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w danym kraju RFR_{SR} i gęstości demograficznej dróg ogółem $DR_{(D)}$.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.30 Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_EU_43 w zależności od średniego rocznego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w danym kraju RFR_{SR} i gęstości pojazdów ogółem DV

Źródło: Opracowanie własne

Przedstawione podejście wydaje się być dobre. Jednocześnie po raz kolejny potwierdzając hipotezy postawione podczas tworzenia modeli ryzyka dla stanów AP. Jednak w przypadku chęci wykorzystania niniejszych modeli do prognozowania należy zadbać o to by składowa część modelu RFR_{SR} była dobrze zaprognozowana. W przypadku modeli hierarchicznych miara dobroci multiplikuje się i końcowa miara dobroci całego modelu może być niższa niż podana w tabelicy 5.16.

5.3.3 Dyskusja wyników

Przedstawione powyżej wyniki modelowania pokazują, że stworzenie wiarygodnego modelu matematycznego dla wszystkich regionów EU jest bardzo trudne. Najlepsze efekty daje połączenie w modelach danych krajowych i regionalnych oraz stworzenie modelu hierarchicznego. Przeprowadzone analizy potwierdziły, że jednostkowy produkt krajowy brutto GDPCC i gęstość zaludnienia DP są najsilniejszymi estymatorami modelowanego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR co jest potwierdzeniem wniosków z przestudiowanej literatury [31,114,127,205]. Także, jeśli chodzi o regiony EU udało się potwierdzić tezę, że lepsza opieka medyczna i wyższy standard życia zmniejsza ryzyko bycia ofiarą śmiertelną na drogach [30,34]. W przypadku danych z regionów EU te cechy kryją się pod zmienną spodziewanej długości życia LEI, ponieważ innych bardziej szczegółowych danych nie udało się uzyskać. Biorąc pod uwagę dane o regionach EU brakuje dostępu do danych o długości drogi przebytej pojazdami w przeliczeniu na jednego mieszkańca VKTPC, dlatego badano liczbę pojazdów w przeliczeniu na mieszkańca MRV lub na powierzchnię regionu DV. Jednak wnioski z analiz wpływu tych zmiennych nie były jednoznaczne. Natomiast zwiększenie gęstości dróg $DR_{(D)}$ okazała się mieć negatywny wpływ na brd, jak również zwiększona liczba obszarów rolnych UGR.

5.3.4 Podsumowanie i wnioski

Podczas prac nad modelami dla regionów EU okazało się, jakie jest to trudne zagadnienie badawcze. Po pierwsze z uwagi na duże rozproszenie i zróżnicowanie regionów, po drugie z uwagi na relatywnie małą liczbę charakterystyk opisujących poszczególne regiony. Modele stworzone jedynie na danych regionalnych nie wyjaśniały w pełni zjawiska. Dopiero zastosowanie modelu hierarchicznego pozwoliło uzyskać satysfakcjonujący rezultat. Heurystyczny podział regionów na dwie grupy wydawał się mieć uzasadnienie we wstępnych analizach, jednak prawdopodobnie z uwagi na zbyt małą ilość dostępnych zmiennych niezależnych modele uzyskane tą metoda nie wyjaśniały dużej części modelowanej zmiennej. Próba zastosowania bardziej zaawansowanych instrumentów badawczych takich jak analiza skupień, zbiory rozmyte czy funkcja bazowa okazały się mieć ograniczenia uniemożliwiające stworzenie modeli w pełni wyjaśniających badane zjawisko. Wobec powyższego w dalszej części pracy poświęconej modelowaniu względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w województwach PL zdecydowano o stworzeniu modeli regresyjnych od podstaw, a nie wykorzystaniu modelu opracowanego na regionach EU jako modelu bazowego. Model bazowy powinien mieć bardzo wysoką miarę dobroci, a tego nie udało się uzyskać.

5.4 Województwa

5.4.1 Cel i zakres badań

Głównym celem tej części badań było opracowanie podstaw do stworzenia narzędzi zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego w województwach, a w szczególności metod prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych przy założonych scenariuszach działań usprawniających. Wykorzystując doświadczenia uzyskane podczas budowy modeli strategicznego ryzyka społecznego w stanach AP i regionach UE przeprowadzono badania możliwości budowy takich modeli na bazie dostępnych danych w poszczególnych województwach. W przypadku województw w Polsce dane zebrane w bazie regiony EU (EUROSTAT [226]), uzupełniono o dane z Głównego Urzędu Statystycznego [67] oraz wyniki badań pilotażowych wybranych zachowań użytkowników dróg, prowadzonych w latach 2002 – 2007 na drogach krajowych [57]. Dzięki temu możliwe było stworzenie modeli wieloczynnikowych, szczegółowo charakteryzujących województwa. Modele ryzyka opracowano dla danych z lat 1999-2008, a dzięki uzupełnieniu zbioru danych o kolejne lata 2009-2014 mogły zostać skalibrowane i lepiej dopasowane do zaobserwowanych zmian poziomu brd w kolejnych latach. W przypadku województw PL, podobnie jak w przypadku pozostałych regionów EU, nie ma możliwości uzyskania danych o ilości kilometrów przejechanych przez pojazdy w danym województwie. Jedynie dla dróg krajowych dane te są dostępne. Wykorzystano ten fakt w pracy i stworzono modele liczby ofiar śmiertelnych na drogach krajowych, w poszczególnych województwach.

5.4.2 Konstruowanie modeli

W przypadku województw PL zastosowano trzy struktury modelu opisanego w pkt. 4.2. Modele struktury F^B , RFR^B oraz RFR^D . W pierwszej kolejności w modelach uwzględniano

zmienne zidentyfikowane na podstawie analiz przedstawionych w rozdz. 4 (tabl. 4.5), a następnie w miarę potrzeb poszerzano modele o kolejne zmienne.

5.4.2.1 Modele o strukturze F^B .

Z zastosowaniem danych z badań pilotażowych. Pierwsze próby modelowania miar bezpieczeństwa ruchu drogowego dla obszarów województw, autorka pracy przeprowadziła już w roku 2010. Do modelu wykorzystano dane z lat 2000-2004, zbierane w ramach projektu badawczego („Ogólnokrajowe Studium Pomiarów Prędkości Pojazdów i Wykorzystania Pasów Bezpieczeństwa” - w ramach działania 2.3 Sektorowego Programu Operacyjnego Transport (SPO TRANSPORT [57]) – Wdrażanie i Monitoring Środków Poprawy Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego). W ramach tego projektu prowadzono badania, między innymi stopnia stosowania pasów bezpieczeństwa przez użytkowników pojazdów oraz przekraczanie dopuszczalnej prędkości przez kierowców. Dzięki temu możliwe było przeanalizowanie wpływu tych zmiennych na miary bezpieczeństwa ruchu drogowego na obszarze województw. Dodatkowo skompletowano dane o średnim spożyciu alkoholu przez mieszkańców poszczególnych województw. Empirycznie stwierdzono, że woj. łódzkie z uwagi na położenie i sieć dróg krajowych jest województwem z większym udziałem ruchu tranzytowego w stosunku do pozostałych. Województwu łódzkiemu przypisano wartość $TR=2$, a pozostałym $TR=1$. Wyniki modelowania przedstawiono w recenzowanym artykule [201]. Opracowany model miał postać funkcji potęgowo-wykładniczej (5.36), gdzie parametrem skali była wielkość populacji danego województwa P .

$$F = P^{1,085} \cdot \exp(0,013 \cdot S4 - 0,007 \cdot USB + 0,035 \cdot ACPC + 0,253 \cdot TR + 4,337) \quad (5.36)$$

gdzie:

P – liczba mieszkańców w województwie [mln.os.],

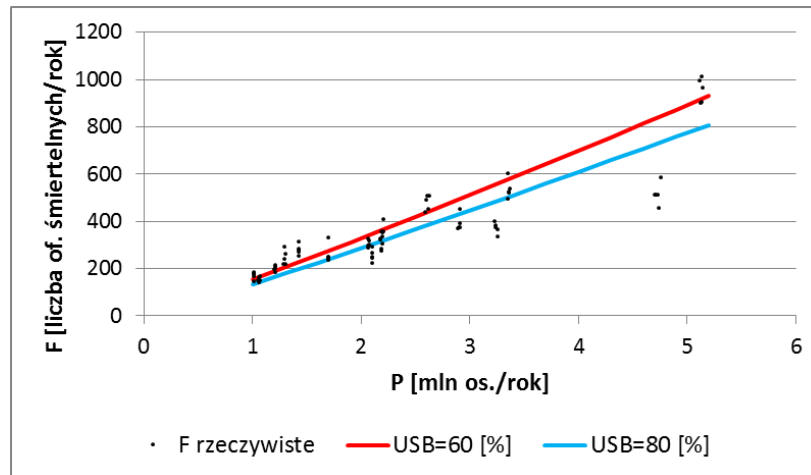
$S4$ – udział kierowców przekraczających dozwoloną prędkość na wszystkich drogach [%],

USB – stopień stosowania pasów bezpieczeństwa [%],

$ACPC$ – wskaźnik konsumpcji alkoholu [l/os./rok],

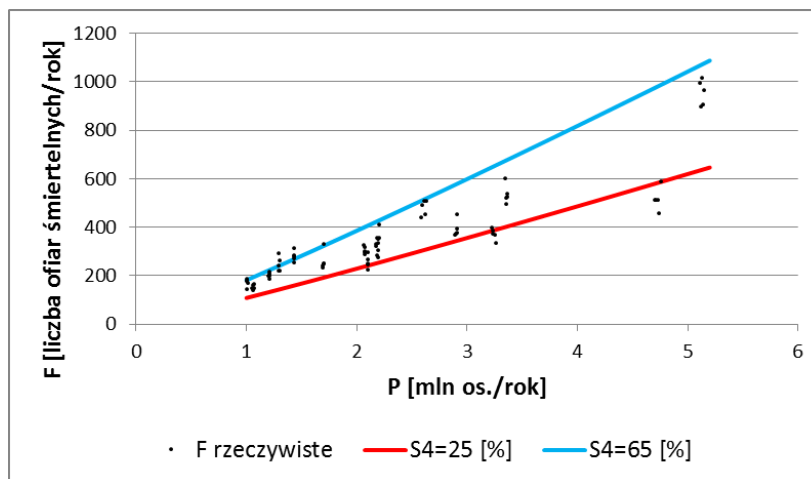
TR – dane o tranzyście [1 lub 2].

Na rysunku 5.31 i 5.32 zobrazowano opracowany model na tle danych rzeczywistych w zależności od udziału uczestników zapinających pasy bezpieczeństwa USB oraz udziału przekraczających dozwoloną prędkość $S4$. Jak widać im mniejszy udział osób zapinających pasy bezpieczeństwa oraz przekraczających dopuszczalne limity prędkości, tym więcej jest ofiar śmiertelnych na drogach.



Rys. 5.31 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od populacji danego województwa P oraz udziału osób zapinających pasy USB.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.32 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od populacji danego województwa P oraz udziału kierowców przekraczających dopuszczalną prędkość S4.

Źródło: Opracowanie własne

Modele te niestety nie mogły być zweryfikowane na danych z lat kolejnych, ponieważ badania udziału osób zapinających pasy bezpieczeństwa oraz udziału pojazdów przekraczających prędkość dopuszczalną zostały zaprzestane. Jednak opracowany model pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

- 1) Konieczne jest monitorowanie zachowania użytkowników dróg w celu sprawdzenia tendencji zachowań oraz wprowadzenie ewentualnych działań korygujących nieprawidłowe zachowania użytkowników i podejmowania racjonalnych działań na tej podstawie.
- 2) Nieprawidłowe zachowania użytkowników dróg mają duży wpływ na liczbę ofiar śmiertelnych. Konieczne jest prowadzenie stałego monitoringu takich zachowań. Do tych badań należałoby również włączyć badania zachowań niechronionych użytkowników dróg np. odbłaski, udział osób pod wpływem alkoholu, jazda w kaskach na rowerze itd. ze względu na duży udział tej grupy w ofiarach śmiertelnych na drogach.

Choćby używanie elementów odblaskowych po zmroku, czy kasków przez rowerzystów.

- 3) Bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na śmiertelność w wypadkach drogowych jest udział kierowców przekraczających dopuszczalną prędkość. W przypadku województw, gdzie aż 65 % kierowców przekracza limity prędkości, liczba ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych jest prawie dwukrotnie większa, niż w województwach gdzie udział kierowców przekraczających limity prędkości wynosi ok. 25 %.
- 4) Empirycznie wprowadzona zmienna kodująca zwiększony ruch tranzytowy okazała się istotna co oznacza, że wielkość i rodzaj ruchu w danym regionie ma znaczenie. Niestety pomiar generalny prowadzony co 5 lat, nie dostarcza szczegółowych informacji o udziale ruchu tranzytowego w całej pracy przewozowej na drogach krajowych i wojewódzkich. Nie ma szeroko dostępnych danych o wielkości ruchu na drogach powiatowych i gminnych, które mają największy udział w długości sieci drogowej danego województwa.

Dla sieci dróg krajowych w poszczególnych województwach. Natężenie ruchu jest miarą narażenia użytkowników na wypadek drogowy, który w konsekwencji może być śmiertelny. Jak ważny jest to czynnik pokazano podczas budowy modeli dla danych amerykańskich. Niestety dla danych europejskich takie dane nie były dostępne. Wobec czego modele z oczywistych względów nie zawierały tej zmiennej. Jednak, aby sprawdzić, czy w przypadku polskich województw dane o ruchu powinny być zbierane. Podjęto próbę stworzenia takich modeli dla zagregowanej długości sieci dróg krajowych w danym województwie. Pomiar generalny, prowadzony co 5 lat, pozwala na oszacowanie pracy przewozowej na drogach zarządzanych przez GDDKiA. W okresach pomiędzy pomiarem wykonano interpolację liniową sumy pracy przewozowej na drogach krajowych na obszarze województwa

W celu opracowania modeli liczby ofiar śmiertelnych na drogach krajowych F_n zebrano następujące dane: pracę przewozową na drogach krajowych VKTPD, udział procentowy autostrad i dróg ekspresowych w sieci dróg krajowych PHER, powierzchnię województwa A, wydatki budżetów województw REP, udział gruntów zabudowanych i zurbanizowanych PUA.

$$F_n = 35,853 \cdot VKTPD^{1,113} \cdot \exp(-0,044 \cdot PHER + 0,014 \cdot A - 0,076 \cdot VKTPD - 0,274 \cdot REP + 0,059 \cdot PUA) \quad (5.37)$$

gdzie:

VKTPD - praca przewozową na drogach krajowych [mld pojkm/rok]

PHER - udział procentowy autostrad i dróg ekspresowych w sieci dróg krajowych [%].

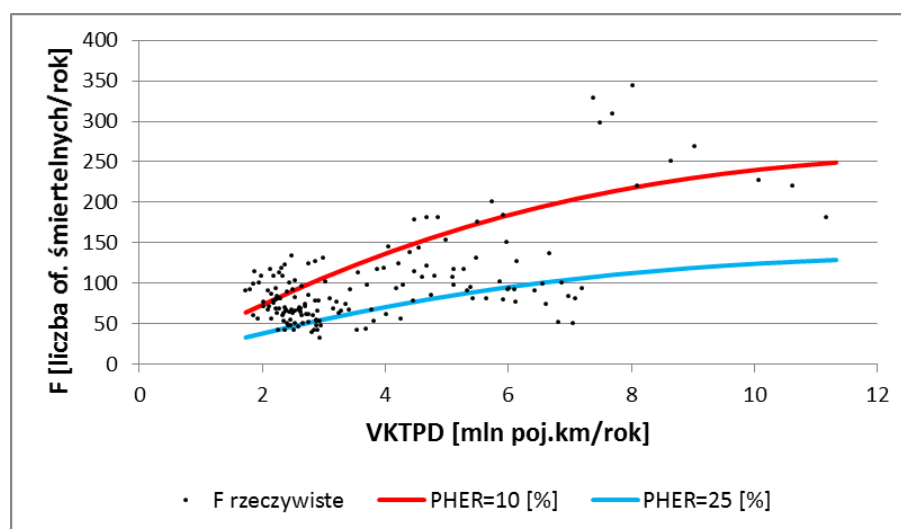
A - powierzchnia województwa [tys. km²]

REP - wydatki budżetów województw [mln zł]

PUA - udział gruntów zabudowanych i zurbanizowanych [%].

Jak widać na rysunku 5.33 wraz ze wzrostem pracy przewozowej na sieci dróg, wzrasta ryzyko bycia ofiarą śmiertelną na drogach krajowych. Jednocześnie następuje spadek miary RFR wraz ze wzrostem udziału dróg ruchu szybkiego. Można zatem wyciągnąć wniosek, że budowa nowych dróg o wysokich standardach brd, które przejmą duży udział ruchu

tranzytowego, spowoduje znaczną poprawę poziomu brd w całym regionie. Do podobnych wniosków doszedł Kustra [124], który również wskazywał na znacznie niższe wartości miar brd na dwujezdniowych drogach ekspresowych oraz autostradach.



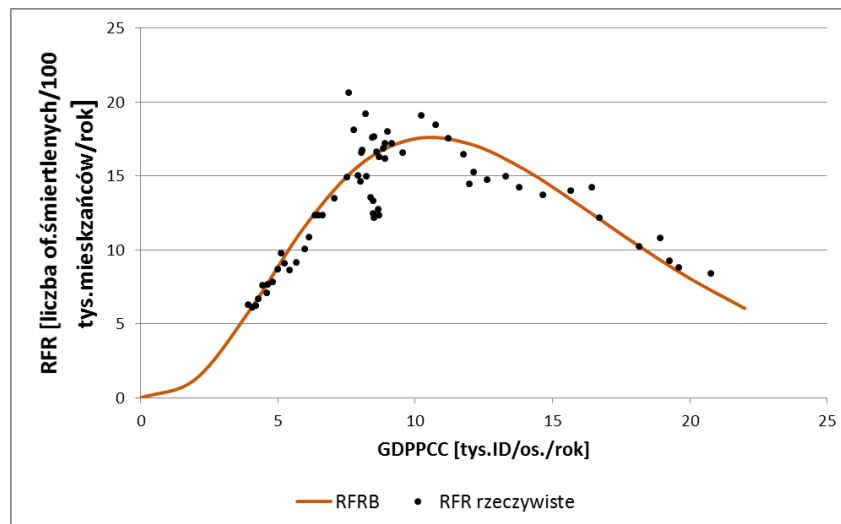
Rys. 5.33 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od pracy przewozowej na drogach krajowych VKTPD oraz udziału procentowego autostrad i dróg ekspresowych w sieci dróg krajowych PHER.

Źródło: Opracowanie własne

5.4.2.2 Modele o strukturze RFR^D.

Podobnie jak w przypadku stanów AP spróbowano stworzyć model względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w Polsce, bazując na danych historycznych dużo starszych niż zebrane na potrzeby niniejszej dysertacji. Okazało się, że w przypadku polskich danych, również można było znaleźć taki średni krajowy jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPCC, po osiągnięciu którego względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR zaczął maleć. W przypadku Polski było to przy wartości GDPPC równej około 10 tys.ID/mk./rok. Opracowany model średniego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w Polsce, w zależności od średniego krajowego jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPCC i przedstawiono poniżej (5.38). Na rysunku 5.34 przedstawiono, jak ten model ten opisuje dane krajowe. Przy konstrukcji modelu pominięto dane z okresu reglamentacji paliwa i wystąpień społecznych, które powodowały zaburzenia w przebiegu funkcji. Zaobserwowano, że trend obliczony za pomocą modelu i wartości rzeczywiste są zbieżne, jednak konieczne jest wzbogacenie tego modelu o zmienne charakteryzujące dany region. Zaobserwowano, że trend obliczony za pomocą modelu i wartości rzeczywiste są zbieżne, jednak konieczne jest wzbogacenie tego modelu o zmienne charakteryzujące dany region.

$$RFR_B = 0,272 \cdot (GDPPCC)^{3,071} \cdot \exp(-0,290 \cdot GDPPCC) \quad (5.38)$$



Rys. 5.34 Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu bazowego RFR_B od średniego jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPCC.

Źródło: Opracowanie własne

Dlatego w kolejnym kroku przyjętego podejścia zdecydowano o stworzeniu modelu hierarchicznego. Ogólna postać modelu jest analogiczna jak w przypadku danych o stanach AP (5.7). Również tworzono model współczynnika korygującego CFR. Jego ostateczną postać przedstawiono poniżej.

$$RFR_{PL_01} = (0,272 \cdot (GDPPCC)^{3,071} \cdot \exp(-0,290 \cdot GDPPCC)) \cdot (\exp(\alpha_1 \cdot WGDPPC + \alpha_2 \cdot DR_{(D)} + \alpha_3 \cdot MRV + \alpha_4 \cdot LEI + \alpha_5 \cdot DP + \alpha_6 \cdot PME)) \quad (5.39)$$

$$WGDPPC = \frac{GDPPC}{GDPPCC}$$

Tablica 5.17

Współczynniki i miary oceny modeli o wzorze ogólnym 5.39

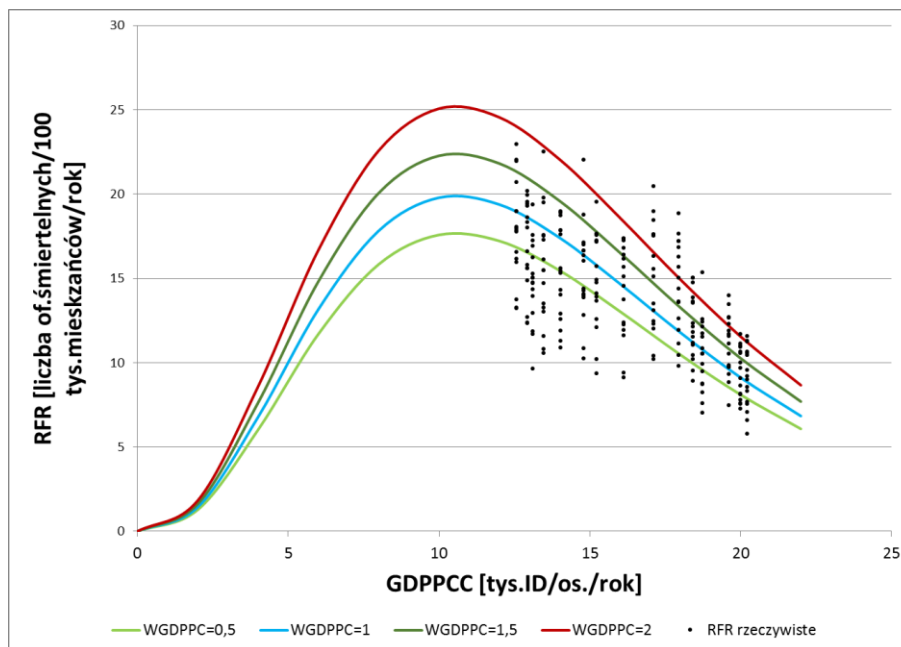
Model nr	Parametry							
	R ²	Błąd	α ₁	α ₂	α ₃	α ₄	α ₅	α ₆
RFR_PL_01	0,69	14%	0,236	0,317	0,714	-0,008	-0,001	-0,188

Źródło: Opracowanie własne

Podobnie jak w przypadku stanów AP, hierarchiczny model dwuelementowy składa się z części opisującej zmianę poziomu zagrożenia ofiarami śmiertelnymi w kraju oraz elementu regionalnego, opisującego zmiany w regionach w stosunku do średniej krajowej. Pierwszy element wskazuje, że w analizowanym okresie nastąpił prawie dwukrotny przyrost jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPCC w Polsce, czyli istotny rozwój społeczno-ekonomiczny kraju, co spowodowało także znaczne zmniejszenie poziomu zagrożenia wypadkami z ofiarami śmiertelnymi (rys. 5.35). Wszystkie dane rzeczywiste znajdują się już na „opadającej” części funkcji zależności RFR = f(GDPPCC). Najbardziej istotnymi czynnikami wpływającymi na odchylenie poziomu zagrożenia w województwach od średniej

krajowej, w tym przypadku są: wskaźnik odchylenia jednostkowego produktu krajowego brutto w regionie w stosunku do średniej krajowej WGDPPC, gęstość zaludnienia DP, średnia długość życia człowieka LEI, wskaźnik motoryzacji MRV, gęstość sieci drogowej $DR_{(D)}$, udział autostrad i dróg ekspresowych PME.

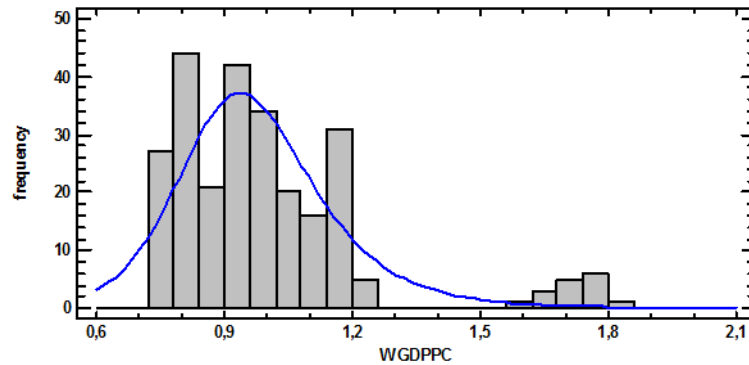
Na rys. 5.35 przedstawiono rozkłady rzeczywistych wartości i wykresy zmian względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w zależności od średniego jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPCC i względnego produktu krajowego brutto w województwach WGDPPC opisanych modelem RFR_PL_01. Wyniki przedstawione na wykresie wskazują ponadto, że istotny wpływ na poziom RFR ma także względna różnica produktu krajowego brutto, w poszczególnych stanach GDPPCC w stosunku do produktu krajowego brutto GDPPCC. Zależność ta dla analizowanego zakresu danych jest krzywoliniowa, w kształcie funkcji wykładniczej, tzn. że wraz ze wzrostem WGDPPC wzrasta także RFR. Inaczej niż w przypadku danych dla stanów AP, gdzie zależność ta była w kształcie litery U, a optimum znajdowało się przy wartości 1.



Rys. 5.35 Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_PL_01 w zależności od średniego jednostkowego produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPCC i względnego wskaźnika produktu krajowego brutto WGDPPC.

Źródło: Opracowanie własne

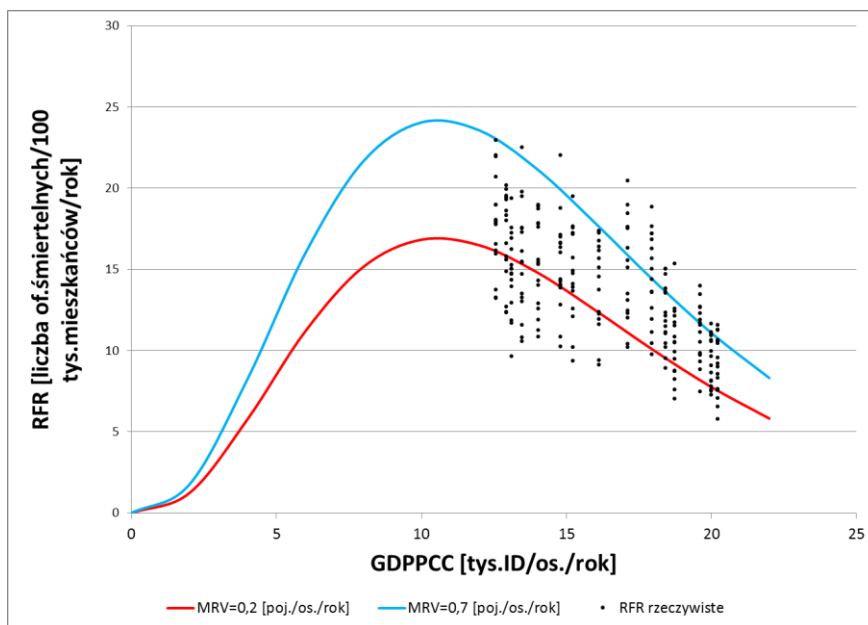
Na rysunku 5.36 przedstawiono rozkład gęstości prawdopodobieństwa względnego wskaźnika jednostkowego produktu krajowego brutto WGDPPC w analizowanej bazie województw PL. Rozkład analizowanego wskaźnika wskazuje na dwie grupy województw: województwo mazowieckie zawyżające średnią krajową (prawa strona wykresu) i pozostałe województwa, dla których wskaźnik ten oscylował wokół wartości 0,9.



Rys. 5.36 Rozkład gęstości prawdopodobieństwa względnego wskaźnika jednostkowego produktu krajowego brutto WGDPPC w analizowanym zbiorze danych województw PL.

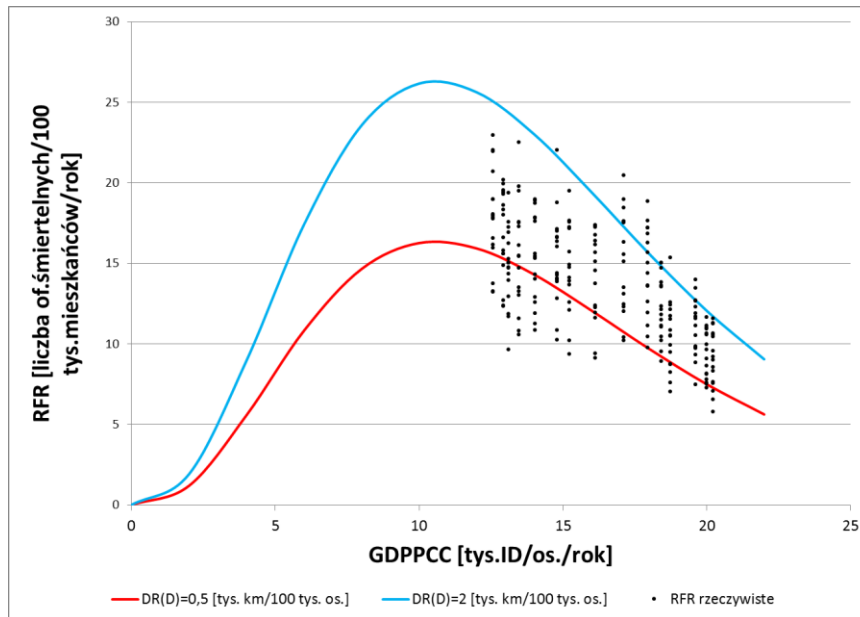
Źródło: Opracowanie własne

Na rysunkach 5.37 i 5.38 przedstawiono wpływ wybranych dwóch dodatkowych zmiennych charakteryzujących dane województwo: wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem (MRV) oraz gęstości demograficznej dróg ogółem $DR_{(D)}$ na modelowaną wartość względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w zależności od średniego jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPCC. W tych przypadkach przyjęto $WGDPPC=1$. Wraz ze zwiększaniem się wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem zmniejsza się względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR. W przypadku gęstości demograficznej dróg ogółem $DR_{(D)}$, gdy gęstość ta wzrasta pogarsza się stan bezpieczeństwa ruchu drogowego w danym województwie.



Rys. 5.37 Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_PL_01 w zależności od średniego produktu krajowego brutto GDPPCC oraz wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.38 Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_PL_01 w zależności od średniego produktu krajowego brutto GDPPCC oraz gęstości demograficznej dróg ogółem $DR_{(D)}$.

Źródło: Opracowanie własne

Podobnie jak w przypadku hierarchicznych modeli opracowanych dla stanów AP czy regionów EU należy podkreślić, że takie podejście do modelowania jest obiecujące, gdyż opracowane modele mają wysokie miary dobroci i stosunkowo mały błąd średniokwadratowy. Jednak pamiętać należy, że w przypadku chęci zastosowania takich modeli do prognozowania, w przypadku opracowanego modelu polskiego na końcową poprawność prognozy wpływać będzie prawidłowe założenie o zmianach wszystkich czynników uwzględnianych w modelu. Wskaźnik średniego jednostkowego produktu krajowego brutto WGDPPCC jest zmienną, którą najtrudniej jest przewidzieć jak i czy w ogóle będzie się zmieniała w czasie. Dlatego takie podejście, które potwierdza postawioną wcześniej hipotezę jest obiecujące, ale wymaga szerszego przeanalizowania w przyszłych pracach naukowych.

5.4.2.3 Modele o strukturze RFR^B.

Metodyka tworzenia modeli dla polskich województw polegała na wykorzystaniu danych z lat 1999-2008, wyborze modeli najlepiej aproksymujących dane rzeczywiste i ich weryfikacji przy pomocy danych z lat 2009-2014. Na podstawie wniosków z analiz i modelowania danych amerykańskich oraz europejskich, do dalszych prac wybrano modele regresyjne. Celem uniknięcia występowania w jednym modelu zmiennych niezależnych nadmiernie skorelowanych ze sobą, w procesie budowy modelu wykorzystywano tylko jedną z nich.

Podczas prac nad modelami okazało się, że województwo mazowieckie bardzo odstaje od pozostałych województw. Podczas gdy wraz ze wzrostem jednostkowego produktu krajowego w pozostałych województwach poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego maleje, w województwie mazowieckim spadek ten nie jest tak jednoznaczny. Dodatkowo poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w tym regionie jest znacząco wyższy od pozostałych województw. Województwo mazowieckie jest specyficznym województwem na tle pozostałych regionów Polski, co wykazały analizy wstępne wykonane w rozdziale 3. Jest to

województwo o wyraźnie większym produkcie krajowym brutto GDP oraz liczbie pojazdów V. Można domniemać, że bardzo duży odsetek ludzi mieszka tam w miastach, ale jednocześnie wykonuje dużo podróży w ciągu dnia. Z uwagi na ceny mieszkań i zagospodarowanie przestrzenne w ścisłym centrum Warszawy znajdują się biura i inne zakłady pracy, a na obrzeżach miasta powstały „sypialnie”. Jest to typowy układ dla dużych metropolii. Bardzo dużo podróży odbywa się jednak transportem indywidualnym. Zarejestrowana liczba ludności nie oddaje prawdziwego obrazu rzeczywistości. Dużo ludzi wynajmuje mieszkania w stolicy będąc oficjalnie mieszkańcem innego województwa. Powyższa charakterystyka nie jest możliwa do uwzględnienia w zmiennej ilościowej z uwagi na brak wiarygodnych danych. Wobec tego zdecydowano się heurystycznie wprowadzić zmienną jakościową S, która dla województwa mazowieckiego przyjmuje wartość 10, a dla pozostałych województw wartość 1. Taki zabieg okazał się bardzo dobrym pomysłem, gdyż dzięki temu można było uwzględnić wszystkie dane z bazy do budowy modelu i stworzyć model uniwersalny dla wszystkich województw.

Grupa modeli GM-1. W pierwszej grupie modeli parametrem skali był jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC. Ogólny wzór modelu (5.40) oraz obliczone parametry poszczególnych modeli przedstawiono w tabelicy 5.18. Miara dobroci opracowanych modeli mieści się w przedziale od 0,22 do 0,56, a błędy średniokwadratowe od 12% do 17%.

$$RFR = \alpha \cdot S^{\beta_1} \cdot GDPPC^{\beta_2} \cdot \exp(\gamma_1 \cdot DV + \gamma_2 \cdot LEI + \gamma_3 \cdot DR_{(D)} + \gamma_4 \cdot DR_{(A)} + \gamma_5 \cdot PUP + \gamma_6 \cdot PME + \gamma_7 \cdot DME_{(A)}) \quad (5.40)$$

gdzie:

GDPPC – jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca [tys.ID/os./rok],

S – zmienna określająca województwo [stołeczne=10, pozostałe =1],

LEI – wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia [lata],

DV – gęstość pojazdów ogółem [poj./km²/rok],

DR_(D) – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os./rok],

DR_(A) – gęstość dróg ogółem [km/km²/rok],

PUP – udział ludności mieszkającej w miastach [%],

PME – udział procentowy autostrad [%],

DME_(A) – gęstość autostrad [km/km²/rok].

Tabela 5.18

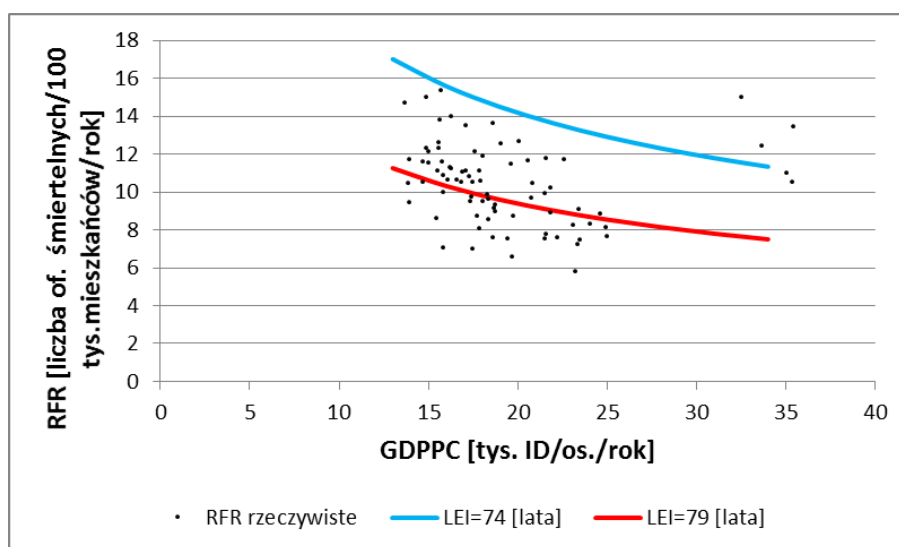
Współczynniki i miary oceny modeli grupy GM-1.

Model nr	Parametr											
	R ²	Błąd	α	β ₁	β ₂	γ ₁	γ ₂	γ ₃	γ ₄	γ ₅	γ ₆	γ ₇
RFR_PL_02	0,22	17%	46,016	0,18	-0,422	0	0	0	0	0	0	0
RFR_PL_03	0,56	12%	14447,86	0,23	-0,422	0	-0,08	0,37	0	0	0	0
RFR_PL_04	0,49	13%	24,074	0,23	-0,422	-1,024	0	0,334	0	0,513	0	0
RFR_PL_05	0,49	13%	22,936	0,20	-0,422	0	0	0,388	0	0,413	0	0
RFR_PL_06	0,41	14%	73930,94	0,19	-0,422	0	-0,1		0	0	-0,18	0
RFR_PL_07	0,42	14%	4510,2	0,24	-0,422	0	-0,06	0	-0,11	0	0	-11,2

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie wyników obliczeń stwierdzono duży wpływ wskaźnika spodziewanej długości życia LEI na wielkość modelowanego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR. Wskaźnik LEI to wskaźnik, w którym kryją się między innymi takie charakterystyki jak

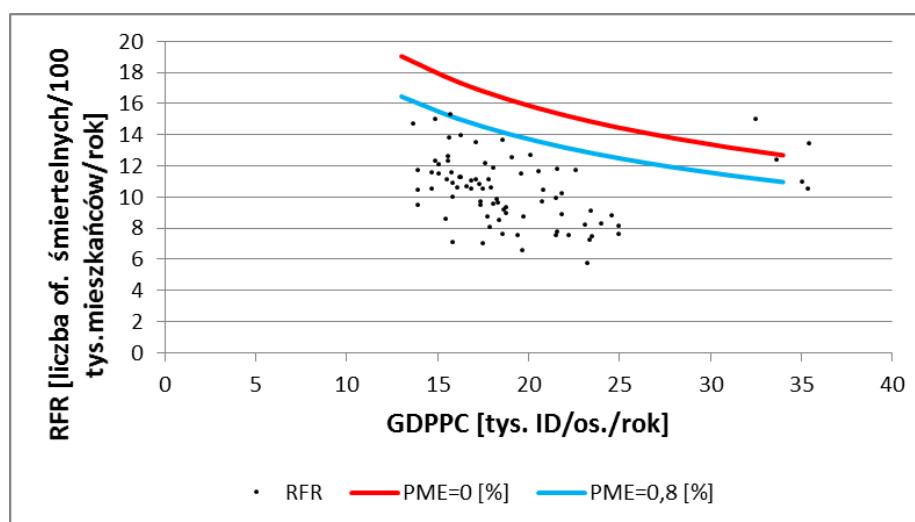
ochrona zdrowia, kultura życia i dbałość o nie. Jak widać na rysunku 5.39 nie jest to jedyny czynnik determinujący poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego, gdyż nie obejmuje w swoich granicach wszystkich danych, jednak jest bardzo znaczący.



Rys. 5.39 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC oraz wskaźnika spodziewanej długości życia LEI. Model RFR_PL_03.

Źródło: Opracowanie własne

Mimo wciąż ciągle małego odsetka autostrad w całkowitej sieci drogowej danego województwa PME, udało się wykazać, iż wraz ze zwiększaniem się tego odsetka, zwiększa się bezpieczeństwo ruchu drogowego w danym województwie (rys. 5.40).



Rys. 5.40 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC oraz udziału procentowego autostrad w całej sieci dróg w województwie PME. Model RFR_PL_06.

Źródło: Opracowanie własne

Grupa modeli GM-2. Drugim parametrem skali wytypowanym do modelowania był wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem MRV. Ogólny wzór modelu (5.41) oraz obliczone parametry

poszczególnych modeli przedstawiono w tablicy 5.19. Miara dobroci opracowanych modeli mieści się w przedziale od 0,40 do 0,58, a błąd średniokwadratowy od 12% do 14%.

$$RFR = \alpha \cdot S^{\beta_1} \cdot MRV^{\beta_2} \cdot \exp(\gamma_1 \cdot LEI + \gamma_2 \cdot DR_{(D)} + \gamma_3 \cdot DR_{(A)} + \gamma_4 \cdot PUP + \gamma_5 \cdot DME_{(A)} + \gamma_6 \cdot DME_{(D)}) \quad (5.41)$$

gdzie:

MRV – wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem [poj./os./rok],

S – zmienna określająca województwo [stołeczne=10, pozostałe =1],

LEI – wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia [lata],

$DR_{(D)}$ – gęstość demograficzna dróg ogółem [tys.km/100 tys.os./rok],

$DR_{(A)}$ – gęstość dróg ogółem [km/km²/rok],

PUP - udział ludności mieszkającej w miastach [%],

$DME_{(D)}$ - gęstość demograficzna autostrad i dróg ekspresowych [tys. km/100 tys. os./rok],

$DME_{(A)}$ - gęstość autostrad i dróg ekspresowych [km/km²/rok].

Tablica 5.19

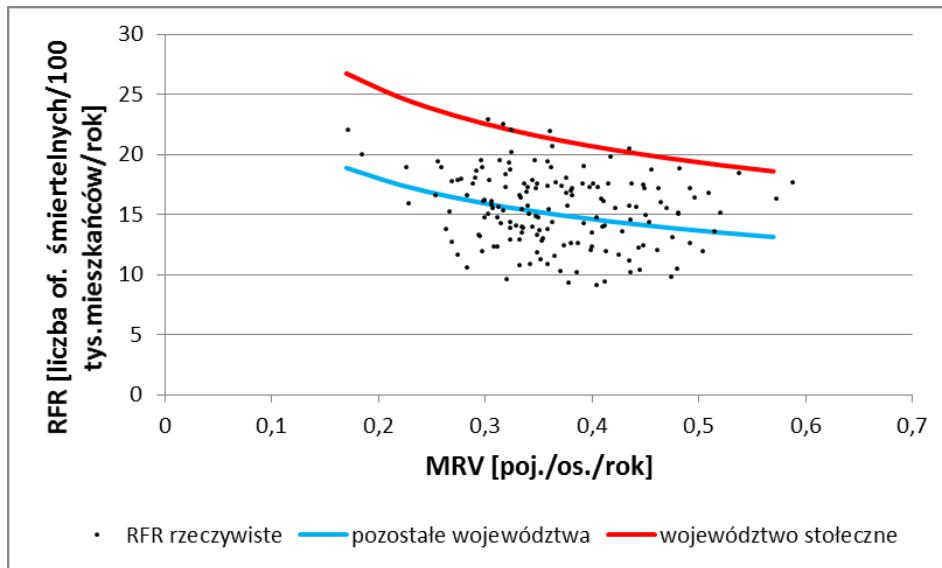
Współczynniki i miary oceny modeli grupy GM-2.

Model nr	Parametr										
	R ²	Błąd	α	β_1	β_2	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_6
RFR_PL_08	0,57	13%	821,865	0,15	-0,3	-0,064	0,452	0	0	0	0
RFR_PL_09	0,40	14%	25909,8	0,22	-0,3	-0,10	0	-0,20	0	-19,53	0
RFR_PL_10	0,57	12%	867,71	0,15	-0,3	-0,065	0,454	0	0	0	-1,369
RFR_PL_11	0,58	12%	4752,4	0,16	-0,3	-0,085	0,425	0	-0,346	0	0

Źródło: Opracowanie własne

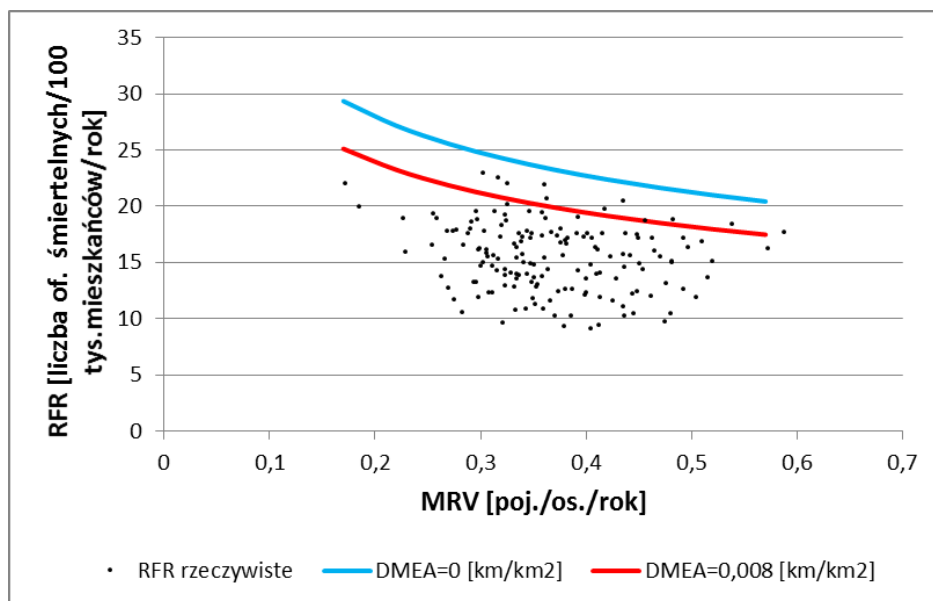
Na rysunku 5.41 przedstawiono jak to, czy dane województwo jest stołeczne, wpływa na bezpieczeństwo ruchu drogowego w tym regionie. Widać, że jest to czynnik znaczący. Poziom bezpieczeństwa w województwie stołecznym, jest niższy niż w pozostałych województwach.

Na rysunku 5.42 przedstawiono jak gęstość autostrad $DME_{(A)}$ w województwach wpływa na poziom bezpieczeństwa na całej sieci dróg w danym województwie. Jak widać już niewielkie zmiany w sieci dróg o najwyższym standardzie bezpieczeństwa, powodują polepszenie stanu bezpieczeństwa na danym obszarze.



Rys. 5.41 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV oraz tego czy województwo jest stołeczne, czy nie S. Model RFR_PL_08.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.42 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV oraz gęstości autostrad $DME_{(A)}$. Model RFR_PL_08.

Źródło: Opracowanie własne

5.4.3 Dyskusja wyników

Modele o strukturze F^B , pozwoliły na weryfikację wniosków z przestudiowanej literatury o wpływie zapinania pasów bezpieczeństwa USB oraz spożywaniu alkoholu ACPC. Podobnie jak w literaturze, większy odsetek zapinających pasy skutkuje w Polsce redukcją liczby ofiar śmiertelnych [137]. Większe spożycie alkoholu oraz większy odsetek kierowców przekraczających dozwoloną prędkość, to więcej ofiar śmiertelnych na drogach

[18,74,132,207]. Modele opracowane dla sieci dróg krajowych pozwoliły potwierdzić tezę, że dane o pracy przewozowej są bardzo istotną charakterystyką pozwalającą zbudować wiarygodne modele i powinny być dostępne dla wszystkich kategorii dróg. Podobnie jak w przypadku stanów AP i regionów EU, województwa PL również są na linii trendu malejącego, jeżeli chodzi o liczbę ofiar śmiertelnych, co udowodniono budując model hierarchiczny. Jednak różne działania na rzecz poprawy brd poszczególnych województw, powodują, że zmiany te przebiegają z różną dynamiką. Modele o strukturze RFR^B pozwoliły wskazać, że oprócz znaczącego wpływu jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC [9,10,114], ważny jest również poziom rozwoju zakodowany w stworzonych danych, między innymi jako spodziewana długość życia LEI [47,114]. Pozytywny wpływ ma również budowa jak największej sieci dróg ekspresowych i autostrad oraz finansowanie inwestycji na drogach wojewódzkich, wydatki budżetów województw. Są to nowe czynniki, które nie były dotychczas uwzględniane w przestudiowanej literaturze. W województwach PL wraz ze wzrostem wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV, zmniejsza się względny wskaźnik ofiar śmiertelnych. Interesujące jest to, że w zależności od tego czy parametrem skali był jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC, czy wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV, udział ludności mieszkającej w miastach PUP zwiększał w pierwszym przypadku a w drugim zmniejszał modelowany wskaźnik RFR. Ten ostatni wniosek z modeli może budzić wątpliwości i wymaga głębszej analizy oraz zbadania tego zagadnienia. Być może jest to zmienna skorelowana z innymi zmiennymi w modelu i może prowadzić do wymienionego wniosku. Być może kierowcy mieszkający w miastach wykazują niebezpieczne zachowania, albo wykonują dużo podróży pomiędzy miejscowościami. Jest to zagadnienie wymagające głębszej analizy.

Przedstawione w niniejszym podrozdziale modele były konstruowane w różny sposób i bazowały na danych o różnym zakresie. Utworzony model hierarchiczny pokazał, że aby wyciągać daleko idące wnioski na przyszłość, należy dążyć do stworzenia modelu bazującego na danych, o jak największym zakresie czasowym. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest przeanalizowanie problemu z dalszej perspektywy i zaobserwowanie tym samym generalnego trendu zmian. Z uwagi między innymi na zmiany administracyjne, nie można było w Polsce przeanalizować danych wojewódzkich z kilkudziesięciu lat wstecz, w celu zaobserwowania generalnych zmian w czasie. Dlatego też posłużono się dostępnymi danymi krajowymi. Model hierarchiczny wydaje się być bardzo dobrym pomysłem, ale wymaga jeszcze dopracowania pod względem uszczegółowienia pod względem danych wojewódzkich. Nie udało się tego już zrobić w niniejszej dysertacji i dlatego będzie to rozwijane w kolejnych pracach. Modele o strukturze RFR^B utworzone na końcu tego rozdziału są ujęciem tego „szerszego” zagadnienia zaobserwowanego na rys. 5.34 w mniejszej skali. Dzięki uwzględnieniu większej liczby charakterystyk, możliwe było lepsze scharakteryzowanie poszczególnych województw i uchwycenie różnic pomiędzy nimi, dzięki czemu nie otrzymujemy jedynie generalnego trendu zmian jak w przypadku prostego modelu hierarchicznego, a szczegółowy obraz zróżnicowania. Ponadto dzięki tworzeniu modeli w dwóch etapach: na bazie danych z lata 1999-2008 i następnie uaktualnionej do 2014 roku można było sprawdzić, czy modele tego rodzaju mają charakter ponadczasowy czy wymagają kalibracji. Proces kalibracji przeprowadzono w rozdziale 5.5. Modele o strukturze F^B mają duży walor poznawczy, ale w przypadku modeli z danych z badań pilotażowych, ich zasięg czasowy jest ograniczony i nie można obecnie ich

zweryfikować i skalibrować. Jak zaobserwowano powyżej modele powinny być weryfikowane po czasie na danych aktualnych, by mogły służyć prognozom w sposób wiarygodny. W przypadku danych z dróg krajowych, modele nie wyjaśniają zjawiska poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego na całej sieci dróg i wymagają poszerzenia o pozostałe kategorie dróg. Wymaga to jednak dodatkowych nakładów pracy, w postaci opracowania modelu pracy przewozowej na pozostałej sieci dróg, gdyż takie dane nie są dostępne w istniejących bazach danych. Jest to kolejne zagadnienie, którego będzie rozwijane w kolejnych pracach badawczych autorki.

5.4.4 Podsumowanie i wnioski

Opracowane modele pozwoliły pokazać, jakie czynniki mogą mieć znaczenie w poprawie bezpieczeństwa ruchu drogowego w poszczególnych województwach. Ważne jest nie tylko zbieranie i udostępnianie podstawowych danych statystycznych o województwie, ale również monitorowanie zachowań użytkowników. To jednak wymaga prowadzenia regularnych badań. Jest to tym bardziej istotne w sytuacji wprowadzania kampanii społecznych czy nowego prawa. Niestety w Polsce nie wiadomo, jak się społeczeństwo zachowuje wobec takich działań na rzecz poprawy brd. Kolejnym parametrem koniecznym do monitorowania jest ilość kilometrów przejeżdżanych po drogach danego regionu. Parametr ten jest podstawową miarą narażenia na ryzyko. Niestety w przypadku województw PL poza drogami krajowymi dane te nie są znane. Bardzo niekorzystnie na proces modelowania wpływają zmiany administracyjne województw. Niestety dane historyczne nie mogły być analizowane z danymi aktualnymi z uwagi na inny podział na województwa.

Po przeanalizowaniu walorów i wad poznawczych opracowanych modeli szczegółowo omówionych w pkt. 5.4.4 zdecydowano, że w niniejszej pracy dalszym szczegółowym analizom, czyli: kalibracji, badaniu wpływu poszczególnych czynników oraz próbie zastosowania opracowanych modeli na danych poszczególnych województw zostaną poddane regresyjne modele wieloczynnikowe o strukturze RFR^B . Są to bowiem modele w możliwie najbardziej szczegółowy sposób charakteryzujące poziom bezpieczeństwa w poszczególnych województwach oraz dzięki najnowszym danym możliwa jest ich kalibracja, wskazana powyżej jako ważny element procesu tworzenia wiarygodnego modelu.

5.5 Kalibracja polskich modeli na bazie najnowszych danych

5.5.1 Założenia

Podczas prac nad doktoratem zdecydowano się uzupełnić wcześniej zebrane dane o dane dla lat 2009-2014. Dane uzupełniające miały zostać wykorzystane jako zbiór testowy, służący sprawdzeniu czy opracowany model na zbiorze uczącym (1999-2008), może być wykorzystywany na nowszych danych. Wyniki kalibrowania na tak małym zbiorze nie były zadowalające i zdecydowano się połączyć dane z lat 1999-2008 i 2009-2014, tworząc duży zbiór służący kalibracji. Metodyka tworzenia modelu skalibrowanego polegała na przemnożeniu modelu bazowego RFR_i^B przez funkcję zmiennych nieuwzględnianych wcześniej w modelach. RFR_i^B to kolejno model RFR_PL_02, 03 itd. Skalibrowana wersja to przykładowo RFR_PL_02_K1. Kalibrowano jedynie modele z pkt. 5.4.2.3, gdyż powstawały one na danych dostępnych w dużym przedziale czasowym. Pozostałe modele powstały

na danych zbieranych jedynie w pewnym okresie czasu i ich weryfikacja z wykorzystaniem danych z lat 2009-2014 jest niemożliwa. Kalibracja była przeprowadzona zgodnie z założeniami w rozdziale 4.4.2.

$$RFR_i^{Bk} = RFR_i^B \cdot CRFR_i^{Bk} \quad (5.42)$$

przy czym:

$$CRFR_i^{Bk} = \exp(\gamma_1 \cdot REXV + \gamma_2 \cdot PUA + \gamma_3 \cdot \frac{PAY}{1000} + \gamma_4 \cdot PUP + \gamma_5 \cdot DV + \gamma_6 \cdot DME_{(D)} + \gamma_7 \cdot \frac{AMB}{P} + \gamma_8 \cdot PME + \gamma_9 \cdot DR_{(A)} + \gamma_{10} \cdot \frac{HEW}{P} + \gamma_{11} \cdot RD + \gamma_{12} \cdot UGR) \quad (5.43)$$

gdzie:

RFR_i^{Bk} – skalibrowany model RFR,

RFR_i^B – wybrany bazowy model RFR z grupy modeli GM-1 (modele o nr RFR_PL_02 – RFR_PL_07), lub z grupy modeli GM-2 (modele o nr RFR_PL_08 – RFR_PL_11)

$REXV$ - wydatki na drogi wojewódzkie [mln zł/km/rok],

PUA – udział gruntów zabudowanych i zurbanizowanych w powierzchni ogółem [%],

PUP – udział ludności mieszkającej w miastach [%],

DV - gęstość pojazdów ogółem [poj./km²/rok],

PAY - wynagrodzenie brutto [zł/rok],

$DME_{(D)}$ - gęstość demograficzna autostrad i dróg ekspresowych [tys. km/100 tys. os./rok],

PME - udział procentowy autostrad [%],

$DR_{(A)}$ - gęstość dróg ogółem [km/km²/rok],

HEW - szpitalne oddziały ratunkowe [liczba/rok],

AMB - zespoły ratownictwa medycznego i zespoły wyjazdowe [liczba/rok],

UGR - udział gruntów ornych [%],

RD - wskaźnik lekarzy na 10 tys. mieszkańców [lekarze/10 tys. mieszkańców/rok].

Podczas procesu kalibracji w funkcji czynnika kalibrującego uwzględniano zawsze dane nieujęte w funkcji bazowej.

5.5.2 Wyniki kalibracji

Po wykonaniu kilkudziesięciu modeli opracowano model ogólny funkcji kalibrującej modele GM-1 i GM-2. Skalibrowany model z uwzględnieniem funkcji bazowej i funkcji kalibrującej ma więc postać (5.42). Poniżej przedstawiono uzyskane współczynniki przy kolejnych zmiennych w kolejnych modelach z grupy GM-1 i GM-2 oraz parametry dopasowania i błędu.

Grupa modeli GM-1. W tablicy 5.20 zestawiono parametry modelu po kalibracji dla grupy modeli GM-1, gdzie parametrem skali był jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC.

Współczynniki i miary oceny skalibrowanych modeli o wzorze ogólnym GM-1.

Parametr	Model nr									
	RFR_PL_02_K1	RFR_PL_03_K1	RFR_PL_04_K1	RFR_PL_04_K2	RFR_PL_05_K1	RFR_PL_05_K2	RFR_PL_06_K1	RFR_PL_07_K1	RFR_PL_07_K2	RFR_PL_07_K3
R²	0,51	0,7	0,51	0,6	0,61	0,59	0,41	0,54	0,51	0,68
Błąd	17%	13%	17%	16%	11%	13%	14%	17%	15%	14%
γ_1	-1,520	-0,907	0	-0,748	-0,357	0	0	-0,322	0	-1,142
γ_2	0	0,020	0	0,040	0,029	0,011	0	0	0	0,011
γ_3	0		0	-0,069	0	0	0	0	0	0
γ_4	0,369	-0,352	0	0	0	0	0	0,105	0	0,192
γ_5	0		0	0	0	0	0	-0,913	-0,822	-0,770
γ_6	0	-27,270	-27,967	-29,269	-19,494	0	0	0	0	0
γ_7	0	0	0	0	0	-0,002	0	0	0	0
γ_8	-0,228	0	0	0	0	0	0	0	0	0
γ_9	-0,111	0	0	0	0	0	0	0	0	0
γ_{10}	0	0	-0,015	0	0	0	0	0	0	0
γ_{11}	0	0	0	0	-0,018	0	0	0	0	0
γ_{12}	0	0	0	0	0	0	0		0,002	0

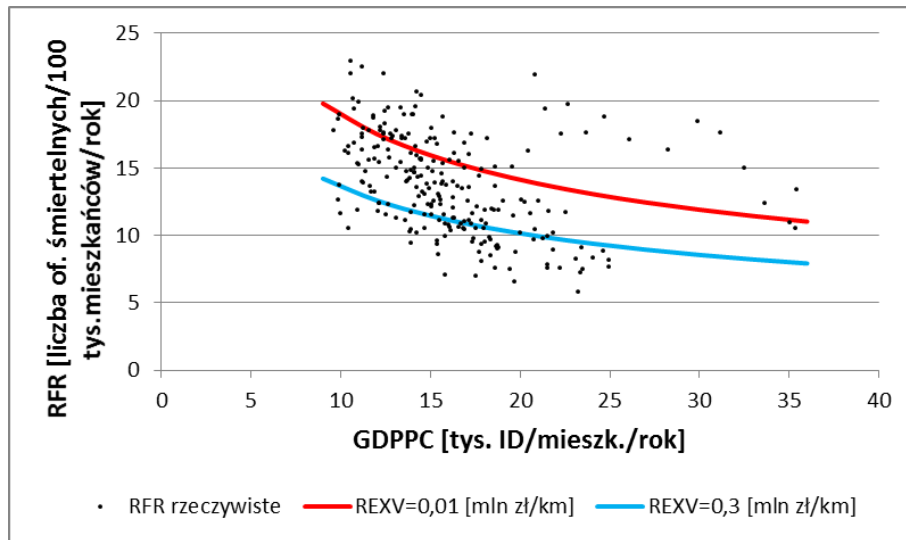
Źródło: Opracowanie własne

Przykładowo model RFR_PL_07_K2 ma postać:

$$RFR_{PL_07_K2} = 4510,2 \cdot S^{0,24} \cdot GDPPC^{-0,422} \cdot \exp(-0,06 \cdot LEI - 0,11 \cdot DR_{(A)} - 11,2 \cdot DME_{(A)}) \cdot \exp(-0,822 \cdot DV + 0,002 \cdot UGR) \quad (5.44)$$

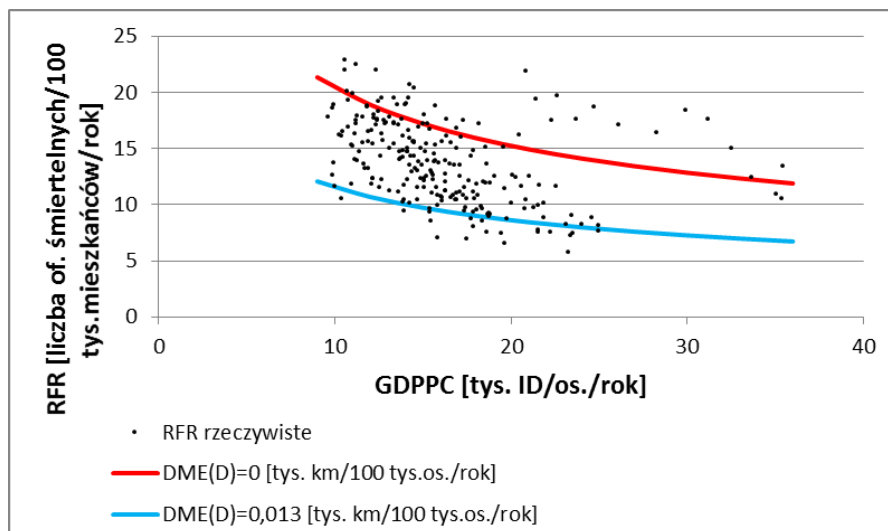
Warto zauważyć, że model RFR_PL_06 nie potrzebował kalibracji, aby uzyskać poziom dopasowania jak w modelu bazowym. Jednocześnie pozostałe modele zawierają w składowej kalibrującej zmienne lepiej charakteryzujące sieć drogową w danym województwie, finansowanie inwestycji drogowych czy potencjalny poziom ratownictwa. Skalibrowane modele mają miarę dobroci w przedziale od 0,41 do 0,7 a błąd średniokwadratowy nie przekracza 17%.

Na rysunkach 5.43-5.45 pokazano na przykładzie kilku modeli, jak pewne czynniki zmieniają poziom bezpieczeństwa na sieci drogowej w danym regionie. Na rysunku 5.43 widać, że inwestowanie w przebudowy i modernizacje dróg REXV, przekłada się na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego w danym województwie. Podobnie większa gęstość demograficzna autostrad i dróg ekspresowych DME_(D) umożliwia polepszenie bezpieczeństwa w regionie, gdyż pozwalają bezpieczne przemieszczanie się ruchu tranzytowego (rys. 5.44). W celu uwzględnienia stanu ratownictwa medycznego, w modelach użyto liczbę zespołów ratunkowych w przeliczeniu na 1 mln mieszkańców danego województwa. Okazało się, że takie podejście do modelowania dało pozytywne rezultaty i w modelach zmienna ta okazała się być statystycznie istotna (rys. 5.45).



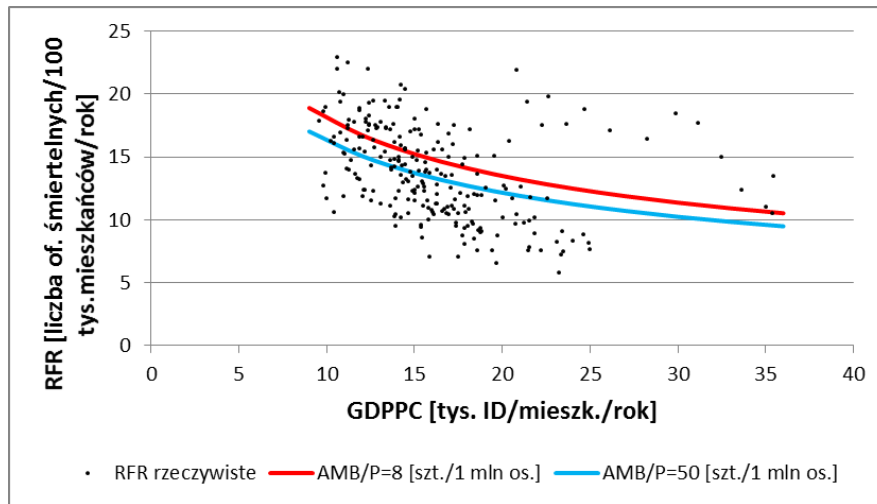
Rys. 5.43 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC oraz wydatków na 1 km dróg wojewódzkich w danym województwie REXV. Model RFR_PL_07_K3.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.44 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC oraz gęstości demograficznej autostrad i dróg ekspresowych $DME_{(D)}$. Model RFR_PL_03_K1.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.45 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC oraz liczby zespołów ratownictwa medycznego w przeliczeniu na 1 mln mieszkańców AMB/P. Model RFR_PL_05_K2.

Źródło: Opracowanie własne

Grupa modeli GM-2. W przypadku grupy modeli GM-2, gdzie parametrem skali był wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem MRV, przeprowadzono dokładnie taki sam proces kalibracji jak modeli, gdzie parametrem skali był jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC.

Przykładowo model RFR_PL_11_K1 ma postać:

$$RFR_{PL_{11}K1} = 4752,1 \cdot S^{0,16} \cdot GDPPC^{-0,3} \cdot \exp(-0,085 \cdot LEI + 0,425 \cdot DR_{(D)} - 0,346 \cdot PUP) \cdot \exp(-0,046 \cdot PME - 0,013 \cdot \frac{HEW}{P} - 0,763 \cdot REXV) \quad (5.45)$$

Tablica 5.21

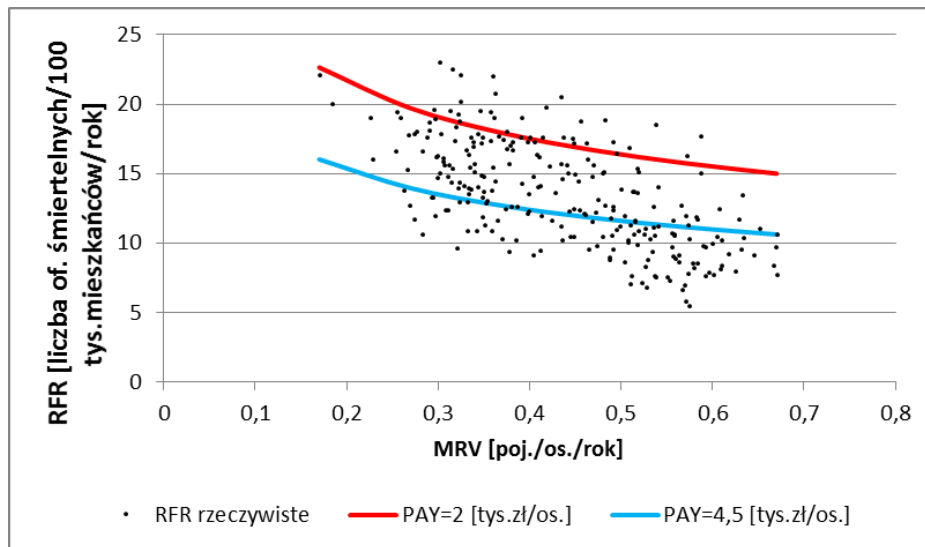
Współczynniki i miary oceny skalibrowanych modeli o wzorze ogólnym GM-2.

Parametr	Model nr					
	RFR_PL_08_K1	RFR_PL_08_K2	RFR_PL_09_K1	RFR_PL_10_K1	RFR_PL_10_K2	RFR_PL_11_K1
R²	0,68	0,72	0,71	0,74	0,69	0,74
Błąd	12%	10%	11%	11%	12%	11%
γ₁	-1,17	0	-0,668	-0,318	-0,903	-0,763
γ₂	0,019	0,020	0,019	0,040	0,029	0
γ₃	0		0	-0,138	0	0
γ₄	-0,592	-0,592	0	0,269	-0,127	0
γ₅	0		0	0	0	0
γ₆	-27,960	-20,327	0	0	0	0
γ₇	0	0	0	0	0	0
γ₈	0	0	0	0	0	-0,046
γ₉	0	0	0	0	0	0
γ₁₀	0	0	0		-0,014	-0,013

γ_{11}	0	-0,285		0	0	0
γ_{12}	0	0		0	0	0

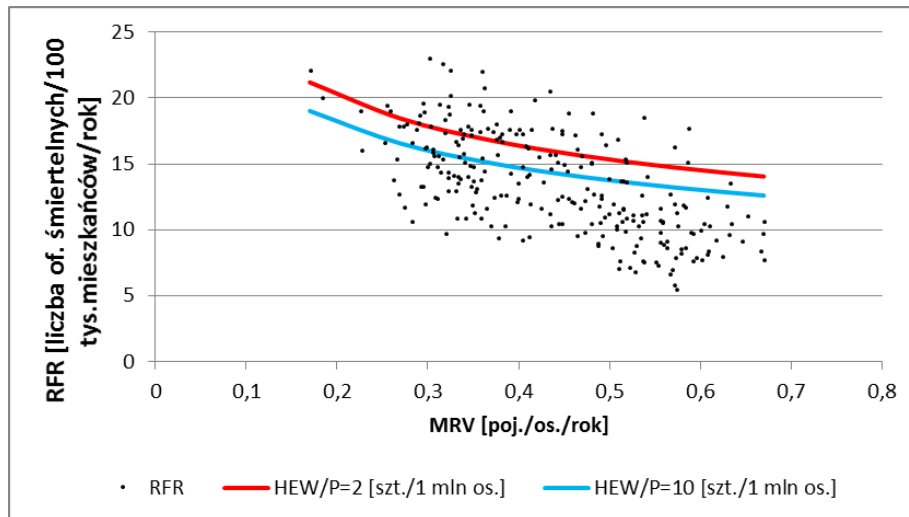
Źródło: Opracowanie własne

Na rysunkach 5.46 i 5.47 zilustrowano wybrane modele na tle danych rzeczywistych. Widać, że w województwach o niższych zarobkach PAY jest mniejszy poziom bezpieczeństwa RFR. Podobnie ma się sytuacja z regionami z mniejszą liczbą szpitalnych oddziałów ratunkowych przypadających na 1 mln mieszkańców danego województwa HEW.



Rys. 5.46 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV oraz średniej płacy brutto PAY. Model RFR_PL_10_K1.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5.47 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV oraz liczby szpitalnych oddziałów ratunkowych przypadających na 1 mln mieszkańców HEW/P. Model RFR_PL_11_K1.

Źródło: Opracowanie własne

5.5.3 Dyskusja wyników

Przeprowadzony proces kalibracji potwierdził hipotezę, że model po pierwsze powinien być tworzony na danych z jak największego przedziału czasowego oraz uaktualniany do świeższych danych. Dzięki uzupełnieniu bazy o dane z lat 2009-2014 można było wzbogacić modele o dane nieudostępniane wcześniej w bazie GUS [67] takie jak np. liczba zespołów ratownictwa medycznego i zespołów wyjazdowych AMB, czy szpitalnych oddziałów ratunkowych HEW, opisujących poziom opieki medycznej oraz ratownictwa. Zestawiono również statystyki o wydatkach budżetów województw na drogi wojewódzkie REXV. Dane te okazały się być istotne w modelach i pozwoliły dokładniej scharakteryzować województwa. Dzięki temu model lepiej oddawał zróżnicowanie poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego w województwach. Dzięki szerszemu spektrum czasowemu danych można zmienić, które zostały odrzucone w pierwotnym procesie modelowania, teraz okazały się być istotne. Przykładem jest: udział gruntów ornych UGR, poziom płac PAY czy udział gruntów zabudowanych i zurbanizowanych w całkowitej powierzchni województwa PUA. Poszczególne wpływy danych zmiennych opisano szczegółowo w kolejny rozdziale. Należy podkreślić, że dzięki kalibracji modele z grupy GM-1 poprawiły miary dobroci z 0,22-0,56 na 0,41-0,7, a w przypadku modeli z grupy GM-2 z 0,4-0,58 na 0,68-0,74.

5.5.4 Podsumowanie i wnioski

Kalibracja okazała się ważnym i niezbędnym elementem procesu modelowania, gdyż dzięki niej można było zweryfikować dane stworzone na starszych danych. Dzięki poszerzeniu bazy danych charakteryzujących województwa o świeższe charakterystyki, zwiększono znacząco ilość zmiennych niezależnych. Na początku prac nad doktoratem część z danych nie była bowiem dostępna, a więc nie można ich było uwzględnić w opracowywanych modelach. Zabieg wykorzystania najświeższych danych miał więc dwa walory: powstały modele w dokładniejszy sposób opisujące modelowaną miarę RFR oraz zostały one uaktualnione do warunków bliższych obecnym. W kolejnym rozdziale szczegółowo przeanalizowano, które czynniki mają największy wpływ na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w województwach PL.

6 BADANIA WPŁYWU WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA ZMIANY WZGLĘDNEGO WSKAŹNIKA OFIAR ŚMIERTELNYCH

6.1 Metodyka badania wpływu poszczególnych czynników.

Ocenę wpływu wszystkich zmiennych opisujących na zmienną opisywaną, przeprowadzono za pomocą wskaźnika elastyczności łukowej (z ang. arc elasticity). Wybór tego typu wskaźnika podyktowany był zastosowaniem w procesie budowy modeli nieliniowych funkcji łączących. Dzięki temu możliwe było oszacowanie średniego wpływu zmiennych niezależnych na zmienną zależną pomiędzy dwoma punktami na krzywej określającej ten wpływ. Dla zbudowanych modeli demograficznego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR, wskaźnik elastyczności łukowej (AE) określa średnią wartość procentowej zmiany zmiennej zależnej Y w przypadku jednoprocetowej zmiany zmiennej niezależnej x_i w przedziale t_1 – t_2 . Wartość AE obliczamy ze wzoru [1,131,138,195]:

$$AE_{Y/x_i} = \frac{(Y_{t_2} - Y_{t_1})}{0,5 \cdot (Y_{t_2} + Y_{t_1})} \div \frac{(x_{t_2}^i - x_{t_1}^i)}{0,5 \cdot (x_{t_2}^i + x_{t_1}^i)} \quad (6.1)$$

gdzie:

AE_{Y/x_i} – wskaźnik elastyczności łukowej

Y_{t_2}, Y_{t_1} – wartość zmiennej zależnej dla granic przedziału t_1, t_2

$x_{t_2}^i, x_{t_1}^i$ – wartość zmiennej niezależnej dla granic przedziału t_1, t_2 .

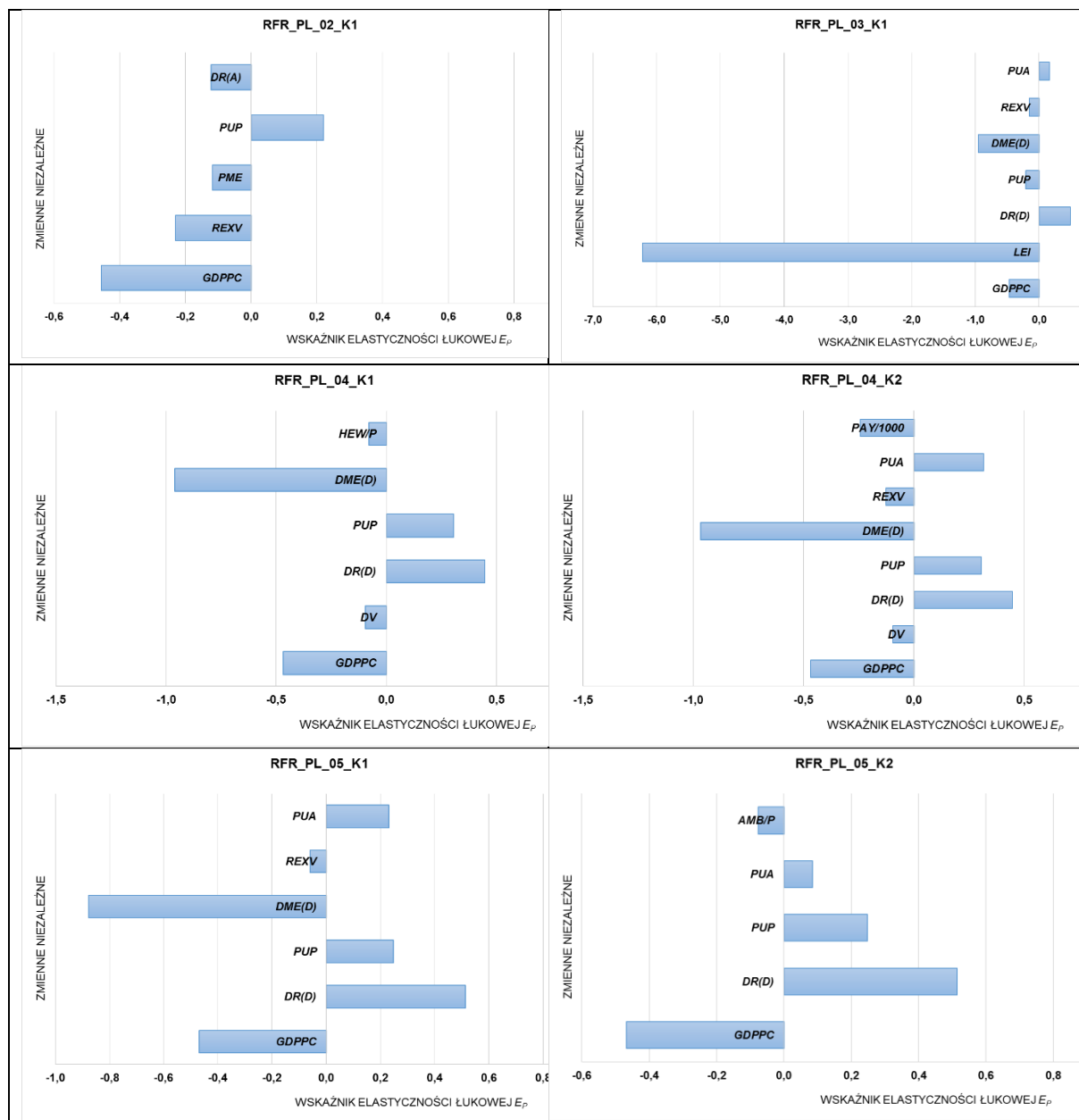
W analizach wpływu wybranej zmiennej niezależnej na zmienną zależną przyjęto założenie, że zmienna niezależna przyjmuje wartości od minimum do maksimum, natomiast pozostałe zmienne niezależne przyjmują wartości zbliżone do średnich przedstawionych w tabelicy 3.5.

6.2 Analiza elastyczności łukowej

Analizę rozkładu wpływu poszczególnych zmiennych opisujących na zmienną opisywaną z wykorzystaniem wskaźnika AE przeprowadzono dla wszystkich modeli o strukturze RFR^B dla województw PL skalibrowanych na najnowszych danych w rozdziale 5.5.

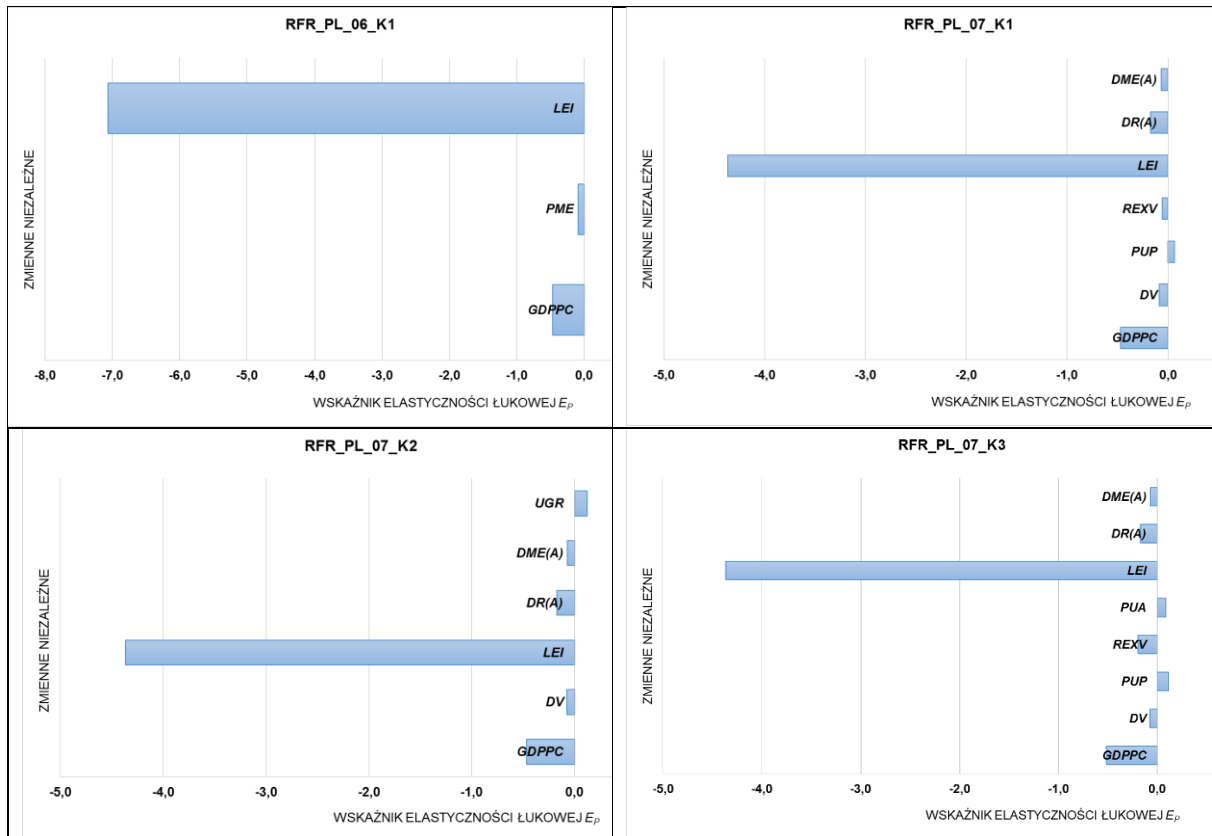
6.2.1 Modele grupy GM-1

Pierwszą grupę analizowanych modeli GM-1 stanowią modele RFR_PL_02 do RFR_PL_07, opisane wzorem ogólnym (5.40), w których parametrem skali wzrostu (rozwoju) był jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC, a pozostałe parametry zestawiono w tabeli 5.18. Modele te skalibrowano za pomocą funkcji opisanej wzorem ogólnym (5.42), a parametry zestawiono w tabelicy 5.20. Dla poszczególnych modeli obliczono wskaźniki elastyczności łukowej. Wyniki obliczeń w postaci graficznej, obrazującej procentową zmianę względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR, w zależności od wzrostu o 1 % analizowanej zmiennej niezależnej dla poszczególnych modeli zestawiono na rysunkach 6.1-6.2. Z kolei zbiorcze wyniki dla wszystkich analizowanych modeli zestawiono w tabelicy 6.1.



Rys. 6.1 Wykresy wskaźników elastyczności łukowej obrazującej wpływ wybranych zmiennych niezależnych na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR w wybranych w modelach grupy GM - 1.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 6.2 Wykresy wskaźników elastyczności łukowej obrazującej wpływ wybranych zmiennych niezależnych na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR w wybranych w modelach grupy GM - 1.

Źródło: Opracowanie własne

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że jednostkowy produkt krajowy brutto w województwie GDPPC, jako miara rozwoju społeczno- gospodarczego regionu ma dość znaczący wpływ na zmniejszenie zagrożeń wypadkami z ofiarami śmiertelnymi na drogach w województwie. Największy wpływ na zmniejszenie wskaźnika śmiertelności RFR ma jednak wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia LEI, który można przyjąć jako miarę stopnia rozwoju systemu opieki zdrowotnej w regionie oraz stopnia zaangażowania mieszkańców w ochronę własnego zdrowia. Potwierdza to wnioski z badań literaturowych oraz analiz na danych amerykańskich. Nie należy zapominać, że przeciętna długość życia obywatela wzrasta wraz z rozwojem ekonomicznym i społecznym danego regionu. Jest to wynikiem większej dbałości o zdrowie populacji, a także ze wzrastaniem świadomości społeczeństwa. Nie da się więc uniknąć powiązania matematycznego przeciętnej długości życia LEI z jednostkowym produktem krajowym brutto GDPPC. Mogłoby to wykluczać zastosowanie obu zmiennych w jednym modelu i bardzo ograniczyłoby jego dopasowanie do danych rzeczywistych. Jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC zmienia się w czasie bardziej dynamicznie od spodziewanej długości życia LEI i jest prognozowany przez ekonomistów, wobec czego powinien znaleźć się w modelu. Z kolei spodziewana długość życia LEI charakteryzująca daną społeczność, kryje w sobie charakterystyki póki co niedostępne w bazach. To, że w danym regionie obywatele żyją dłużej jest składową nie tylko tego, że mając większe dochody mogą sobie pozwolić np. na lepszą, często prywatną opiekę zdrowotną, co prawdopodobnie przekłada się na dłuższe życie. Na prawdopodobieństwo dłuższego życia

również wpływają zachowania użytkowników np. zwiększona kultura jazdy, stosowanie czynnych i biernych środków ochrony zdrowia takich jak pasy bezpieczeństwa, kaski rowerowe czy urządzenia odblaskowe po zmroku przez pieszych. Wszystkie te elementy znacząco wpływają na zmniejszenie prawdopodobieństwa bycia ofiarą śmiertelną wypadku drogowego. Takie dane jednak póki co, nie są zbierane i nie można ich było przeanalizować. Wobec tego zmienna LEI jest niejaką zmienną zastępczą zawierającą tego rodzaju charakterystyki.

Wskaźnik LEI jest także składową zintegrowanego wskaźnika rozwoju społecznego HDI [114], ale dostępne dane dotyczące wskaźnika HDI dostępne są jedynie dla obszarów kraju oraz dla stanów AP (ale tylko dla jednego roku). Natomiast dla danych europejskich, w tym polskich nie można było zebrać danych o wskaźniku rozwoju społecznego HDI, dlatego posłużono się właśnie LEI, który okazał się bardzo mocno powiązany ze zmienną modelowaną RFR, zwłaszcza w grupie danych z województw.

Z pozostałych zmiennych niezależnych na uwagę zasługują zmienne związane z infrastrukturą drogową. Wzrost gęstości sieci drogowej $DR_{(D)}$ przyczynia się do wzrostu zagrożenia (wzrost RFR), natomiast wzrost gęstości autostrad i dróg ekspresowych $DME_{(D)}$, PME oraz wzrost nakładów na drogi REXV przyczyniają się do zmniejszenia poziomu zagrożenia (spadek RFR).

Tablica 6.1

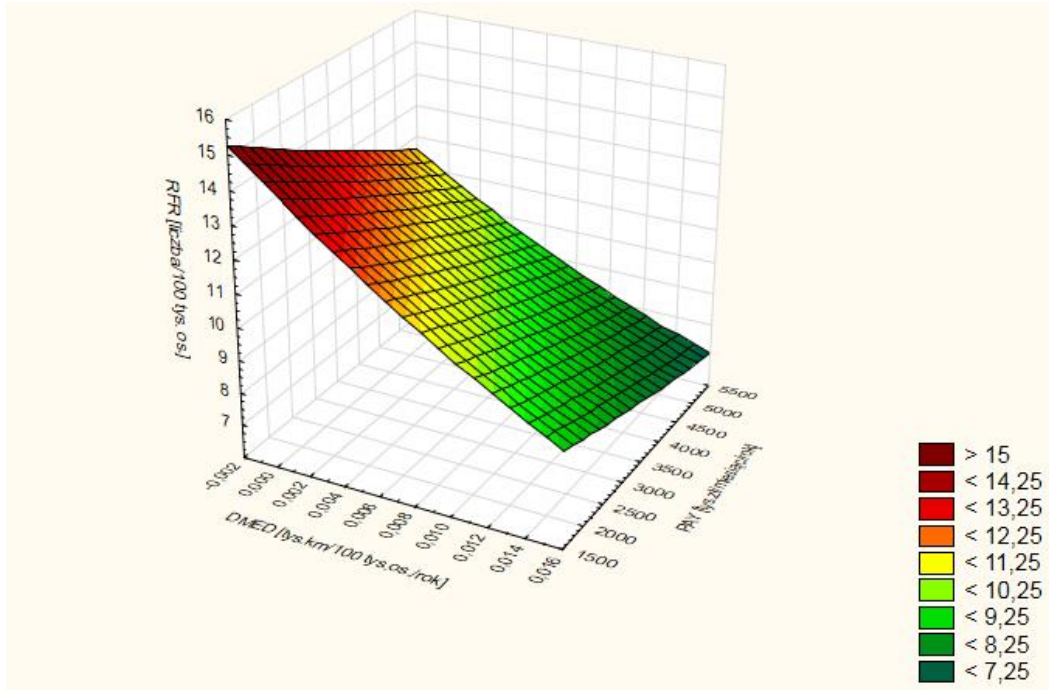
Zbiorcze zestawienie wpływu zmiennych niezależnych na zmianę wskaźnika RFR w przypadku wzrostu wartości analizowanej zmiennej niezależnej o 1 %.

Zmienna niezależna (czynnik)		Zmiana wskaźnika RFR (%)	
		Wzrost	Spadek
GDPPC	jednostkowy produkt krajowy brutto w przeliczeniu na mieszkańca województwa		0,46 - 0,50
LEI	wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia		4,36 - 7,07
$DME_{(D)}$	gęstość demograficzna autostrad		0,87 - 0,96
PAY	wynagrodzenie brutto		0,24
REXV	wydatki na drogi wojewódzkie		0,05-0,23
$DR_{(A)}$	gęstość dróg ogółem		0,12 - 0,17
PME	udział procentowy autostrad		0,09 - 0,11
DV	gęstość pojazdów ogółem		0,07 - 0,10
HEW/P	szpitalne oddziały ratunkowe w przeliczeniu na mieszkańca		0,07
$DR_{(D)}$	gęstość demograficzna dróg ogółem	0,46-0,51	
PUA	udział gruntów zabudowanych i zurbanizowanych w powierzchni	0,08 – 0,31	
PUP	udział mieszkańców miast	0,06-0,31	0,21
UGR	udział gruntów ornych	0,12	
AMB/P	liczba zespołów ratownictwa medycznego i zespołów wyjazdowych w przeliczeniu na mieszkańca	0,12	
$DME_{(A)}$	gęstość autostrad		0,06-0,32

Źródło: Opracowanie własne

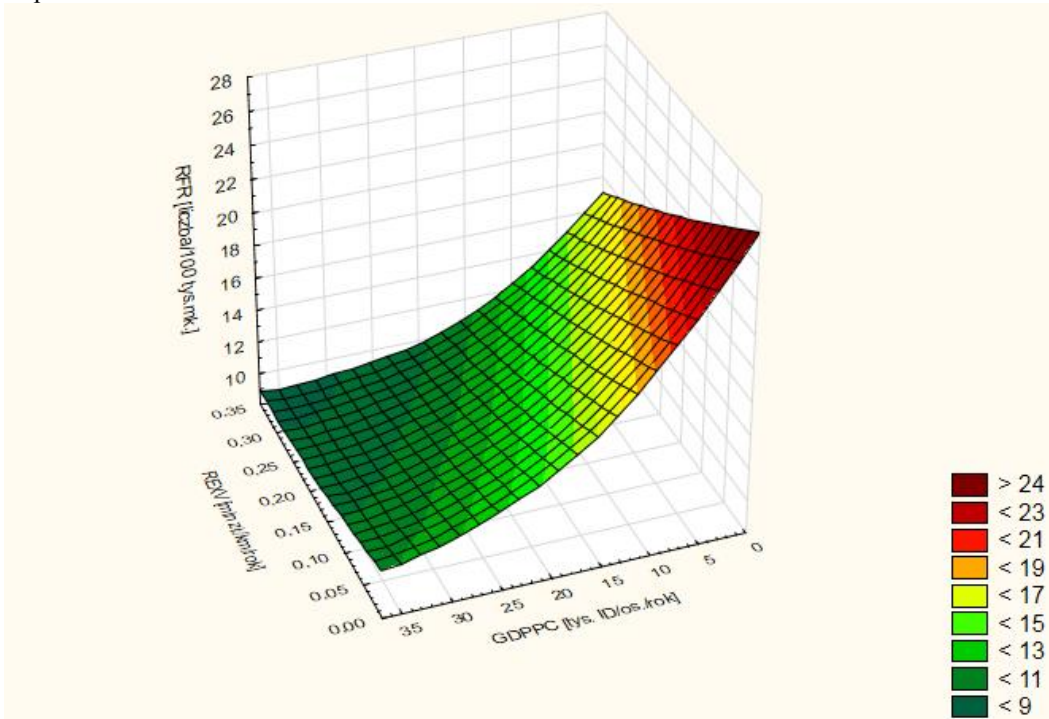
Dla potrzeb wizualizacji wpływu dwóch zmiennych równoległe, na rysunkach 6.3 i 6.4 przedstawiono przykłady przestrzennego wpływu wybranych par zmiennych na zmianę wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych RFR. Wraz ze zwiększaniem się długości autostrad w przeliczeniu na liczbę mieszkańców danego województwa $DME_{(D)}$ oraz przeciętnej płacy mieszkańców brutto PAY następuje polepszenie

bezpieczeństwa ruchu drogowego. Podobnie się dzieje, gdy wzrasta jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC oraz wzrastają fundusze wydawane na drogi wojewódzkie REXV.



Rys. 6.3 Wpływ gęstości demograficznej autostrad $DME_{(D)}$ oraz wysokości płacy mieszkańców PAY na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w wypadkach RFR. Model RFR_PL_04_K2

Źródło: Opracowanie własne

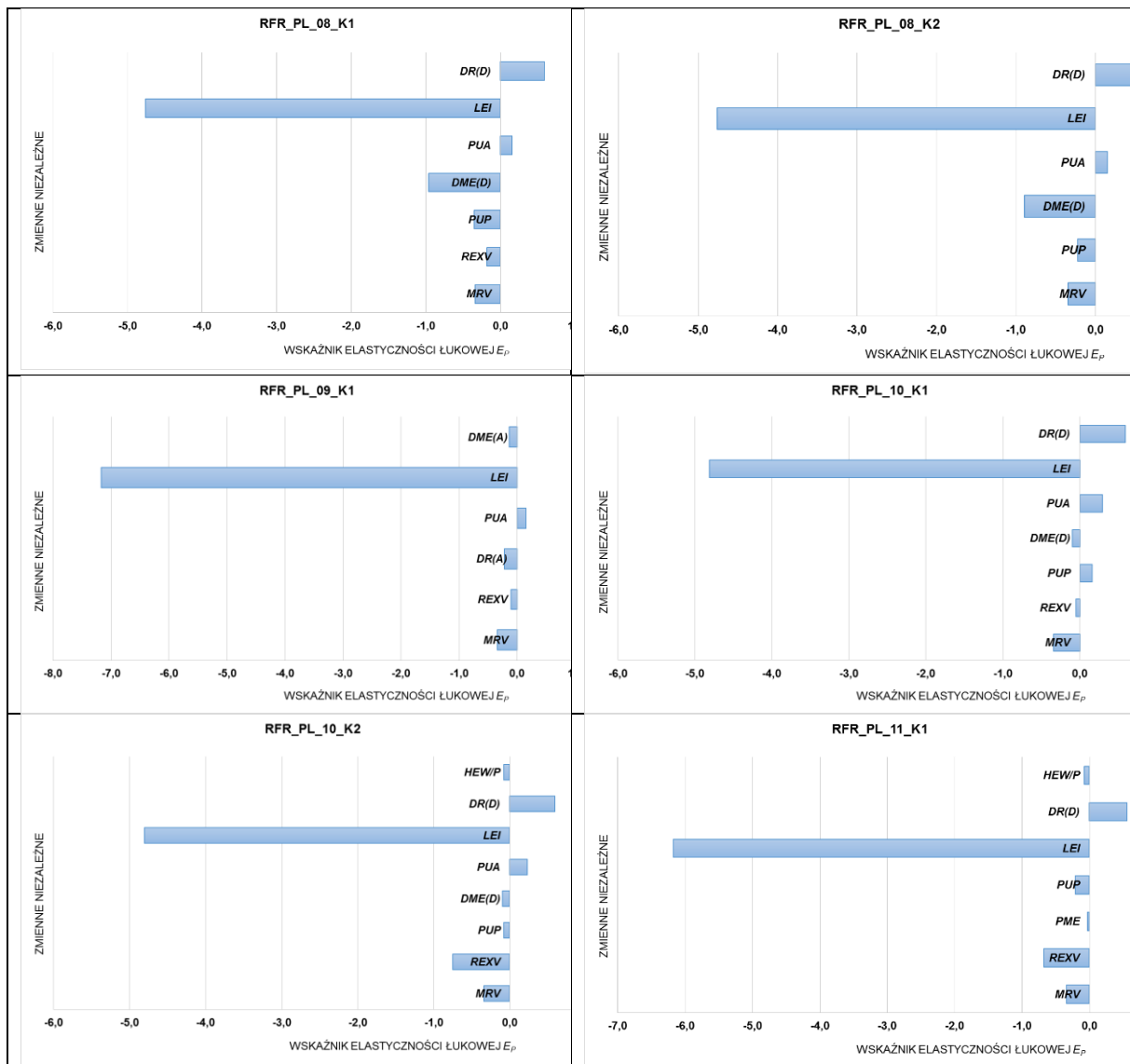


Rys. 6.4 Wpływ wydatków na drogi wojewódzkie REXV oraz jednostkowego produktu krajowego brutto w przeliczeniu na mieszkańca GDPPC na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w wypadkach RFR. Model RFR_PL_07_K3.

Źródło: Opracowanie własne

6.2.2 Modele grupy GM-2

Drugą grupę analizowanych modeli GM-2 stanowią modele RFR_PL_08_K1 do RFR_11_K1 opisane wzorem ogólnym (5.41), w których parametrem skali wzrostu (rozwoju) był wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem MRV, a pozostałe parametry zestawiono w tabeli 5.19. Modele te skalibrowano za pomocą funkcji opisanej wzorem ogólnym (5.42), a parametry zestawiono w tabelicy 5.21. Dla poszczególnych modeli obliczono wskaźniki elastyczności łukowej. Wyniki obliczeń w postaci graficznej, obrazującej procentową zmianę względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR, w zależności od wzrostu o 1 % analizowanej zmiennej niezależnej dla poszczególnych modeli zestawiono na rysunku 6.5. Natomiast zbiorcze wyniki dla wszystkich analizowanych modeli zestawiono w tabelicy 6.2.



Rys. 6.5 Wykresy wskaźników elastyczności łukowej obrazującej wpływ wybranych zmiennych niezależnych na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR w wybranych w modelach grupy GM - 2.

Źródło: Opracowanie własne

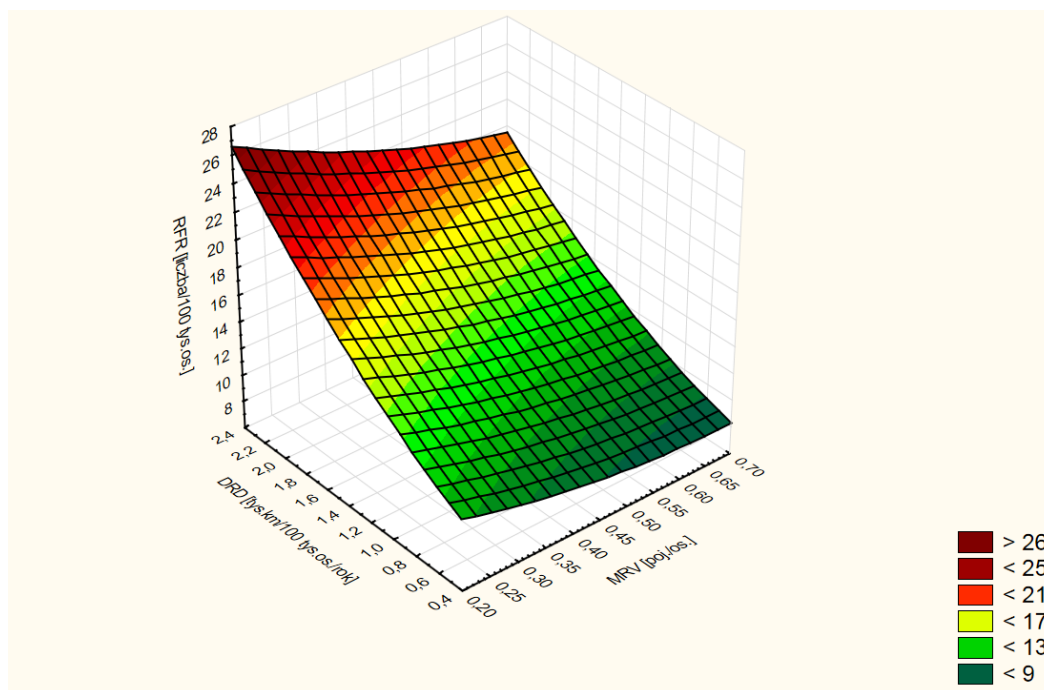
Tablica 6.2

Zbiorcze zestawienie wpływu zmiennych niezależnych na zmianę wskaźnika RFR w przypadku wzrostu wartości analizowanej zmiennej niezależnej o 1 %.

Zmienna niezależna (czynnik)		Zmiana wskaźnika RFR (%)	
		Wzrost	Spadek
MRV	wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem		0,34
LEI	wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia		4,7 - 7,2
DME _(D)	gęstość demograficzna autostrad		0,09-0,96
REXV	wydatki na drogi wojewódzkie		0,05-0,75
DR _(A)	gęstość dróg ogółem		0,22
HEW/P	szpitalne oddziały ratunkowe w przeliczeniu na mieszkańca		0,05-0,07
DR _(D)	gęstość demograficzna dróg ogółem	0,55-0,59	
PUA	udział gruntów zabudowanych i zurbanizowanych w powierzchni	0,15 – 0,3	
PUP	udział mieszkańców miast	0,16	0,08-0,35
DME _(A)	gęstość autostrad		0,13

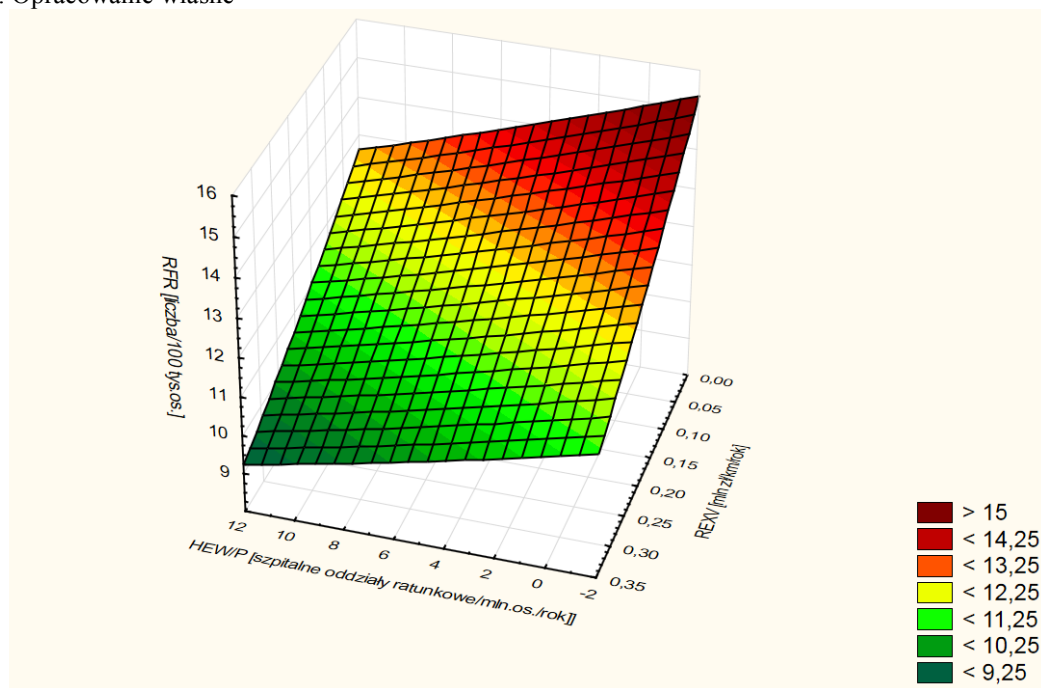
Źródło: Opracowanie własne

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że wskaźnik motoryzacji MRV w województwie, podobnie jak GDPPC, jest w tych modelach miarą rozwoju gospodarczego regionu i dlatego ma dość znaczący wpływ na zmniejszenie zagrożeń wypadkami z ofiarami śmiertelnymi na drogach w województwie. Natomiast największy wpływ na zmniejszenie wskaźnika śmiertelności RFR podobnie jak w przypadku poprzednich modeli mają wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia LEI oraz zmienne reprezentujące działania infrastrukturalne. W celu pokazania wpływu dwóch zmiennych na rysunku 6.6 przedstawiono na przykładzie dwóch modeli, jak dwie wybrane zmienne wpływają na RFR). Wzrost wskaźnika motoryzacji MRV powoduje zmniejszenie wskaźnika RFR, jednocześnie ze wzrostem gęstości demograficznej dróg ogółem DR_(D) wzrasta RFR. Wraz ze wzrostem inwestycji na drogach wojewódzkich REXV maleje względny wskaźnik ofiar śmiertelnych. Ponadto należy zwrócić uwagę na zmienne reprezentujące system ratownictwa drogowego (rys. 6.7). Podczas gdy wzrasta liczba szpitalnych oddziałów ratunkowych w przeliczeniu na 1 mln mieszkańców HEW zmniejsza się wskaźnik RFR.



Rys. 6.6 Wpływ gęstości demograficznej dróg ogółem DRD oraz wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w wypadkach RFR. Model RFR_10_K1.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 6.7 Wpływ ilości szpitalnych oddziałów ratunkowych przypadających na 1 mln mieszkańców HEW/P oraz wydatków na drogi wojewódzkie REXV na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w wypadkach RFR. Model RFR_10_K2.

Źródło: Opracowanie własne

6.3 Dyskusja wyników

Wnioski z opracowanych modeli są w większości zgodne z wynikami przedstawianymi w przestudiowanej literaturze, gdzie zwiększenie gęstości infrastruktury powodowało zwiększenie bezpieczeństwa ruchu drogowego [13,45]. Przy czym w Polsce jest tak w przypadku gęstości dróg ogółem $DR_{(A)}$. W przypadku gęstości demograficznej dróg $DR_{(D)}$, jej wzrost powoduje zwiększenie zagrożenia na drogach. Dzięki zwiększeniu sieci autostrad ($DME_{(A)}$, $DME_{(D)}$, PME) zmniejsza się najprawdopodobniej ruch na drogach tranzytowych przez miejscowości (najczęściej na drogach o znacznie niższych parametrach brd), co również jest zgodne z wnioskami z literatury [193]. Podobnie ma się ze statusem materialnym mieszkańców, który liczony jako jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC, czy płaca mieszkańców PAY [10,16,90] podwyższa poziom bezpieczeństwa.

Poziom opieki zdrowotnej czy ratownictwa medycznego AMB, HEW, a także spodziewana długość życia LEI jest skorelowana z poziomem bezpieczeństwa na drogach danego regionu, co również jest potwierdzeniem badań literaturowych [13,31]. Jeżeli chodzi o demografię to w przypadku polskich województw odsetek ludzi w miastach PUP nie ma jednoznacznego wpływu na wskaźnik RFR. Jeżeli we wzorze występowała zmienna związana z wysokością płacy PAY, gęstością pojazdów DV czy gęstością dróg ogółem $DR_{(A)}$, odsetek ten zwiększał wskaźnik RFR. W pozostałych przypadkach zmniejszał. Większa liczba terenów zurbanizowanych PUA), to większe ryzyko bycia ofiarą śmiertelną wypadku drogowego. W badaniach przestudiowanych w literaturze analizowano obszary metropolitalne i wnioski były odwrotne [43,150]. Być może zmienna PUA okazała się skorelowana dodatkowo, ponieważ cały czas w Polsce jest problem przejść dróg tranzytowych przez miejscowości. Teren ten jest już zabudowany, ale prędkości pojazdów jadących główną drogą często dużo wyższe niż ustalony limit. Zmienne PUP i PUA są ważnymi charakterystykami różnicującymi województwa pod względem zagospodarowania przestrzennego czy tendencji demograficznych danego regionu. Jednak niejednoznaczne, a czasem sprzeczne z wnioskami z przestudiowanej literatury konkluzje z otrzymanych modeli wymagają dalszej obserwacji i kolejnych analiz, co będzie tematem kolejnych prac autorki.

6.4 Podsumowanie i wnioski

W podsumowaniu badania wpływu poszczególnych czynników, należy zwrócić uwagę na czynniki, które w najwyższym stopniu wpływają na poziom bezpieczeństwa w opracowanych modelach. Są nimi: wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia LEI, gęstość demograficzna autostrad $DME_{(D)}$, gęstość demograficzna dróg ogółem $DR_{(D)}$, jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC oraz wydatki na drogi wojewódzkie REXV.

Należy być bardzo ostrożnym podczas konstruowania modeli wieloczynnikowych, ich kalibracji i badania wpływu poszczególnych czynników. Często model z małą liczbą zmiennych jest bardziej wiarygodny niż ten z większą liczbą zmiennych. Jednocześnie jeśli buduje się modele, które mają uwzględniać zróżnicowanie pomiędzy województwami i pomagać w zarządzaniu bezpieczeństwem ruchu drogowego, to model powinien uwzględniać jak najwięcej czynników za pomocą których można wpływać na zmianę poziomu zagrożenia wypadkami śmiertelnymi. W niniejszej rozprawie stworzono modele, które w niektórych przypadkach mogą prowadzić do wniosków niezgodnych z wiedzą ekspercką i intuicją inżynierską. Dlatego należy być ostrożnym przy wyciąganiu zbyt daleko idących wniosków.

Chodzi głównie o wpływ udziału mieszkańców mieszkających w miastach PUP oraz udziału terenów zabudowanych i zurbanizowanych PUA. Ponieważ tego rodzaju zmienne były uwzględniane w pracach z przestudiowanej literatury [7,36,126], uwzględniono je również w opracowanych modelach. Ich wpływ na modelowaną zmienną RFR okazał się stosunkowo niewielki i nie determinuje wartości RFR obliczonej wg modelu. Dlatego modele mogły być dalej analizowane, ale z uwagi na wątpliwości związane z wpływem, jaki wykazują te dwie zmienne, problem ten powinien zostać bliżej zbadany. Ponadto nie należy na podstawie przedstawionych modeli wyciągać twardej wniosków, co do stopnia zurbanizowania województw PL i wpływu tej cechy na bezpieczeństwo ruchu drogowego.

7 ZASTOSOWANIE MODELI DO ZARZĄDZANIA BEZPIECZEŃSTWEM RUCHU DROGOWEGO W REGIONACH

7.1 Metoda szacowania liczby ofiar śmiertelnych w województwach

7.1.1 Ogólna postać metody

Zastosowanie metody zarządzania ryzykiem na sieci dróg w województwie ułatwia osobom zarządzającym siecią dróg, podejmowanie racjonalnych decyzji dotyczących: poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, poprzez wybór działań nakierowanych na zmniejszenie strat ponoszonych w wypadkach drogowych. Podstawowym elementem metod zarządzania ryzykiem są metody prognozowania miar ryzyka. Prognozowanie spodziewanego ryzyka polega na oszacowaniu wielkości przyjętych miar ryzyka, w analizowanym horyzoncie czasu, na podstawie przyjętych założeń o zmianach czynników wpływających na wielkość przyjętych miar ryzyka. W zależności od dostępu do podstawowych danych o bezpieczeństwie ruchu drogowego, perspektywach rozwoju społeczno – gospodarczego, rozwoju infrastruktury drogowej oraz systemu ratownictwa itp., wybiera się metodę szacowania miar ryzyka. Przy konstruowaniu takiej metody konieczne jest: przyjęcie ogólnej koncepcji metody, identyfikacja czynników ryzyka i zebranie dostępnych (niezbędnych) danych do analiz. Istotny jest również wybór modelu prognozowania ryzyka, określenie scenariuszy i uwarunkowań, oraz wykonanie prognoz parametrów i zmiennych niezależnych jako elementów składowych modelu ryzyka. Ważne jest też wyznaczenie przyjętych miar ryzyka w założonym horyzoncie czasowym [90].

Do szacowania liczby ofiar śmiertelnych w województwie F_W zaproponowano podejście bazujące na modelu z grupy F^C (wzór 4.10), a składającym się z dwuelementowego modelu wielkości populacji mieszkańców i względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w wybranym regionie. Korzystając z tego podejścia, zaproponowano metodę szacowania liczby ofiar śmiertelnych w województwach, z wykorzystaniem modelu ogólnego opisanego wzorem 7.1:

$$F_W = P_W \cdot RFR_W \quad (7.1)$$

Do szacowania wskaźnika ofiar śmiertelnych w województwie RFR_W zaproponowano procedurę opracowaną w trakcie realizacji niniejszej pracy. Ogólna postać modelu RFR_W opisana jest wzorem 7.2:

$$RFR_W = RFR_{PL} \cdot CF_{WL} \quad (7.2)$$

gdzie:

F_W - szacowana liczba ofiar śmiertelnych w województwie,

P_W – liczba mieszkańców w analizowanym województwie,

RFR_W – względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w województwie,

RFR_{PL} – względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w województwie oszacowany za pomocą skorygowanego modelu bazowego,

CF_{WL} – wojewódzki lokalny) współczynnik korekcyjny względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w województwie.

Względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w województwie (bazowy z korektami) RFR_{PL} przyjęto szacować korzystając z modeli bazowych, opracowanych w rozdz. 5.4 i zmodyfikowanych według metodyki przedstawionej w rozdz. 5.5, a opisanych wzorem ogólnym 7.3:

$$RFR_{PL} = RFR_i^{Bk} = RFR_i^B \cdot CRFR_i^{Bk} \quad (7.3)$$

gdzie:

RFR_W – względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w województwie,

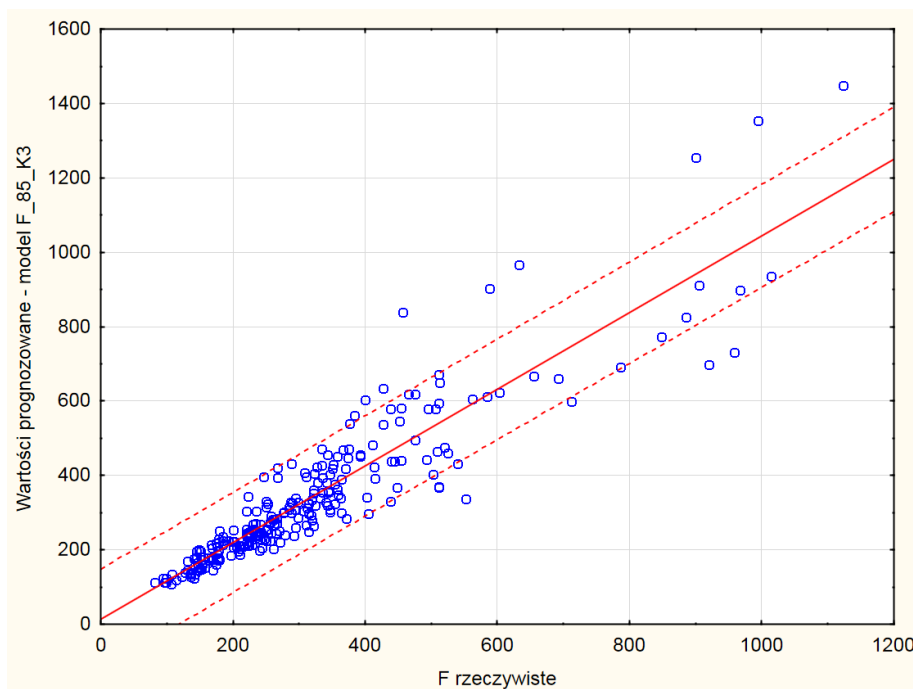
RFR_{PL} – względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w województwie - bazowy z korektami,

RFR_i^{Bk} – skorygowany model bazowy względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w województwie według wzoru 5.42),

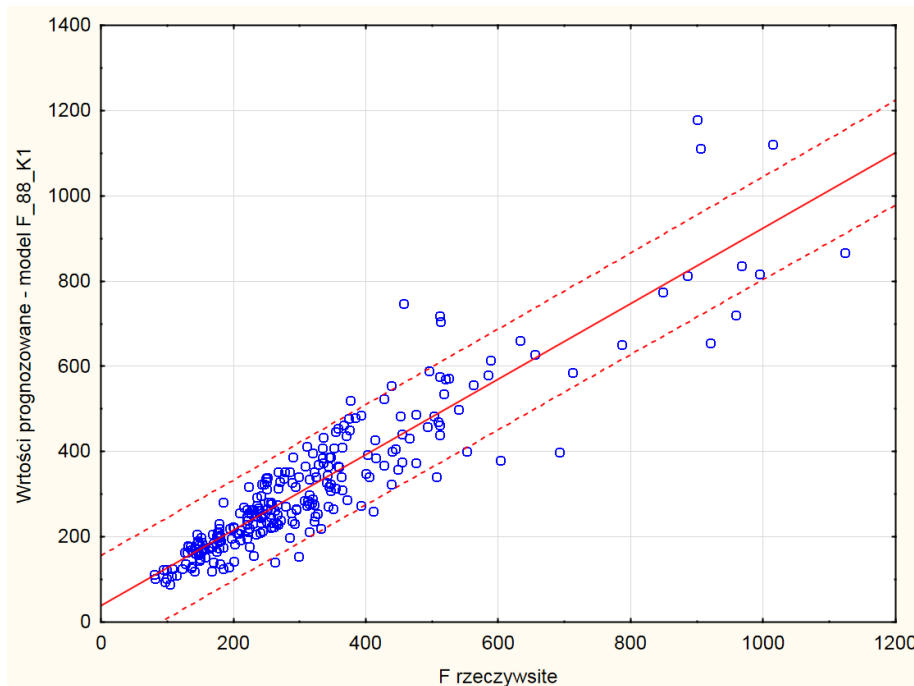
RFR_i^B – model bazowy względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w województwie (według wzoru 5.40),

$CRFR_i^{Bk}$ – współczynnik korekcyjny względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w województwie (według wzoru 5.43).

Wstępna analiza zastosowania takiego podejścia, której przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 7.1 i 7.2 wskazuje na pewne rozbieżności między prognozowaną liczbą ofiar śmiertelnych F_{WP} oszacowaną zaproponowaną metodą, a danymi rzeczywistymi liczby ofiar śmiertelnych F_{WR} . Podjęto zatem próbę poprawy dobroci zaproponowanej metody do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w poszczególnych województwach.



Rys. 7.1 Wykres wartości modelowanych wzgl. wartości rzeczywistych. Model F_PL_07_K3



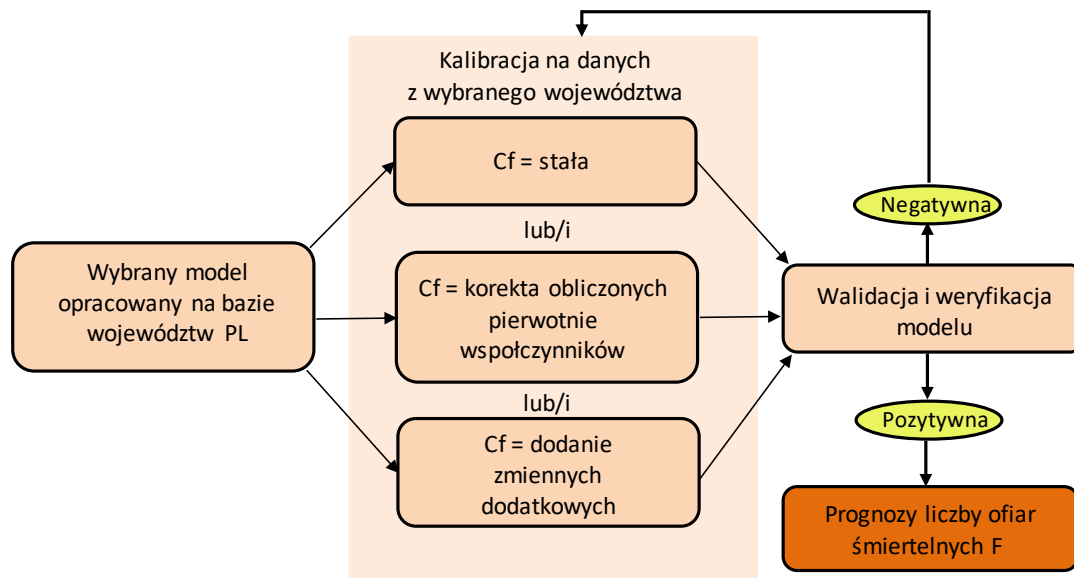
Rys. 7.2 Wykres wartości modelowanych wzgl. wartości rzeczywistych. Model F_PL_10_K1
Źródło: Opracowanie własne

W tym celu wytypowano 4 województwa: Pomorskie, Kujawsko-Pomorskie, Śląskie i Mazowieckie. Wybrano te cztery województwa, ponieważ znacząco się od siebie różnią i celem było sprawdzenie, czy wobec tego model opracowany na bazie wszystkich województw w Polsce będzie dobrze się sprawdzał na wybranym województwie. Województwo pomorskie jest regionem portowym z trzema dużymi miastami. Województwo kujawsko-pomorskie to region biedniejszy od województwa pomorskiego, ale jednocześnie w ostatnich latach bardzo wzrósł tam udział dróg ekspresowych i autostrad w całej sieci dróg województwa. Województwo śląskie to z kolei województwo o dużym udziale ludzi mieszkających w miastach i generalnie jest to województwo bardzo zurbanizowane. Województwo mazowieckie to region o bardzo dużym obszarze, położony centralnie na mapie kraju i będący województwem stołecznym.

7.1.2 Metodyka aplikacji opracowanych modeli ryzyka do szacowania liczby ofiar śmiertelnych w wybranych województwach.

Modele względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR opracowane w rozdziałach 5.4 i 5.5 w założeniu miały być narzędziem wspomagającym zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego w województwach dzięki temu, że zostało w nich uwzględnione wiele charakterystyk wojewódzkich, a obliczone miary dobroci modeli były wysokie. Jednak podczas prac wstępnych na wyizolowanych danych z kolejnych województw okazało się, że można poprawić dopasowanie tych modeli do poszczególnych danych z konkretnego województwa. Kalibracja modelu polegała na przemnożeniu wcześniej powstałego modelu przez współczynnik korygujący C_{WL} . W zależności od województwa współczynnik ten przyjmował różne formy. Czasem była to stała, czasem korekta współczynników przy już występujących

we wzorze zmiennych, a czasem dodanie kolejnych zmiennych, które w przypadku danego województwa okazywały się bardzo istotne. Metodykę aplikacji opracowanych modeli RFR do szacowania liczby ofiar śmiertelnych w wybranych województwach przedstawiono na rys. 7.3.



Rys. 7.3 Schemat metodyki aplikacji opracowanych modeli wskaźnika RFR do potrzeb prognozowania liczby ofiar śmiertelnych F wybranego województwa.

Źródło: Opracowanie własne

7.2 Województwo pomorskie.

W przypadku województwa pomorskiego, w procedurze prognozowania liczby ofiar śmiertelnych zastosowano model nr RFR_PL_03_K1. Przeprowadzono kalibrację przyjętego modelu do danych rzeczywistych. Okazało się, że w przypadku województwa pomorskiego zmianie uległy współczynniki równania (przy zmiennych niezależnych i wartości stałej). Wskaźnik długości życia LEI okazał się nieco mniej istotny, natomiast jeszcze większy pozytywny wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego w regionie ma gęstość demograficzna autostrad DME_D). W rezultacie model prognostyczny wskaźnika RFR_G dla województwa pomorskiego przyjął postać opisaną wzorem 7.4.

$$RFR_G = 1,06 \cdot RFR_{PL_03_K1} \cdot \exp(0,005 \cdot LEI - 184,04 \cdot DME_D) \quad (7.4)$$

Model uzyskany w procesie kalibracji ma bardzo wysoką miarę dobroci ($R_{sk}^2 = 0,95$), a więc charakteryzuje się dużą wiarygodnością.

Prognozę liczby ofiar śmiertelnych F_G w województwie pomorskim na lata 2015 – 2050 opracowano zgodnie z metodyką przyjętą w rozdz. 7.1. Przyjęto pięć scenariuszy funkcjonowania systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego w województwie pomorskim. W tabelicy 7.1 zestawiono charakterystyki poszczególnych scenariuszy oraz zakres lub tempo ich zmian w stosunku do roku 2014. Na rysunku 7.4 przedstawiono prognozowaną liczbę ofiar śmiertelnych F_G do roku 2050, w zależności od różnych scenariuszy S_i rozwoju systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego w województwie pomorskim.

Tablica 7.1

Założona zmienność wybranych czynników w poszczególnych scenariuszach przedstawionych na rys 7.4.

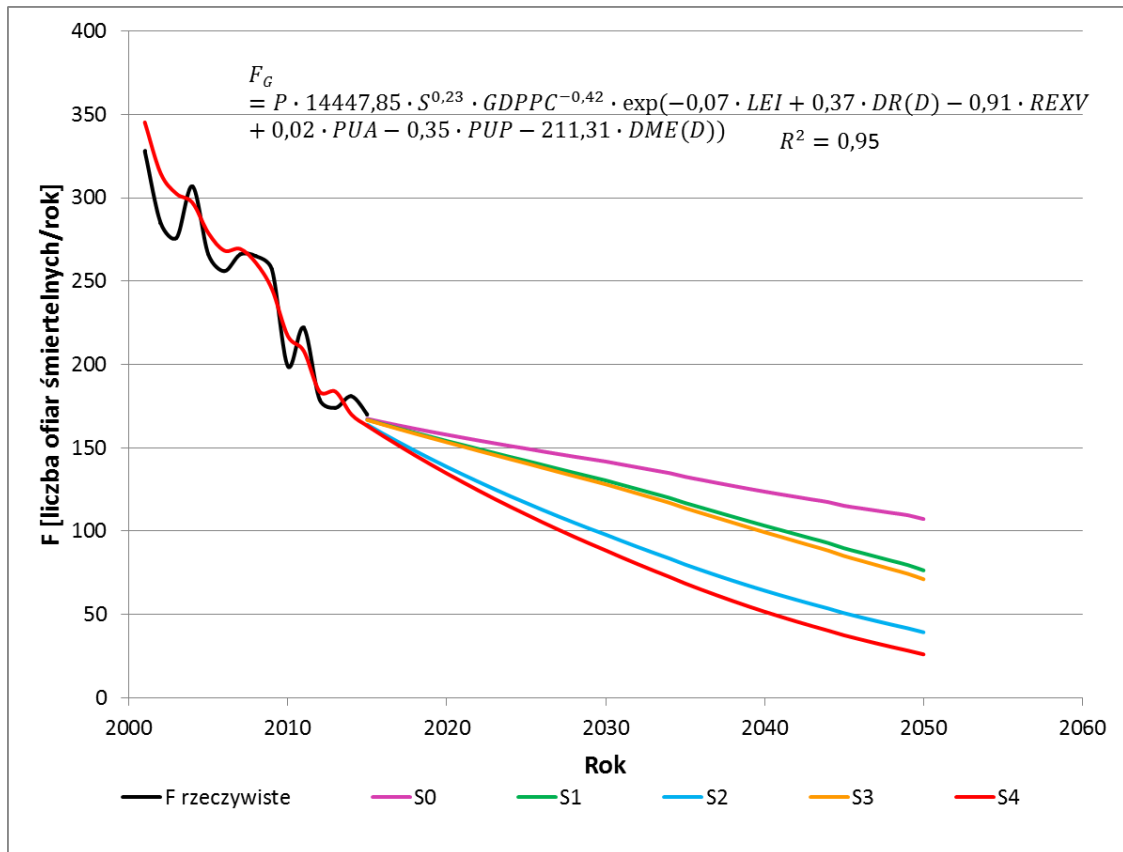
Scenariusz	Zmienna								
	P	S	GDPPC	LEI	DR(D)	REXV	PUA	PUP	DME(D)
S0	wg GUS	stała	+3% +	stała	stała	stała	stała	stała	stała
S1	wg GUS	stała	+3%	stała	stała	+10%	stała	stała	stała
S2	wg GUS	stała	+3%	+0,3%	stała	stała	stała	stała	stała
S3	wg GUS	stała	+3%	stała	stała	stała	stała	stała	+5%
S4	wg GUS	stała	+ 3%	+0,3%	stała	+10%	stała	stała	+5%

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku scenariusza S₀ „brak interwencji”, wszystkie zmienne niezależne poza jednostkowym produktem krajowym brutto GDPPC, którego wzrost założono na poziomie 3% rocznie, pozostałyby na poziomie z roku 2014. W przypadku pozostałych scenariuszy, zmienia się jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC oraz wskazana zmienna w legendzie, a pozostałe zmienne mają wartość z roku 2014. Natomiast w przypadku scenariusza S₄ zastosowano wszystkie proponowane działania jednocześnie. Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że w przypadku analizowanego województwa:

- 1) działania podejmowane na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego w założonych scenariuszach przyczynią się do poprawy poziomu brd, ale niestety żaden z założonych scenariuszy nie pozwoli na uzyskanie założeń Wizji Zero, tj. braku ofiar śmiertelnych i ciężko rannych w roku 2050,
- 2) najgorszym okazał się scenariusz S₀ „brak działań”, powodujący redukcje liczby ofiar śmiertelnych o 37 % w ciągu 35 lat,
- 3) najlepszym okazał się scenariusz S₄, powodujący redukcje liczby ofiar śmiertelnych o 85 % w ciągu 35 lat,
- 4) duży potencjał tkwi w zwiększeniu działań poprawiających standard życia, ratownictwa medycznego i opieki zdrowotnej mieszkańców (scenariusz S₂).

Biorąc powyższe pod uwagę, rekomenduje się dalszy rozwój ratownictwa drogowego i opieki zdrowotnej, rozbudowę sieci dróg ruchu szybkiego, poprawę standardów bezpieczeństwa na drogach wojewódzkich (poprzez zwiększenie nakładów na ich rozbudowę i modernizację) oraz poszukiwanie innych działań, dzięki którym możliwa będzie oczekiwana redukcja liczby ofiar śmiertelnych.

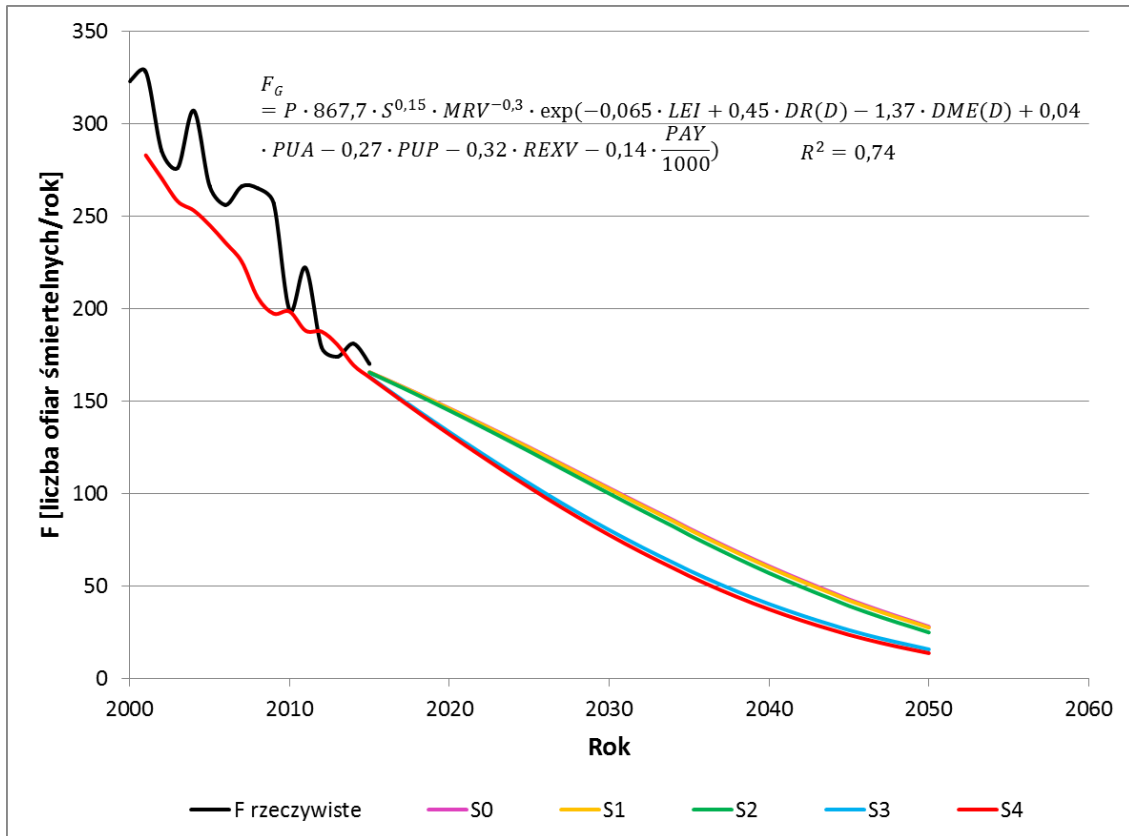


Rys. 7.4 Wykres istniejącej i prognozowanej liczby ofiar śmiertelnych w woj. pomorskim zależności od różnych scenariuszy. Model z parametrem skali GDPPC. Źródło: Opracowanie własne

Podjęto próbę sprawdzenia zastosowania modelu z grupy GM-2 do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w województwie F_G . Do procesu aplikacji wybrano model RFR_PL_11_K1. Okazało się, że w przypadku tego modelu kalibracja polegała jedynie na przemnożeniu całego modelu przez stałą. W rezultacie model prognostyczny wskaźnika RFR_G dla województwa pomorskiego przyjął postać opisaną wzorem 7.5.

$$RFR_G = 0,914 \cdot RFR_{PL_{11}_{K1}} \quad (7.5)$$

Prognozę w zależności od przyjętych scenariuszy przedstawiono na rysunku 7.5, natomiast zmienność zmiennych w kolejnych scenariuszach przedstawiono w tabelicy 7.2. W każdym ze scenariuszy założono wzrost wskaźnika motoryzacji rocznie około 1%, a wynikało to z dotychczasowego trendu zmian tego wskaźnika. W tym podejściu znaczące okazało się zachowanie wzrostu przeciętnej długości życia mieszkańców LEI o 0,3% rocznie. Analizując wyniki stwierdzono, że model ten gorzej odwzorowuje rzeczywiste dane oraz jest mniej wrażliwy na zmiany zastosowanych zmiennych, a zatem nie powinien być stosowany do wyboru interwencji stosowanych w celu zmniejszenia liczby ofiar śmiertelnych w województwie.



Rys. 7.5 Wykres istniejącej i prognozowanej liczby ofiar śmiertelnych w woj. pomorskim w zależności od różnych scenariuszy. Model z parametrem skali MRV.

Źródło: Opracowanie własne

Tablica 7.2

Założona zmienność poszczególnych czynników w poszczególnych scenariuszach przedstawionych na rys. 7.5

Scenariusz	Zmienna									
	P	S	MRV	LEI	DR(D)	REXV	PUA	PUP	DME(D)	PAY
S0	wg GUS	stała	+1% +	stała	stała	stała	stała	stała	stała	stała
S1	wg GUS	stała	+1%	stała	stała	stała	stała	stała	+5%	stała
S2	wg GUS	stała	+1%	stała	stała	+5%	stała	stała	stała	stała
S3	wg GUS	stała	+1%	+0,3%	stała	stała	stała	stała	stała	stała
S4	wg GUS	stała	+1%	+0,3%	stała	+5%	stała	stała	+5%	stała

Źródło: Opracowanie własne

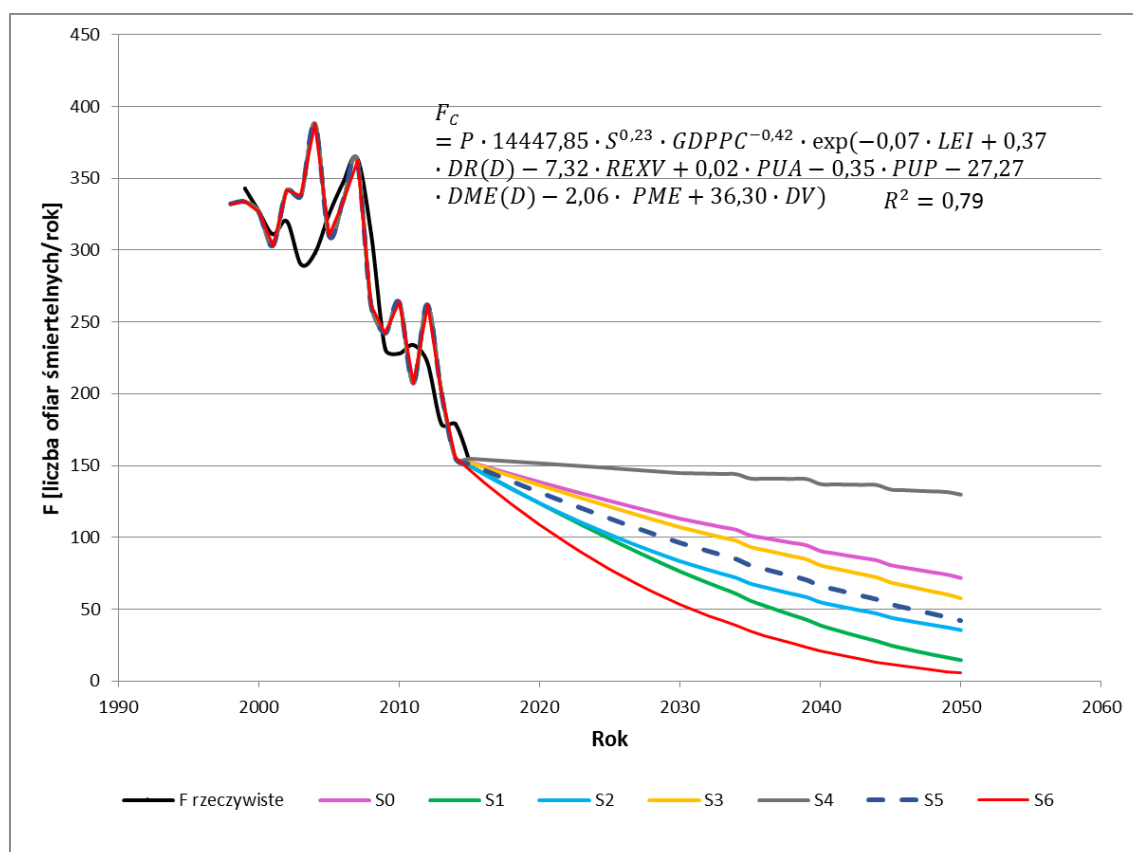
7.3 Województwo kujawsko-pomorskie.

Kolejnym województwem, które zostało analizowane szczegółowo było woj. kujawsko-pomorskie. Zauważono tam w ostatnich latach wyraźną redukcję liczby ofiar śmiertelnych i autorka chciała sprawdzić, czy obliczenia matematyczne potwierdzą tezę, że wpływ na to ma funkcjonowanie autostrady A1. Wykonano kalibrację tego samego modelu RFR_03_K1, jak w przypadku woj. pomorskiego. Opracowany model potwierdził tezę o wpływie autostrad w tym województwie. Okazało się, że poziom bezpieczeństwa na drogach tego województwa zależy dodatkowo od trzech czynników: udziału procentowego autostrad w całkowitej sieci drogowej PME, gęstości pojazdów ogółem DV oraz funduszy przeznaczanych na drogi

województwie REXV). W rezultacie model prognostyczny wskaźnika RFR_C dla województwa kujawsko-pomorskiego przyjął postać opisaną wzorem 7.6.

$$RFR_C = RFR_{PL_03_K1} \cdot \exp(-2,064 \cdot PME - 36,303 \cdot DV - 6,409 \cdot REXV) \quad (7.6)$$

Model ostateczny posiada miarę dobroci 0,79. Prognozę liczby ofiar śmiertelnych F_C w województwie kujawsko-pomorskim na lata 2015 – 2050 opracowano zgodnie z metodyką przyjętą w rozdz. 7.1. Przyjęto siedem scenariuszy funkcjonowania systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego w województwie kujawsko-pomorskim. W tabelicy 7.3 zestawiono charakterystyki poszczególnych scenariuszy oraz zakres lub tempo ich zmian w stosunku do roku 2014. Na rysunku 7.6 przedstawiono prognozowaną liczbę ofiar śmiertelnych F_C do roku 2050, w zależności od różnych scenariuszy S_i rozwoju systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego w województwie kujawsko-pomorskim.



Rys. 7.6 Wykres istniejącej i prognozowanej liczby ofiar śmiertelnych w woj. kujawsko-pomorskim w zależności od różnych scenariuszy. Model z parametrem skali GDPPC.

Źródło: Opracowanie własne

Tablica 7.3

Założona zmienność poszczególnych czynników w poszczególnych scenariuszach przedstawionych na rys. 7.6.

Scenariusz	Zmienna										
	P	S	GDPPC	LEI	DR(D)	REXV	PUA	PUP	DME(D)	PME	DV
S0	wg GUS	stała	+2%	stała	stała	stała	stała	stała	stała	stała	stała
S1	wg GUS	stała	+2%	stała	stała	+5%	stała	stała	stała	stała	stała
S2	wg GUS	stała	+2%	+0,3%	stała	stała	stała	stała	stała	stała	stała
S3	wg GUS	stała	+2%	stała	stała	stała	stała	stała	+5%	stała	stała
S4	wg GUS	stała	+2%	+0,3%	stała	stała	stała	stała	stała	stała	+0,6%
S5	wg GUS	stała	+2%	stała	stała	stała	stała	stała	stała	stała	+0,6%
S6	wg GUS	stała	+2%	+0,3%	stała	+5%	stała	stała	+5%	stała	stała

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku scenariusza S₀ „brak interwencji”, wszystkie zmienne niezależne poza jednostkowym produktem krajowym brutto GDPPC, którego wzrost założono na poziomie 2% rocznie, pozostałyby na poziomie z roku 2014. W przypadku pozostałych scenariuszy, zmienia się jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC oraz wskazana zmienna w legendzie, a pozostałe zmienne mają wartość z roku 2014. Natomiast w przypadku scenariusza S₆ zastosowano wszystkie proponowane działania jednocześnie. Dodatkowo w modelu uwzględniono gęstość pojazdów ogółem DV, która okazała się mieć znaczący wpływ. Przeanalizowano jej dotychczasowy trend zmian i dodano scenariusze zakładające wzrost DV. Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że w przypadku analizowanego województwa:

- 1) działania podejmowane na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego w założonych scenariuszach przyczynią się do poprawy poziomu brd, ale niestety żaden z założonych scenariuszy nie pozwoli na uzyskanie założeń Wizji Zero, tj. braku ofiar śmiertelnych i ciężko rannych w roku 2050,
- 2) najgorszym okazał się scenariusz S₄ „brak działań” przy jednoczesnym wzroście gęstości pojazdów ogółem DV, powodujący redukcje liczby ofiar śmiertelnych o 17 % w ciągu 35 lat,
- 3) najlepszym okazał się scenariusz S₆, powodujący redukcje liczby ofiar śmiertelnych o 86 % w ciągu 35 lat,
- 4) duży potencjał tkwi w zwiększeniu działań poprawiających standard życia, ratownictwa medycznego i opieki zdrowotnej mieszkańców (scenariusz S₂), oraz w zwiększaniu środków przeznaczonych na infrastrukturę (scenariusz S₁).

Biorąc powyższe pod uwagę rekomenduje się dalszy rozwój ratownictwa drogowego i opieki zdrowotnej, rozbudowę sieci dróg ruchu szybkiego, poprawę standardów bezpieczeństwa na drogach wojewódzkich poprzez zwiększenie nakładów na ich rozbudowę i modernizację) oraz poszukiwanie innych działań, dzięki którym możliwa będzie oczekiwana redukcja liczby ofiar śmiertelnych.

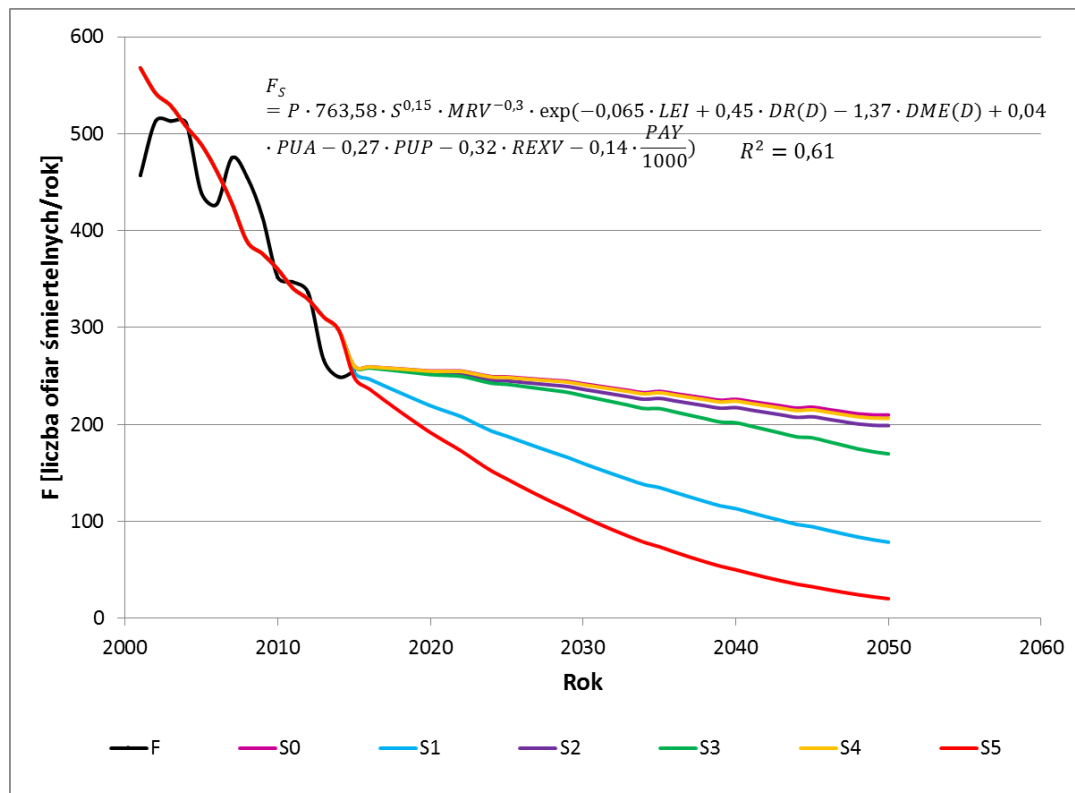
7.4 Województwo śląskie

Województwo śląskie charakteryzuje się dużą gęstością zaludnienia i dużym stopniem urbanizacji. Prawie 80% mieszkańców tego województwa mieszka w miastach, podczas gdy np. w przypadku woj. pomorskiego jest to niecałe 65%, a w woj. kujawsko-pomorskim to niecałe 60%.

Podczas kalibracji modelu RFR_10_K1 okazało się, że żadna z dostępnych danych nie polepsza dopasowania opracowanego modelu na danych z wszystkich województw, dla całej Polski. Kalibracja polegała w tym przypadku na przemnożeniu modelu przez współczynnik liczbowy. W rezultacie model prognostyczny wskaźnika RFR_S dla województwa śląskiego przyjął postać opisaną wzorem 7.7.

$$RFR_S = 0,88 \cdot RFR_{PL_10_K1} \quad (7.7)$$

Model ostateczny posiada miarę dobroci 0,61. Prognozę liczby ofiar śmiertelnych F_S w województwie śląskim na lata 2015 – 2050 opracowano zgodnie z metodyką przyjętą w rozdz. 7.1. Przyjęto sześć scenariuszy funkcjonowania systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego w województwie kujawsko-pomorskim. W tabelicy 7.3 zestawiono charakterystyki poszczególnych scenariuszy oraz zakres lub tempo ich zmian w stosunku do roku 2014. Na rysunku 7.7 przedstawiono prognozowaną liczbę ofiar śmiertelnych F_C do roku 2050, w zależności od różnych scenariuszy S_i rozwoju systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego w województwie śląskim.



Rys. 7.7 Wykres istniejącej i prognozowanej liczby ofiar śmiertelnych w woj. śląskim w zależności od różnych scenariuszy. Model z parametrem skali MRV.

Źródło: Opracowanie własne

Założona zmienność wybranych czynników w poszczególnych scenariuszach przedstawionych na rys. 7.7.

Scenariusz	Zmienna									
	P	S	MRV	LEI	DR(D)	REXV	PUA	PUP	DME(D)	PAY
S0	wg GUS	stała	stała	stała	stała	stała	stała	stała	stała	stała
S1	wg GUS	stała	stała	+0,5%	stała	stała	stała	stała	stała	stała
S2	wg GUS	stała	+0,5%	stała	stała	stała	stała	stała	stała	stała
S3	wg GUS	stała	stała	stała	stała	stała	stała	stała	+5%	stała
S4	wg GUS	stała	stała	stała	stała	+5%	stała	stała	+5%	stała
S5	wg GUS	stała	+0,5%	+0,5%	stała	+5%	stała	stała	+5%	stała

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku scenariusza S₀ „brak interwencji” wszystkie zmienne niezależne pozostałyby na poziomie z roku 2014. W przypadku pozostałych scenariuszy zmieniają się pojedyncze zmienne, a pozostałe zmienne mają wartość z roku 2014. Natomiast w przypadku scenariusza S₅ zastosowano wszystkie proponowane działania jednocześnie. Ponieważ analizy dotychczasowych zmian MRV nie wskazały na jednostajny trend wzrostu, w niniejszych prognozach przyjęto dwie wersje rozwoju motoryzacji: 0,5% rocznie lub brak rozwoju. Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że w przypadku analizowanego województwa:

- 1) działania podejmowane na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego w założonych scenariuszach przyczynią się do poprawy poziomu brd, ale niestety żaden z założonych scenariuszy nie pozwoli na uzyskanie założeń Wizji Zero, tj. braku ofiar śmiertelnych i ciężko rannych w roku 2050,
- 2) najgorszym okazał się scenariusz S₀ „brak działań” przy jednoczesnym wzroście gęstości pojazdów ogółem DV, powodujący redukcje liczby ofiar śmiertelnych o 29 % w ciągu 35 lat,
- 3) najlepszym okazał się scenariusz S₅, powodujący redukcje liczby ofiar śmiertelnych o 93 % w ciągu 35 lat,
- 4) duży potencjał tkwi w zwiększeniu działań poprawiających standard życia, ratownictwa medycznego i opieki zdrowotnej mieszkańców (scenariusz S1).

Biorąc powyższe pod uwagę rekomenduje się dalszy rozwój ratownictwa drogowego i opieki zdrowotnej oraz poszukiwanie innych działań, dzięki którym możliwa będzie oczekiwana redukcja liczby ofiar śmiertelnych.

7.5 Województwo mazowieckie

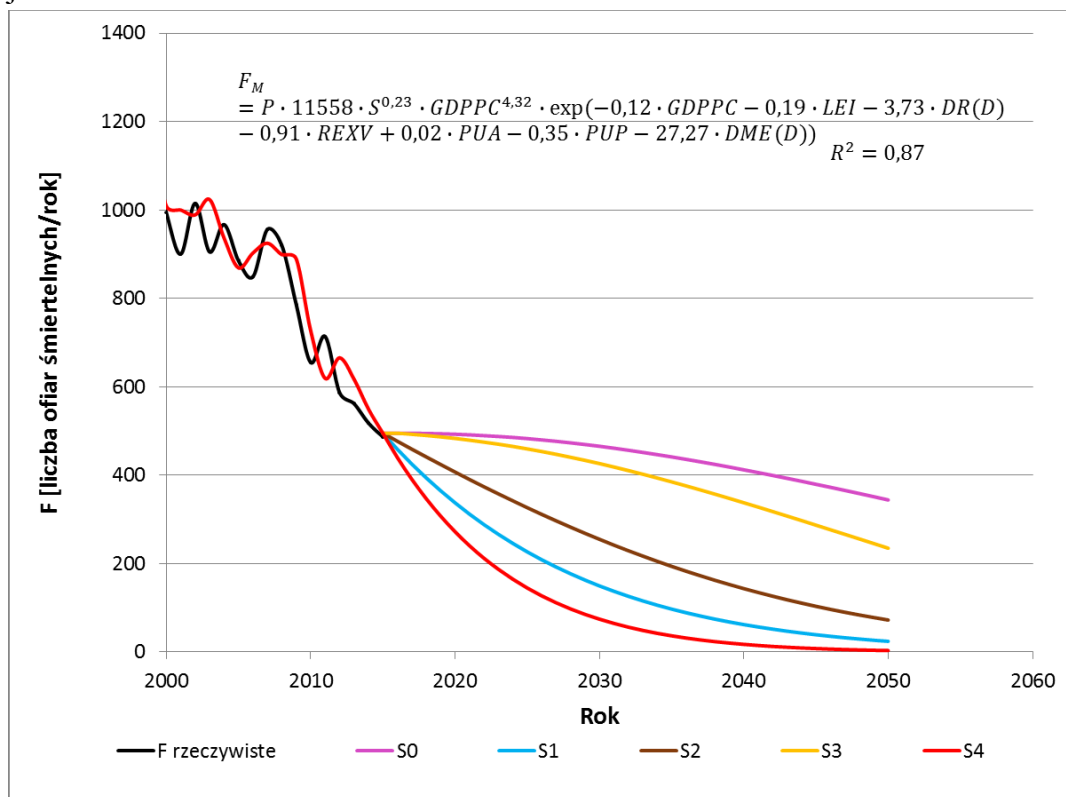
Województwo mazowieckie jest największym województwem w Polsce. Jest również województwem stołecznym. Wiele mieszkańców (szczególnie dotyczy to aglomeracji warszawskiej) jest zameldowanych w innym województwie. Podczas analiz wstępnych okazało się, że gdy we wszystkich województwach można zauważyć tendencję malejącą liczby ofiar śmiertelnych w czasie, to w przypadku woj. mazowieckiego tendencja ta nie jest taka oczywista.

Podczas procesu kalibracji modelu RFR_PL_03_K1 okazało się, że w przypadku tego województwa można wyznaczyć pewne ekstremum, po przekroczeniu którego liczba ofiar śmiertelnych zacznie się zmniejszać w kolejnych latach. Dlatego też w przypadku tego

województwa model potrzebował większej modyfikacji. W rezultacie model prognostyczny wskaźnika RFR_M dla województwa mazowieckiego przyjął postać opisaną wzorem 7.8.

$$RFR_M = RFR_{PL_03_K1} \cdot 0,8 \cdot GDPPC^{4,739} \exp(-0,109 \cdot LEI - 4,102 \cdot DR(D) - 0,124 \cdot GDPPC) \quad (7.8)$$

Uzyskany model ma miarę dobroci równą 0,87. Prognozę liczby ofiar śmiertelnych F_w w województwie mazowieckim na lata 2015 – 2050 opracowano zgodnie z metodyką przyjętą w rozdz. 7.1. Przyjęto pięć scenariuszy funkcjonowania systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego w województwie mazowieckim. W tabelicy 7.5 zestawiono charakterystyki poszczególnych scenariuszy oraz zakres lub tempo ich zmian w stosunku do roku 2014. Na rysunku 7.8 przedstawiono prognozowaną liczbę ofiar śmiertelnych F_w do roku 2050, w zależności od różnych scenariuszy S_i rozwoju systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego w województwie mazowieckim.



Rys. 7.8 Wykres istniejącej i prognozowanej liczby ofiar śmiertelnych w woj. mazowieckim w zależności od różnych scenariuszy.

Tablica 7.5

Założona zmienność danych czynników w poszczególnych scenariuszach przedstawionych na rys. 7.8

Scenariusz	Zmienna								
	P	S	GDPPC	LEI	DR(D)	REXV	PUA	PUP	DME(D)
S0	wg GUS	stała	+1%	stała	stała	stała	stała	stała	stała
S1	wg GUS	stała	+1%	+0,4%	stała	stała	stała	stała	stała
S2	wg GUS	stała	+1%	stała	+1%	stała	stała	stała	stała
S3	wg GUS	stała	+1%	stała	stała	stała	stała	stała	+5%
S4	wg GUS	stała	+1%	+0,4%	+1%	stała	stała	stała	+5%

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku scenariusza S_0 „brak interwencji” wszystkie zmienne niezależne poza jednostkowym produktem krajowym brutto GDPCC, którego wzrost założono na poziomie 1% rocznie, pozostałyby na poziomie z roku 2014. W przypadku pozostałych scenariuszy, zmienia się jednostkowy produkt krajowy brutto GDPPC oraz wskazana zmienna w legendzie, a pozostałe zmienne mają wartość z roku 2014. Natomiast w przypadku scenariusza S_6 zastosowano wszystkie proponowane działania jednocześnie. Dodatkowo w modelu uwzględniono gęstość pojazdów ogółem DV, która okazała się mieć znaczący wpływ. Przeanalizowano jej dotychczasowy trend zmian i dodano scenariusze zakładający wzrost DV. Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że w przypadku analizowanego województwa:

- 1) działania podejmowane na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego w założonych scenariuszach przyczynią się do poprawy poziomu brd, ale niestety żaden z założonych scenariuszy nie pozwoli na uzyskanie założeń Wizji Zero, tj. braku ofiar śmiertelnych i ciężko rannych w roku 2050,
- 2) najgorszym okazał się scenariusz S_0 „brak działań”, powodujący redukcje liczby ofiar śmiertelnych o 46 % w ciągu 35 lat,
- 3) najlepszym okazał się scenariusz S_5 , powodujący redukcje liczby ofiar śmiertelnych o 99 % w ciągu 35 lat,
- 4) duży potencjał tkwi w zwiększeniu działań poprawiających standard życia, ratownictwa medycznego i opieki zdrowotnej mieszkańców (scenariusz S_1), oraz we zwiększaniu gęstości dróg (scenariusz S_2).

Biorąc powyższe pod uwagę rekomenduje się dalszy rozwój ratownictwa drogowego i opieki zdrowotnej, oraz poszukiwanie innych działań dzięki, którym możliwa będzie oczekiwana redukcja liczby ofiar śmiertelnych. Po raz pierwszy w stworzonych modelach gęstość demograficzna dróg ogółem $DR_{(D)}$ okazała się zmniejszać poziom ryzyka na sieci dróg w regionie, co jest zaskakujące. Należy sprawdzić, czy nie kryją się pod tą zmienną inne czynniki nie uwzględnione w modelu.

7.6 Podsumowanie

Przeprowadzone badania i analizy możliwości zastosowania opracowanych modeli ryzyka do zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego w wybranych województwach, pozwoliły na sprecyzowanie następujących wniosków:

1. Do szacowania liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w województwie Fw zaproponowano metodę bazującą na wieloelementowym modelu, którego podstawowymi elementami są: liczba mieszkańców w województwie P_w , bazowy model wskaźnika śmiertelności w wypadkach drogowych RFR_{PL} skonstruowany z uwzględnieniem czynników (zmiennych niezależnych) z wszystkich województw i współczynnik MF_w modyfikujący model bazowy warunków analizowanego województwa.
2. Aplikacja opracowanej metody do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w wybranych województwach, dała dobre rezultaty po przeprowadzeniu kalibracji modelu bazowego do specyficznych warunków lokalnych. Uzyskano bardzo wysokie współczynniki dopasowania modeli do danych rzeczywistych.
3. Zaproponowana metoda szacowania liczby ofiar śmiertelnych w regionach, sprawdzona na przykładzie czterech województw, umożliwia ocenę proponowanych scenariuszy

- działań w województwie, proponowanych w ramach tworzenia programów strategicznych poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego na poziomie regionalnym.
4. Przeprowadzone analizy z zastosowaniem zaproponowanej metody prognozowania liczby ofiar śmiertelnych wykazały duży potencjał redukcji tychże ofiar w każdym województwie. Możliwe jest nakierowanie na bardziej skuteczne działania, przykładowo: w województwie pomorskim – poprawa opieki medycznej i ratownictwa, zwiększenie inwestycji na drogach wojewódzkich oraz budowa jak największej sieci dróg ekspresowych i autostrad, w województwie mazowieckim – poza wymienionymi powyżej, również budowa dróg.
 5. Przeprowadzone analizy wskazują także, że opracowane modele nie uwzględniają wielu czynników wpływających (ak udowodniły badania przeprowadzone dla stanów AP) na zmiany wskaźnika śmiertelności RFR. Takimi brakującymi danymi są: ilość przejechanych kilometrów na całej sieci dróg w poszczególnych regionach, czy jednostkowy dochód narodowy.
 6. Niedawno udostępniona zmienna o ilości środków przeznaczanych na budowę, modernizację i utrzymanie dróg wojewódzkich okazała się zmienną wyjaśniającą duży procent zmian poziomu bezpieczeństwa na sieci dróg w regionie. Niestety w przypadku pozostałych kategorii dróg tego rodzaju dane nie były dostępne na etapie prac nad dysertacją, a mogłoby to pomóc stworzyć modele lepiej opisujące systemowe podejście do infrastruktury.
 7. Zarządzanie, to również wpływanie na zachowania użytkowników dróg. Niestety dane o np. udziale kierowców przekraczających dozwolone prędkości czy zapinaniu pasów nie są udostępniane w żadnej bazie. Jak pokazały modele stworzone na podstawie danych z badań pilotażowych (niestety brak jest kontynuacji tychże badań), są to zmienne wysoce różnicujące poszczególne województwa i pozwalające stworzyć modele o wysokim dopasowaniu.
 8. Opracowane modele na danych wojewódzkich wymagają dalszych analiz, gdyż część zmiennych okazała się mieć wpływ niezgodny z wiedzą inżynierską. Być może są one zbyt sprzężone z innymi występującymi w modelu i zastosowanie ich w modelu daje wątpliwe wnioski.
 9. Generalnie należy stwierdzić, że w celu stworzenia modelu uwzględniającego różne elementy zarządzania brd w danym województwie. Do kalibracji powinna zostać stworzona baza obejmująca jak najbardziej szczegółowe dane o działaniach prowadzonych na drogach przez zarządy, ale również policję czy inspekcję transportu drogowego. W bazie powinny znaleźć się również dane o systemie reagowania na wypadki i ratownictwie. Obecnie nie ma danych np. o średnim czasie dowozu poszkodowanego w wypadku drogowym do szpitala, a na przykładzie danych amerykańskich widać, że mimo istniejących standardów potrafią być duże różnice pomiędzy regionami. Podobnie brak danych o liczbie zatrzymanych kierowców pod wpływem alkoholu, środków aktywnych czy rozmawiających przez telefon w czasie kierowania pojazdem. Dopiero znormalizowane i regularne badanie zachowań pozwoli na działania nacelowane na konkretny problem. Dane z tych badań muszą być ogólnie dostępne, by można było je wykorzystać do kalibracji modeli i wiarygodnego prognozowania.

8 WNIOSKI I KIERUNKI DALSZYCH PRAC

8.1 Wnioski

Wyniki przeprowadzonych studiów, badań i analiz w sposób pozytywny odpowiadają na postawione na wstępie pytania i upoważniają do postawienia następujących wniosków:

1. Zmiana podziału administracyjnego kraju w 1999 roku spowodowała konieczność przygotowania nowych programów bezpieczeństwa ruchu drogowego na poziomie krajowym i przede wszystkim regionalnym, gdyż powstały nowe województwa i powiaty. Pojawiło się wiele trudności przy ocenie stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego i określeniu trendów zmian miar bezpieczeństwa ruchu drogowego o nowych województwach i powiatach. Przystępując do opracowywania wojewódzkich programów brd brakowało wielu narzędzi, których opracowanie wymagało wsparcia naukowego, takich jak metody długoterminowego prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w województwach, metody oceny efektywności proponowanych działań, metody wyboru skutecznych działań, metody monitorowania wdrażanych działań.
2. Bazując na zidentyfikowanych oczekiwaniach i potrzebach regionalnych rad bezpieczeństwa ruchu drogowego, władz samorządowych, instytucji i organizacji społecznych w wielu regionach w kraju i zagranicą; wynikach studiów literatury i wstępnych prac własnych; rozpoznania doświadczeń krajowych i zagranicznych wskazujące na braki dostępnych metod prognozowania wybranych miar ryzyka na sieci dróg w regionach administracyjnych; a także wykorzystując możliwości dostępu do baz danych zawierających zbiory niezbędnych informacji o regionach udało się w ramach niniejszej pracy przygotować podstawy teoretyczne i opracować praktyczne metody prognozowania miar bezpieczeństwa ruchu drogowego jako jednego z narzędzi do zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego na sieci dróg w regionach administracyjnych (stanach AP, regionach EU i województwach PL).
3. Szerokie rozpoznanie problemu pozwoliło na sformułowanie naukowego celu i praktycznych celów pracy. Główny cel prezentowanej pracy doktorskiej tj. opracowanie użytecznych modeli szacowania wybranych miar bezpieczeństwa ruchu drogowego na sieci drogowej województw z wykorzystaniem metodyki opartej na zarządzaniu ryzykiem w inżynierii drogowej, osiągnięto poprzez realizację szczegółowych celów trzech naukowych i trzech praktycznych.
4. Przyjęte cele naukowe i praktyczne udowodniono w trakcie realizacji procesu badawczego składającego się z sześciu etapów: studiów literatury, charakterystyki i analizy obiektu badań, koncepcji budowy modeli matematycznych, modelowanie miar ryzyka na sieci dróg w regionach, badania wpływu wybranych czynników na zmiany względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w regionach oraz zastosowanie modeli miar ryzyka do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych na sieci dróg w wybranych województwach.
5. Włączenie do analiz dużej grupy regionów z USA i Europy (stany AP, regiony EU i województwa PL) o znacznie zróżnicowanych charakterystykach pozwoliło na utworzenie baz danych obejmujących wiele zmiennych niezależnych charakteryzujących te regiony. W wyniku analiz charakterystyk tych regionów

stwierdzono, że nie można łączyć zbiorów danych dla stanów AP i pozostałych zbiorów. Musiały być one analizowane niezależnie od regionów EU i województw PL. Natomiast wśród regionów EU wyróżniono dwie grupy regionów o nieco innych charakterystykach (rozwinięte i rozwijające się) co wzięto pod uwagę przy budowie modeli miar ryzyka.

6. Przeprowadzone studia literatury wykazały, że na poziom społecznego ryzyka strategicznego mierzonego najczęściej liczbą ofiar śmiertelnych F lub względnym wskaźnikiem ofiar śmiertelnych śmiertelności demograficznej RFR wpływa wiele czynników. Wstępnie zidentyfikowano kilkadziesiąt zmiennych niezależnych, które mają wpływ na wielkość i poziom zmian wybranych miar ryzyka. Podzielono je na kilka grup wyróżniając zmienne: demograficzne, geograficzne, motoryzacyjne, ruchowe, infrastrukturalne, ekonomiczne i społeczne.
7. Stworzenie uniwersalnych modeli wybranych miar społecznego ryzyka strategicznego, bazujących na wspólnej bazie dla wszystkich regionów okazało się zbyt trudne ze względu na wcześniej wykazane różnorodności tych baz. Modele zbudowane na bazie stanów AP nie mogły być aplikowane w regionach EU z uwagi na duże braki zmiennych niezależnych w bazie europejskiej w stosunku do bazy amerykańskiej. Podobne trudności występowały przy próbach adaptacji modeli miar ryzyka opracowanych dla regionów EU dla województw w Polsce. Dlatego opracowano wydzieloną grupę modeli dla województw PL.
8. W trakcie prowadzenia prac badawczych i analitycznych stosowano różne podejścia do konstruowania modeli wybranych miar ryzyka. Stosowano modele jedno i wielopoziomowe (hierarchiczne). Stworzono modele jedno i wieloczynnikowe, stosowano modele jedno i wieloelementowe (z funkcją bazową i współczynnikami korekcyjnymi), z zastosowaniem metody regresji nieliniowej, analizy skupień i zbiorów rozmytych. Z tych wielu podejść jako najbardziej obiecujące rekomenduje się do konstruowania modeli społecznego ryzyka strategicznego podejście uwzględniające wieloelementowe i wieloczynnikowe modele hierarchiczne budowane z wykorzystaniem analizy regresji nieliniowej.
9. W metodyce wykorzystującej zastosowanie analizy regresji nieliniowej ważne są postać funkcji wiążącej i przyjęte miary dopasowania tej funkcji do danych rzeczywistych. Z pośród wielu analizowanych funkcji wiążących analizowane miary ryzyka ze zmiennymi niezależnymi najbardziej przydatnymi okazały: Kuzneta i potęgowo-wykładnicza, a także w niektórych przypadkach funkcje: logarytmiczna, potęgowa i wykładnicza. Najlepszą miarą dopasowania okazały się: skorygowany współczynnik determinacji oraz średni błąd kwadratowy. Istotnym uwarunkowaniem konstruowania takich modeli jest przyjęcie i stosowanie odpowiedniej procedury walidacji, weryfikacji i kalibracji tychże modeli.
10. Modele strategicznego ryzyka społecznego należą do grupy makro modeli, zatem cechują się dużym poziomem uproszczeń. Do konstruowania modeli liczby ofiar śmiertelnych jako ogólnej miary społecznego ryzyka strategicznego F w regionach założono trzy struktury modeli. Najlepsze rezultaty uzyskano dla dwuelementowego modelu wieloczynnikowego (model grupy F^C), realizującego podejście bazujące na ryzyku, jako iloczyn narażenia na ryzyko (reprezentowanego przez liczbę

mieszkańców regionu P) i poziomu prawdopodobieństwa bycia ofiarą śmiertelną w wypadkach drogowych (reprezentowana przez wskaźnik śmiertelności demograficznej RFR).

11. Do konstruowania modeli względnego wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych jako unormowanej miary społecznego ryzyka strategicznego RFR w regionach założono cztery struktury modeli. Najlepsze rezultaty uzyskano dwóch grup modeli: hierarchicznych modeli uwzględniających zmienne niezależne regionalne i krajowe (model grupy RFR^D) oraz regresyjne modele stworzone na danych regionalnych z wszystkich regionów (model grupy RFR^B).
12. Opracowywane modele uzależniają zmiany wielkości miar ryzyka głównie od poziomu rozwoju społeczno – ekonomicznego regionu, którego miary powinny stanowić parametry skali rozwoju. Z analizowanych kandydatów najlepszym parametrem skali rozwoju okazał się jednostkowy produkt krajowy brutto (GDPPC).
13. Z wielu analizowanych zmiennych niezależnych największy wpływ na zamianę modelowanego wskaźnika śmiertelności demograficznej RFR okazały się zmienne reprezentujące: poziomu rozwoju społecznego, ekonomicznego, rozwoju motoryzacji i kultury bezpieczeństwa ruchu drogowego, rozwoju sieci drogowej czy charakteru zagospodarowania danego regionu. W szczególności zaś najbardziej istotnymi okazały się następujące czynniki:
 - a) dla stanów AP: długość drogi przebytej pojazdami w przeliczeniu na mieszkańca VKTPC, dochód narodowy na mieszkańca INPC, jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca GDPPC, gęstość zaludnienia DP, gęstość pojazdów ogółem DV, gęstość demograficzna dróg twardych $DPR_{(D)}$, wskaźnik lekarzy na 10 tys. mieszkańców RD;
 - b) dla regionów UE: , jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca GDPPC, gęstość zaludnienia DP, wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia LEI, gęstość demograficzna dróg ogółem $DR_{(D)}$, gęstość pojazdów ogółem DV, udział gruntów ornych UGR;
 - c) dla województw PL: udział kierowców przekraczających dozwoloną prędkość na wszystkich drogach S4, stopień stosowania pasów bezpieczeństwa USB, wskaźnik konsumpcji alkoholu ACPC, jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca GDPPC, wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia LEI, udział gruntów zabudowanych i zurbanizowanych w powierzchni ogółem PUA, udział ludności mieszkającej w miastach PUP, wydatki na drogi wojewódzkie REXV, gęstość demograficzna autostrad i dróg ekspresowych $DME_{(D)}$.
14. Zaproponowane modele wybranych miar społecznego ryzyka strategicznego w regionach wnoszą do nauki i praktyki elementy nowości i oryginalności, do których zaliczyć należy:
 - a) objęcie analizą trzech różniących się między sobą grup regionów: o stanach Ameryki Północnej, regionów Europy i województw Polski i podjęcie próby stworzenia uniwersalnych modeli wybranych miar ryzyka dla wszystkich regionów Ameryki Północnej czy wielu krajów Europy w jednym zbiorze,
 - b) zastosowanie modeli hierarchicznych obejmujących dane krajowe i regionalne, do konstruowania modeli miar ryzyka,

- c) zastosowanie nowych narzędzi matematycznych: analiza skupień, zbiory rozmyte do konstruowania tego rodzaju modeli,
 - d) zastosowanie podejścia bazującego na ryzyku do konstruowania dwu elementowych modeli miar ryzyka jako iloczynu narażenia na ryzyko bycia ofiarą śmiertelną przez liczbę mieszkańców regionu,
 - e) opracowanie zbioru modeli względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR uwzględniających szerokie zbiory zmiennych niezależnych charakteryzujących poszczególne grupy regionów.
15. Skonstruowane modele względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR wykorzystano do opracowania metody szacowania liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w województwie F_w. Zaproponowano metodę bazującą na wieloelementowym modelu, którego podstawowymi elementami są: liczba mieszkańców w województwie P_w, bazowy model wskaźnika śmiertelności w wypadkach drogowych RFR_{PL} skonstruowany z uwzględnieniem czynników (zmiennych niezależnych) z wszystkich województw i współczynnik MF_w modyfikujący model bazowy warunków analizowanego województwa. Aplikacja opracowanej metody do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w wybranych województwach, dała dobre rezultaty po przeprowadzeniu kalibracji modelu bazowego do specyficznych warunków lokalnych. Uzyskano bardzo wysokie współczynniki dopasowania modeli do danych rzeczywistych.
16. Zaproponowana metoda szacowania liczby ofiar śmiertelnych w regionach, sprawdzona na przykładzie czterech województw, umożliwia:
- a. ocenę proponowanych scenariuszy działań w województwie, proponowanych w ramach tworzenia programów strategicznych poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego na poziomie regionalnym,
 - b. wskazanie najbardziej skutecznych działań zawierających duży potencjał redukcji tychże ofiar w każdym województwie, na przykład w: w województwie pomorskim – poprawa opieki medycznej i ratownictwa, zwiększenie inwestycji na drogach wojewódzkich oraz budowa jak największej sieci dróg ekspresowych i autostrad, a w województwie mazowieckim – poza wymienionymi powyżej, również budowa dróg,
 - c. skuteczniejsze zarządzanie bezpieczeństwem ruchu w regionach.

8.2 Ograniczenia i kierunki dalszych prac

Przedstawione w pracy metody, metodyki i wyniki badań nie wyczerpują problematyki zarządzania ryzykiem strategicznym w regionach. Dlatego konieczne jest kontynuowanie rozpoczętych prac, ze zwróceniem uwagi na wymienione niżej aspekty::

1. Możliwości wykorzystania zaproponowanych modeli do zarządzania bezpieczeństwem ruchu w regionach wymaga uwzględnia różnych elementów zarządzania brd w danym województwie. Do kalibracji powinna zostać stworzona baza obejmująca jak najbardziej szczegółowe dane o działaniach prowadzonych na drogach przez zarządy, ale również policję czy inspekcję transportu drogowego. W bazie powinny znaleźć się również dane



o systemie reagowania na wypadki i ratownictwie. Obecnie nie ma danych np. o średnim czasie dowozu poszkodowanego w wypadku drogowym do szpitala, a na przykładzie danych amerykańskich widać, że mimo istniejących standardów potrafią być duże różnice pomiędzy regionami. Podobnie brak danych o liczbie zatrzymanych kierowców pod wpływem alkoholu, środków aktywnych czy rozmawiających przez telefon w czasie kierowania pojazdem. Dopiero znormalizowane i regularne badanie zachowań pozwoli na działania nacelowane na konkretny problem. Dane z tych badań powinny być ogólnie dostępne, by można było je wykorzystać do kalibracji modeli i wiarygodnego prognozowania.

2. Podczas konstruowania modeli miar ryzyka okazało się, że występują trudności w aplikacji modeli zbudowanych na danych dla regionów EU na dane z województw PL. Ponadto w przypadku chęci zastosowania modeli opracowanych na danych ze wszystkich województw do prognozowania liczby ofiar śmiertelnych w konkretnym województwie konieczna była kalibracja modelu do danych z tego województwa. Konieczne jest kontynuowanie prac nad rozwojem zaproponowanych modeli miar ryzyka poświęcając więcej uwagi modelom hierarchicznym.
3. Z uwagi na wprowadzone w 1999 roku zmiany administracyjne w Polsce, 49 województw przekształcono w 16 województw. Ograniczyło to poważnie zbiór danych i trudno było zaobserwować zmiany w czasie. Dlatego zdecydowano się zbudować model hierarchiczny uwzględniający zmienne krajowe i regionalne. Wstępne wyniki takiego modelowania dały obiecujące rezultaty, dlatego należy rozwijać także modele prognozowania zmiennych niezależnych znajdujących się w modelu.
4. Analizy poziomu bezpieczeństwa na sieci dróg w stanach AP pozwoliły na identyfikację zmiennych w dużym stopniu wyjaśniających modelowaną miarę ryzyka. Były to między innymi długość drogi przebytej pojazdami na sieci dróg danego regionu, dochód narodowy na mieszkańca czy średni czas dowozu poszkodowanego w wypadku do szpitala mówiący o poziomie ratownictwa w danym stanie. Niestety są to charakterystyki niedostępne w ogólnodostępnych bazach dotyczących danych wojewódzkich. Podobnie jak nie udało się w modelach uwzględnić (poza modelami z wykorzystaniem danych z badań pilotażowych) czynników uwzględniających zachowania użytkowników, czy nadzór służb typu policja czy inspekcja transportu drogowego. Podczas pracy badawczej wielokrotnie autorka spotkała się z odmową udostępnienia pewnych informacji publicznych. Albo też nie można było ustalić miejsca, gdzie rzekomo regularnie zbierane dane się znajdują i kto może je przekazać.
5. Dalsze prace badawcze powinny uwzględniać próby zastosowania opracowanych modeli na regionach na niższym poziomie administracyjnym, np. powiatów. Jednocześnie planuje się rozpowszechnić wnioski z badań w instytucjach zaangażowanych w zarządzanie, by dane przez niebierane były w uporządkowany sposób i obowiązkowo udostępnione publicznie.

Literatura

- [1] Abdel-Aty M.A., Radwan A.E., *Developing crash predictive models for a principal arterial*, Traffic Safety on Two Continents, 2000: pp. 177–194.
- [2] ADAMS J., *SMEED'S LAW: SOME FURTHER THOUGHTS*, Traffic Eng. Control. 28 (1987) 70–73.
- [3] Anbari N., Al. E., *Traffic fatalities and public sector corruption*, KYKLOS. 59 (2006) 327–444.
- [4] Andreassen D.C., *Linking deaths with vehicles and populatio*, Traffic Eng. Control. 26 (1985) 547–549.
- [5] Andrews R.L., *Cluster Analysis*, 2005.
- [6] Assmusseb E., Krankenburg A., *An Analysis of the traffic phenomenon*, SVOW, 1982.
- [7] Baker S., et al., *Geographic variations in mortality from motor vehicle crashes*, N Engl J Med. 316 (1987) 1384–1387.
- [8] Bebyn G., *Metoda szacowania zdarzeń drogowych na sieci dróg miejskich*, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, 2004.
- [9] Beeck, E., Mackenbach, J. P., Looman, C. W., & Kunst A.E., *Determinants of Traffic Accident Mortality in the Netherlands: A Geographical Analysis.*, Int. J. Epidemiol. 20 (1991) 698–706.
- [10] Beeck E.F., et al., *Economic development and traffic accident mortality in the industrialized world, 1962-1990*, J. Epidemiol. 29 (2000) 503–509.
- [11] Bergel-Hayat R., Français I., Zukowska J., *Road Safety Trends at National Level in Europe : A Review of Time-series Analysis Performed during the Period*, (2015).
- [12] Bergel-Hayat R., Żukowska J., *Time-series Analysis of Road Safety Trends Aggregated at National Level in Europe for 2000-2010*, Gdańsk University of Technology Publishing House, 2015.
- [13] Bester C.J., *Explaining national road fatalities*, Accid. Anal. Prev. 33 (2001) 663–672.
- [14] Bhalla K., Ezzati M., et al., *A Risk-Based Method for Modelling Traffic Fatalities*, Risk Anal. 27 (2007) 125–136.
- [15] Bijleveld F., Commandeur J., et al., *Model-based measurement of latent risk in time series.*, SWOV Institute, Netherlands, 2005.
- [16] Bishai D., et al., *National road casualties and economic development.*, Health Econ. 15 (2006) 65–81.
- [17] Bliss T., *Implementing the Recommendations of The World Report on Road Traffic Injury Prevention. Transport Note No. TN-1*, Washington DC, 2004.
- [18] Blum U., Gaudry M., *The SNUS-2.5 Model for Germany*, Structural Road Accident Models: The International DRAG Family, Elsevier Science, Oxford, 2000: pp. 67–96.
- [19] Broughton J., *Predictive models of road accident fatalities*, Traffic Eng. Control. 29 (1988) 296–300.
- [20] Broughton J., *Forecasting road accident casualties in Great Britain.*, Accid. Anal. Prev. 23 (1991) 353–362.
- [21] Budzyński M., *Cechy dróg zamiejskich a zagrożenie zdrowia i życia ich użytkowników.*, Politechnika Gdańska, 2005.
- [22] Budzyński M., *Miejski Program BRD „GAMBIT Olsztyński*, 2006.
- [23] Budzyński M., Jamroz K., *Strategia zmniejszania liczby i skutków wypadnięcia pojazdu z drogi.*, Drogownictwo. 4–5 (2009) 150–157.
- [24] Budzyński M., Jamroz K., Żukowska J., Gaca S., Kustra W., Oskarbski J., *Bezpieczeństwo transportu drogowego.*, Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu W Polsce (Tom I Rozdział 2), 2010.
- [25] Chen G., *Speed and safety effect of photo radar enforcement on a highway corridor in British Columbia.*, Accid. Anal. Prev. 34 (2002) 129–138.
- [26] Cheng C.H., *A new approach for ranking by distance method*, Fuzzy Sets Syst. 95 (1998) 307–317.
- [27] Chruzik K., Jamroz K., Kadziński A., Szymanek A., Gucma L., *Rozwój i integracja systemu bezpieczeństwa transportu drogowego. Koncepcja metody zarządzania ryzykiem w transporcie.*, Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu W Polsce (Tom III Rozdział 4), 2010.

- [28] Clark D., Cushing B., *Predicting regional variations in mortality from motor vehicle crashes*, Acad Emerg Med. 6 (1999) 125–130.
- [29] Clark D.E., *Effect of population density on mortality after motor vehicle collisions*, Accid. Anal. Prev. 35 (2003) 965–971.
- [30] Clark R.B., Lewinski M.A., Loeffelholz M.J., Tibbetts R.J., *Verification and Validation of Procedures in the Clinical Microbiology Laboratory*, Coordinating ed., S. E. Sharp. ASM Press, Washington, DC., 2009.
- [31] Clark DE, BM C., Clark D., Cushing B., *Rural and urban traffic fatalities, vehicle miles, and population density.*, Accid. Anal. Prev. 36 (2004) 967–972.
- [32] Commandeur J., Lassarre S., *Models of road safety developments*, (n.d.).
- [33] Commandeur J., Reurings M., *International orientation on methodologies for modelling developments in road safety*, SWOV Institute for Road Safety Research, 2006.
- [34] Commandeur J.J.F., Bijleveld F.D., Bergel-Hayat R., Antoniou C., Yannis G., Papadimitriou E., *On statistical inference in time series analysis of the evolution of road safety.*, Accid. Anal. Prev. (2012) 1–11.
- [35] Davis G., Swenson T., *Identification and Simulation of a Common Freeway Accident Mechanism: Collective Responsibility in Freeway Rear-end Collisions*, Department of Civil Engineering University of Minnesota, Minnesota, 2003.
- [36] Deboosere P., Gadeyne S., *Can regional patterns of mortality in Belgium be explained by individual socio-economic characteristics?*, Reflets Perspect. La Vie Économique. 4 (2002) 87–103.
- [37] Dee T.S., *Reconsidering the effects of seat belt laws and their enforcement status.*, Accid. Anal. Prev. 30 (1998) 1–10.
- [38] Derrig R.A., et al., *The effect of population safety belt usage rates on motor vehicle-related fatalities*, Accid. Anal. Prev. 34 (2002) 101–110.
- [39] Douglas J.Y., Likens T.W., *Alcohol Regulation and Auto Fatalities*, Int. Rev. Law Econ. 20 (2000) 107–126.
- [40] Eisen M., *Cluster 3.0 Manual*, (1999).
- [41] Eksler V., *Measuring and understanding road safety performance at local territorial level*, Saf. Sci. 48 (2010) 1197–1202.
- [42] Eksler V., Lassarre S., *Evolution of road disparities at small-scale level: Example of Belgium*, J. Safety Res. 39 (2008) 417–427.
- [43] Eksler V., Lassarre S., Thomas I., *Regional analysis of road mortality in Europe.*, Public Health. 122 (2008) 826–37.
- [44] Elvik R., Vaa T., *The Handbook of Road Safety Measures*, Elsevier, 2004.
- [45] Erdogan S., *Explorative spatial analysis of traffic accident statistics and road mortality among the provinces of Turkey.*, J. Safety Res. 40 (2009) 341–351.
- [46] Essex M., Safer R., *Essex Road Safety Strategy 2006-2011*, 2006.
- [47] Evans L., *Traffic Safety*, Bloomfield Hills, MI: Science Serving Society., 2004.
- [48] Everitt B.S., et al., *Cluster Analysis*, John Wiley & Sons Ltd, Southern Gate, Chichester, 2011.
- [49] Faraway J.J., *Extending the Linear Model with R. Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models*, Chapman and Hall/CRC, 2005.
- [50] Firth D., *Generalized linear models.*, Statistical Theory and Modelling: In Hon-Our of Sir David Cox, Chapman and Hall, London, 1991: pp. 66–93.
- [51] Fockler S.K., Cooper P.J., *Situational characteristics of safety belt use*, Accid. Anal. Prev. 22 (1990) 109–118.
- [52] Fournier F., Simard R., *The DRAG-2 Model for Quebec*, Structural Road Accident Models: The International DRAG Family, Elsevier Science, Oxford, 2000: pp. 37–66.
- [53] Fridstrøm L., *Econometric models of road use, accidents, and road investment decisions Volume II: An econometric model of car ownership, road use, accidents*, TOI Report, 1999.
- [54] Fridstrøm L., *The TRULS-1 Model for Norway*, Structural Road Accident Models: The International DRAG Family, Elsevier Science, Oxford, 2000: pp. 97–126.
- [55] Fridstrøm L., Ifver J., Ingebrigtsen S., Kulmala R., Thomsen L.K., *Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts.*, Accid. Anal. Prev. 27 (1995) 1–20.

- [56] Gaca S., *Badania prędkości pojazdów i jej wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego*, Politechnika Krakowska, 2002.
- [57] Gaca S., Jamroz K., K. Z., i inni, *Ogólnokrajowe studium pomiarów prędkości pojazdów i wykorzystania pasów bezpieczeństwa. W ramach SPOT. Raport Okresowy nr 2. Konsorcjum: SIGNALCO Kraków – TRAFIK Gdańsk – BIT Poznań.*, Kraków, Gdańsk, Poznań, 2006.
- [58] Gaca S., W. S., *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka.*, WKŁ, Warszawa, 2008.
- [59] Garg N., Hyder A.A., *Exploring the relationship between development and road traffic injuries: a case study from India.*, Eur. J. Public Health. 16 (2006) 487–491.
- [60] Gaurdy M., Lassarre S., *The Internal DRAG Family*, Pergamon, Amsterdam, 2000.
- [61] Gerdtam U.-G., Ruhm C.J., *Deaths rise in good economic times: evidence from the OECD.*, Econ. Hum. Biol. 4 (2006) 298–316.
- [62] Gerodeau, *Road Safety in Poland. Study of road safety in Central and Eastern Europe Countries.*, 1992.
- [63] Giemza J., Zwierzchowska K., *Wprowadzenie do modelu regresji logistycznej wraz z przykładem zastosowania w pakiecie statystycznym R do danych o pacjentach po przeszczepie nerki*, Uniwersytet Warszawski, 2011.
- [64] Goldenbeld C., van Schagen I., *The effects of speed enforcement with mobile radar on speed and accidents: an evaluation study on rural roads in the Dutch province Friesland.*, Accid. Anal. Prev. 37 (2005) 1135–1144.
- [65] Graham J.D., *Target Risk: Dealing with the Danger of Death, Disease and Damage in Everyday Decisions.: By Gerald J S Wilde. (Pp 234.) Toronto: PDE Publications, 1994. ISBN 0-9699-12404.*, Inj. Prev. 4 (1998) 162–163.
- [66] Gruszczyński M., i inni, *Mikroekonomia. Modele i metody analizy danych indywidualnych*, Oficyna Wolters Kluwer Business, Warszawa, 2010.
- [67] GUS, *Główny Urząd Statystyczny – Portal Informacyjny*, Www.stat.gov.pl. (2014).
- [68] Hakim S., et al., *A Critical Review of Macro Models for Road Accidents*, Accid. Anal. Prev. 23 (1991) 379–400.
- [69] Harańczyk G., *Zastosowanie technik data mining w badaniach naukowych*, Zastosowania Statystyki I Data Mining W Badaniach Naukowych, StatSot Polska, 2010.
- [70] Harańczyk G., *Modelowanie czasu trwania – model proporcjonalnego hazardu Coxa*, Analiza Danych W Programie STATISTICA – Przegląd, StatSot Polska, 2011.
- [71] Hauer E., *Statistical Road Safety Modeling*, Transp. Res. Rec. (2007) 81–87.
- [72] Hermans E., et al., *Describing the Evolution in the Number of Highway Deaths by a Decomposition in Exposure, Accident and Fatal Risk*, 2005.
- [73] Hosmer D., et al., *Applied Logistic Regression*, Wiley, New York, 2000.
- [74] Hoxie P.D., Skinner D., *The statistical analysis of socio-economic influences on three groups of high risk fatalities*, Washington DC, 1985.
- [75] Jackowska B., *Efekty interakcji między zmiennymi objaśniającymi w modelu logitowym w analizie zróżnicowania ryzyka zgonu*, Przegląd Stat. R. LVIII. 1–2 (2011).
- [76] Jacyna M., *The structure and characteristics of the elements of a multimodal transport corridor in respect to traffic distribution modelling*, Arch. Transp. 9 (1997).
- [77] Jacyna M., *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, OWPW, Warszawa, 2009.
- [78] Jacyna M., *Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych*, 2009.
- [79] Jaeger L., Lassare S., *The TAG-1 Model for France*, Structural Road Accident Models: The International DRAG Family, Elsevier Science, Oxford, 2000: pp. 157–184.
- [80] Jamroz ;, Krystek R., Michalski L., M. B., *Wojewódzki Program BRD GAMBIT Elbląski.*, Fundacja Rozwoju Inżynierii Drogowej, Gdańsk, 1996.
- [81] Jamroz ;, Krystek R., Michalski L., M. B., *Wojewódzki Program BRD GAMBIT Katowicki.*, Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej, Gdańsk, 1998.
- [82] Jamroz ;, Krystek R., Michalski L., M. B., *Wojewódzki Program BRD GAMBIT Suwalski.*, Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej, Gdańsk, 1998.
- [83] Jamroz ;, Krystek R., Michalski L., M. B., *Wojewódzki Program BRD GAMBIT Śląski.*, Fundacja Rozwoju Inżynierii Drogowej, Gdańsk, 2000.
- [84] Jamroz ;, Krystek R., Michalski L., M. B., *Wojewódzki Program BRD GAMBIT Lubelski.*, Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej, Gdańsk, 2001.

- [85] Jamroz J., Krystek R., Michalski L., M. B., *Wojewódzki Program BRD GAMBIT Pomorski*, Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej, Gdańsk, 2002.
- [86] Jamroz J., Krystek R., Michalski L., M. B., *Wojewódzki Program BRD GAMBIT Warmińsko – Mazurski*, Fundacja Rozwoju Inżynierii Drogowej, Gdańsk, 2002.
- [87] Jamroz K., *Highway Engineering Risk Assessment*, Arch. Transp. 19 (2007) 67–74.
- [88] Jamroz K., *Review of Road Safety Theories and Models Review of Road Safety Theories*, J. KONBin. 1 (2008) 89–108.
- [89] Jamroz K., *GAMBIT Łęborski- Powiatowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego*, 2010.
- [90] Jamroz K., *Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej*, 2011.
- [91] Jamroz K., *Problemy szacowania strat w wypadkach drogowych w Polsce*, Transp. Miej. I Reg. 12 (2011).
- [92] Jamroz K., *The Impact of Road Network Structure and Mobility on the National Traffic Fatality Rate*, Procedia - Soc. Behav. Sci. 54 (2012) 1370–1377.
- [93] Jamroz K., *Is VISION ZERO realistic in Poland ?*, Road Safety and Simulation International Conference RSS2013, Rome, 2013: p. 17.
- [94] Jamroz K., Michalski L., Gaca S., *Road safety programmes as an effective tool for developing system-based road safety policies.*, J. Konbin. 1 (2006).
- [95] Jamroz K., Kiec M., Kustra W., *Protection of Pedestrians as the Key Action for Implementing Poland 's Vision Zero*, Transport Research Board 2015, 2015: p. 17.
- [96] Jamroz K., Kustra W., *Strategia zmniejszenia liczby i skutków zderzeń czołowych na drogach krajowych*, Drogownictwo. 4–5 (2009) 143–150.
- [97] Jamroz K., Kustra W., Budzynski M., Zukowska J., *Pedestrian protection , speed enforcement and road network structure the key action for implementing Poland 's Vision Zero*, Transp. Res. Procedia. 14 (2016) 3905–3914.
- [98] Jamroz K., Michalski L., *Strategia zmniejszania skutków zderzeń bocznych na drogach krajowych*, Drogownictwo. 4–5 (2009) 158–167.
- [99] Jamroz K., Oskarbska I., *Strategia zmniejszania liczby i skutków wypadków w nocy*, Drogownictwo. 4–5 (2009) 168–173.
- [100] Jamroz K., Smolarek L., *Road Safety Management Tools for Country Strategic Level*, Proceedings of 16th International Conference: Road Safety on Four Continents, 2013.
- [101] Jamroz K., Smolarek L., *Driver Fatigue and Road Safety on Poland's National Roads*, Int. J. Occup. Saf. Ergon. 19 (2013) 297–309.
- [102] Jamroz K., Wachnicka J., *Strategia zmniejszania skutków wypadków z pieszymi i rowerzystami na drogach krajowych.*, Drogownictwo. 4–5 (2009) 126–133.
- [103] Joanna W., *Modelling selected road safety measures at the regional level in Europe*, 3 (2012) 251–258.
- [104] Jones A.P., Bentham G., *Emergency medical service accessibility and outcome from road traffic accidents*, Public Health. 109 (1995) 169–177.
- [105] Kaczmarek T., *Zarządzanie ryzykiem handlowym, finansowym i produkcyjnym*, Gdańsk, 2002.
- [106] Kaczmarek T.T., *Ryzyko i zarządzanie ryzykiem. Ujęcie interdyscyplinarne.*, 2006.
- [107] Kempa J., *Prędkości samochodów na jezdniach mokrych i suchych.*, Zesz. Nauk. ATR W Bydgoszczy. (1986).
- [108] Kempa J., *Wpływ przeszkód bocznych na prędkość pojazdów.*, Zesz. Nauk. ATR W Bydgoszczy. (1990).
- [109] Kempa J., *Najczęstsze wady infrastruktury drogowej*, Bezpieczeństwo Ruchu Miejskiego, WKŁ, Warszawa, 2005: pp. 239–287.
- [110] Kempa J., *Charakterystyki ruchu swobodnego na krzywoliniowych odcinkach dróg w planie*, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, 2008.
- [111] Kieć M., *Wpływ dostępności do dróg na warunki i bezpieczeństwo ruchu*, Politechnika Krakowska, 2009.
- [112] Koller G., *Risk Assessment and Decision Making In Busines and Industry. A Practice Guide.*, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton USA, 2005.
- [113] Koornstra M. et al, *SUNflower: a comparative study of the development of road safety in Sweden, the United Kingdom, and the Netherlands*, Leidschendam, 2002.
- [114] Kopits E., Cropper M., *Traffic fatalities and economic growth.*, Accid. Anal. Prev. 37 (2005)
-

- 169–78.
- [115] Koronacki J., Ćwik J., *Statystyczne systemy uczące się*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2005.
- [116] Kostarzewski M., *Estymacja i prognozowanie, Wykład, AGH, Kraków*, n.d.
- [117] Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, *Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego*, 2013.
- [118] Krystek R., *Gambit Gdański - Miejski Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego*, 2005.
- [119] Krystek R., Jamroz K., *Rozdz. 5, Bezpieczeństwo ruchu na węzłach, Węzły Drogowe I Autostradowe*, WKŁ, Warszawa, 2008.
- [120] Krystek R., Jamroz K., i inni, *Raport bezpieczeństwa ruchu drogowego. Województwo Pomorskie*, 2004.
- [121] Krystek R., Kadziński A., i inni, *Rozwój i integracja systemu bezpieczeństwa transportu drogowego. Koncepcja metody zarządzania ryzykiem w transporcie*, Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu, WKŁ, Warszawa, 2010: p. tom 3.
- [122] Krystek R., Michalski L., Jamroz K., *Geometric design of roundabouts in Poland - recent years' experience.*, 2nd International Symposium of Highway Geometric Design, Mainz, Germany, 2000: pp. 192–203.
- [123] Kukuła K., i inni, *Wprowadzenie do ekonometrii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2009.
- [124] Kustra W., *Modelowanie wybranych miar bezpieczeństwa ruchu na długich odcinkach dróg*, Politechnika Gdańska, 2016.
- [125] Kuznets S., *Economic growth and incomes inequality*, Am. Econ. Rev. 45 (1955) 1–28.
- [126] Lambert T., Meyer P., *Ex-urban Sprawl as a Factor in Traffic Fatalities and EMS Response Times in the Southeastern United States*, J. Econ. Issues. 40 (2006) 941–953.
- [127] Lassarre S., Thomas I., *Exploring road mortality ratios in Europe: national versus regional realities*, J R Stat Soc [Ser A]. 168 (2005) 127–144.
- [128] Lassarre S., Thomas I., *Exploring road mortality ratios in Europe : national*, (2005) 127–144.
- [129] Law T.H., et al., *The sources of the Kuznets relationship between road fatalities and economic growth*, J. Transp. Geogr. 19 (2011) 355–365.
- [130] Lipiec-Zajchowska M., *Wspomaganie procesów decyzyjnych Tom 1. Statystyka*, Wydawnictwo C.H.Beck, Warszawa, 2003.
- [131] Litman T., *Transportation Elasticities*, Victoria Transport Policy Institute, Victoria, 2010.
- [132] Loeb P.D., *The determinants of automobile fatalities.*, J. Transp. Econ. Policy. 21 (1987) 279–287.
- [133] Lund A.K., *Voluntary seat belt use among US drivers: geographic, socioeconomic and demographic variation*, Accid. Anal. Prev. 18 (1986) 43–50.
- [134] MacNab Y.C., *A Bayesian hierarchical model for accident and injury surveillance*, Accid. Anal. Prev. 35 (2003) 91–102.
- [135] MacNab Y.C., *Bayesian spatial and ecological models for small-area accident and injury analysis*, Accid. Anal. Prev. 36 (2004) 1019–1028.
- [136] Major H., Nowakowska M., *Cause-effect relationships of road incidents using decision tree method*, Arch. Civ. Eng. 52 (2006) 639–656.
- [137] Majumdar A., et al., *A spatial and temporal analysis of safety-belt usage and safety-belt laws*, Accid. Anal. Prev. 36 (2004) 551–560.
- [138] Mannering F., Venkataraman S., Woodrow B., *Statistical analysis of accident rural freeways*, Accid. Anal. Prev. 28 (1996) 391–401.
- [139] Mathijssen M.P.M., *Drink driving policy and road safety in The Netherlands: a retrospective analysis. Transportation Research Part E*, Logist. Transp. Rev. 41 (2005) 395–408.
- [140] Mazur M., *Pojęcie systemu i rygor ich stosowania.*, Postępy Cybernetyki. 2 (1987).
- [141] McCarthy P., *The TRACS-CA Model for California*, Structural Road Accident Models: The International DRAG Family, Elsevier Science, Oxford, 2000: pp. 185–204.
- [142] McCullagh P., Nelder J., *Generalized linear models*, 2nd ed., Chapman and Hall, London, 1989.
- [143] Michalski L., Jamroz K., Gajda D., *Wstępna ewaluacja interim Krajowego Programu Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego GAMBIT 2005. W: GAMBIT : IX Międzynarodowe*

- Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego: Rola Polski w realizacji programu ONZ Dekada Działań na Rzecz Bezpieczeństwa Ruchu Drogowe*, Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej, Gdansk, 2012: pp. 20–21.
- [144] Michalski L., Jamroz K., Zukowska J., *UN Decade of action for road safety in the national road safety strategy until 2020 – Polish approach*, 16th Road Safety on Four Continents Conference, Beijing, 2013: pp. 1–10.
- [145] Muelleman R., Mueller K., *Fatal motor vehicle crashes: variations of crash characteristics within rural regions of different population densities*, *J Trauma Inj Infect Crit Care*. 41 (1996) 315–320.
- [146] Muhlard N., *Road safety management Methods and organisation*, 2010.
- [147] Murphy M.J., *Demographic and socio-economic influences on recent British marital breakdow*, *Popul. Stud. (NY)*. 39 (1985) 441–460.
- [148] Nilsson G., *Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety*, Lund Institute of Technology, 2004.
- [149] Noland R.B., *Medical treatment and traffic fatality reductions in industrialized countries.*, *Accid. Anal. Prev.* 35 (2003) 877–883.
- [150] Noland R.B., at. al., *A spatially disaggregate analysis of road casualties in England*, *Accid. Anal. Prev.* 36 (2004) 973–984.
- [151] Noland R.B., Oh L., *The effect of infrastructure and demographic change on traffic-related fatalities and crashes: a case study of Illinois county-level data*, *Accid. Anal. Prev.* 36 (2004) 525–532.
- [152] Nowakowska M., *Logistic Models in Crash Severity Classification Based on Road Characteristics*, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board.* (2010).
- [153] Nowakowska M., *Modelowanie związków między cechami drogi a zagrożeniami w ruchu na drogach zamiejskich*, 2013.
- [154] Objectives F., *TEXAS STRATEGIC HIGHWAY SAFETY PLAN : A Report of Progress and Future Objectives*, 2012.
- [155] OECD, *TOWARDS ZERO, Ambitious Road Safety Targets and Safety System Approach*, International Transport Forum, n.d.
- [156] Ogden K.W., *Safer Roads:A Guide to Road safety Engineereing*, Ashgate, 2004.
- [157] Olszewski P., *WALKING AS A MODE OF TRANSPORT – A PLANNING AND POLICY PERSPECTIVE*, OFICYNA WYDAWNICZA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ, 2007.
- [158] Olszewski P., Szagała P., Wolański M., Zielińska A., *Pedestrian fatality risk in accidents at unsignalized zebra crosswalks in Poland*, *Accid. Anal. Prev.* 84 (2015) 83–91.
- [159] Olszewski P., Zielińska A., *Problems with assessing safety of vulnerable road users based on traffic accident data*, *Transp. Miej. I Reg.* 4 (2012) 23–27.
- [160] Oppe S., *The development of traffic and traffic safety in six developed countries*, *Accid. Anal. Prev.* 23 (1991) 401–412.
- [161] Peltzman S., *The effects of automobile safety regulation*, *J. Polit. Econ.* 83 (1975) 677–725.
- [162] Rakauskas M.E., et al., *Identification of differences between rural and urban safety cultures*, *Accid. Anal. Prev.* (2009) 931–937.
- [163] Robertson L.S., *Reducing death on the road: the effects of minimum safety standards, publicized crash tests, seat belts, and alcohol.*, *Am. J. Public Health.* 86 (1996) 31–34.
- [164] Rumar K., *Collective Risk but Individual Safety*, *Ergonomics.* 31 (1988) 507–518.
- [165] Rumar K., *Road safety and benchmarking*, : Proceedings of the Paris Conference on Transport Benchmarking., Paris, 1999.
- [166] Sánchez-Mangas R., et al., *The probability of death in road traffic accidents. How important is a quick medical response?*, *Accid. Anal. Prev.* 42 (2010) 1048–1056.
- [167] Scott G., Pittams G., Derby N., *Regression models of NewZealand road casualty data: results of a preliminary investigation*, Wellington, Economics Division, Wellington, 1987.
- [168] Scuffham P., *Economic Factors and Traffic Crashes in New Zealand.*, *Appl. Econ.* 35 (2003) 178–188.
- [169] Scuffham P.A., Langley J.D., *A model of traffic crashes in New Zealand*, *Accid. Anal. Prev.* 34 (2002) 673–687.
- [170] Skrobisz C., *Prognozowanie Bayesowskie w przypadku braku pełnej informacji na przykładzie*
-

- produkcji energii elektrycznej*, *Oeconomica*. 280 (2010).
- [171] Smeed J.R., *Some statistical aspects of road safety research*, *J. R. Stat. Soc. Ser. A*. 112 (1949) 1–34.
- [172] Sobczyk M., *Statystyka. Podstawy teoretyczne, przykłady, zadania*, Wydaw. Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, 1998.
- [173] Söderlund N., Zwi A.B., *Traffic-related mortality in industrialized and less developed countries.*, *Bull. World Heal. Organ.* 73 (1995) 175–182.
- [174] Son H. “Daniel,” Kweon Y.-J., Park B. “Brian,” *Development of crash prediction models with individual vehicular data*, *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 19 (2011) 1353–1363.
- [175] Spoerri A., Egger M., et al., *Mortality from road traffic accidents in Switzerland: Longitudinal and spatial analyses*, *Accid. Anal. Prev.* 43 (2011) 40–48.
- [176] Stanisław G., Jamroz K., Ząbczyk K., Zarembski J., Wachnicka J., *Analiza wybranych aspektów zachowania użytkowników dróg*, Signalco, Trafic, Hb Verkehrsconsult, Gdańsk, 2003.
- [177] Statistica, *Internetowy Podręcznik Statystyki*, (2013).
- [178] Stefaniuk E., Bosacka K., W. H., *WALIDACJA I WERYFIKACJA METOD I TESTÓW DIAGNOSTYCZNYCH W LABORATORIUM MIKROBIOLOGICZNYM*, *POST. MIKROBIOL.* 54 (2015) 415–424.
- [179] Strucinskiene B., et al., *Traffic injury mortality in children in transitional Lithuania – a longitudinal analysis from 1971 to 2005.*, *Acta Paediatr.* 97 (2008) 358–361.
- [180] Szarata A., *Defining share of Park and Ride trips using fuzzy inference system*, EWGT 2006 International Joint Conferences, 11th Meeting of the EURO Working Group on Transportation - Advances in Traffic Transportation Systems Analysis and Extra EURO Conference on Handling Uncertainty in Transportation: Analyses, New Paradigms, Applica, Italy, 2006: pp. 873–883.
- [181] Szarata A., *Podział zadań przewozowych - przegląd modeli oraz zastosowanie wnioskowania rozmytego*, VI Konferencja Naukowo-Techniczna Z Cyklu: Problemy Komunikacyjne Miast W Warunkach Zatłoczenia Motoryzacyjnego - "Wspomaganie Decyzji W Projektowaniu I zarządzaniu, Stowarzyszenie Inżynierów I Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział W Poznan, Poznań, 2007: pp. 103–115.
- [182] Szarata A., *O celowości zastosowania wnioskowania rozmytego w modelowaniu zachowań komunikacyjnych*, *Modelowanie Podróży I Prognozowanie Ruchu; Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów I Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział W Krakowie; Seria: Materiały Konferencyjne, Nr 90 (Zeszyt 148);*, 2009: pp. 235–249.
- [183] Szczuraszek T., Chmielewski J., Bebyn G., Kempa J., Stanek M., *Bezpieczeństwo ruchu miejskiego*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności sp. z o.o., 2005.
- [184] Szczuraszek T., Kempa J., Bebyn G., Chmielewski J., Gadomski J., Lipińska H., *Badanie zagrożeń w ruchu drogowym*, 2005.
- [185] Szulc A., *Wybrane metody estymacji i weryfikacji jednorówaniowych modeli regresji-materiały do wykładu “Metody Statystyczne,”* 2009.
- [186] Szymczak M., *Słownik Języka Polskiego*, PWN, Warszawa, 1979.
- [187] TAYLOR D.H., *DRIVERS’ GALVANIC SKIN RESPONSE AND THE RISK OF ACCIDENT*, *Ergonomics*. 7 (1964) 439–451.
- [188] Technical Committee 18, *Study on Risk Management for Roads*, PIARC, 2004.
- [189] Technical Committee 3.2, *Towards development of a risk management approach*, PIARC, 2010.
- [190] Tegner G., et al., *The DRAG-Stockholm Model*, *Structural Road Accident Models: The International DRAG Family*, Elsevier Science, Oxford, 2000: pp. 127–156.
- [191] Tracz M., Gaca S., *Wdrażanie audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce.*, *Drogownictwo*. 4 (2010) 139–146.
- [192] Tracz M., Nowakowska M., *Detecting associations between descriptive accident fetatures*, *Arch. Civ. Eng.* 45 (1999) 77–88.
- [193] Traynor T.L., *Regional economic conditions and crash fatality rates--a cross-county analysis.*, *J. Safety Res.* 39 (2008) 33–9.
-

- [194] Valent F., et al., *Risk factors for fatal road traffic accidents in Udine*, *Accid. Anal. Prev.* 34 (2002) 71–84.
- [195] Vaziri M., *A comparative appraisal of roadway accident for Asia-Pacific countries*, *Int. J. Eng. Trans. A Basics.* 23 (2010) 111–126.
- [196] W. H., *A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity.*, *J. Trauma.* 12 (1972) 193–207.
- [197] De Waard D., Rooijers T., *An experimental study to evaluate the effectiveness of different methods and intensities of law enforcement on driving speed on motorways*, *Accid. Anal. Prev.* 26 (1994) 751–765.
- [198] Wachnicka J., *Identification and comparative analysis of factors influencing road safety in US regions and in Polish voivodeships*, *Transp. Probl.* 8 (2013) 53–66.
- [199] Wachnicka J., Smolarek L., *Abstract class method use on common characteristics of UE regions for better road safety management in these regions.*, (2013).
- [200] Wachnicka J., Smolarek L., *Fuzzy regression approach to road safety analysis at regional level*, *J. Polish Saf. Reliab. Assoc.* 5 (2014) 121–126.
- [201] Wachnicka J., Jamroz K., *Prędkość, alkohol i pasy bezpieczeństwa jako istotne czynniki wpływające na liczbę ofiar śmiertelnych wypadków drogowych na obszarze województw*, *J. Konbin.* 13 (2010) 235–246.
- [202] Wachnicka J., Jamroz K., *Identification and analysis of factors influencing road safety in regions*, *Road Safety and Simulation International Conference RSS2013*, Rome, 2013.
- [203] Wachnicka J., Smolarek L., *THE MULTIVARIATE MULTILEVEL ANALYSIS OF DIFFERENT REGIONAL FACTORS IMPACT ON ROAD SAFETY IN EUROPEAN COUNTRY REGIONS*, *J. Konbin.* 4 (2012) 141–148.
- [204] Wachnicka J., Smolarek L., *Model of Multilevel Stochastic Analysis of Road Safety on Regional Level*, *Reliab. Risk Anal. Theory Appl.* 8 (2013) 39–48.
- [205] Wegman F, Eksler V, Hayes S, Lynam D, Morsink P O.S., *A comparative study of the development of road safety in the SUNflower 6 countries. Final report.*, 2005.
- [206] Welfe A., *Ekonometria. Metody i ich zastosowanie*, Polskie Wydawnictwa Ekonomiczne, Warszawa, 2009.
- [207] Welki A.M., Zlatoper T.J., *The impact of highway safety regulation enforcement activities on motor vehicle fatalities. Transportation Research Part E*, *Logist. Transp. Rev.* 43 (2007) 208–217.
- [208] Wilde G.J., *Alcohol, Fatigue, Inattention and Other Immediate Causes of Accidents and Their Significance for an Effective Accident Prevention Strategy*, *Transportation, Traffic Safety and Health – Human Behavior: Fourth International Conference*, New York Springer, Tokyo, Japan 1998, 2000: pp. 181–202.
- [209] Wilde G.J.S., *The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health*, *Risk Anal.* 2 (1982) 209–225.
- [210] WILDE G.J.S., *Evidence refuting the theory of risk homeostasis? A rejoinder to Frank P. McKenna*, *Ergonomics.* 27 (1984) 297–304.
- [211] World Health Organization, *Dekada działań na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego 2011-2020*, 2010.
- [212] Yannis G., *Traffic and safety data analysis: from correlation to causation and policy support*, (n.d.).
- [213] Yannis G., et al., *Impact of enforcement on traffic accidents and fatalities: A multivariate multilevel analysis*, *Saf. Sci.* 46 (2008) 738–750.
- [214] Zielinkiewicz A., *Wpływ nocnych ograniczeń widoczności na bezpieczeństwo i wybrane parametry ruchu drogowego*, Politechnika Krakowska, 2013.
- [215] Zimmermann H.J., *Fuzzy Set, Decision Making and Expert System*, Kluwer, Boston, 1987.
- [216] Zimmermann H.J., *Fuzzy Set Theory and its Application*, 2nd ed., Kluwer, Boston, 1991.
- [217] Zlatoper T.J., *Regression analysis of time series data on motor vehicle deaths in the United States.*, *J. Transp. Econ. Policy.* 18 (1984) 263–274.
- [218] Zwerling C., et al., *Fatal motor vehicle crashes in rural and urban areas: decomposing rates into contributing factors*, *Inj. Prev.* 11 (2005) 24–28.
- [219] Żukowska J., *Modelowanie ryzyka w ruchu drogowym szeregami czasowymi*, Politechnika
-

- Gdańska, 2003.
- [220] Żukowska J., *Times Series Analysis Of Road Safety Trends At The Regional Level In Poland*, (2016).
- [221] *Uchwała Rady Ministrów nr 155/72 z dnia 9 czerwca 1972 r. w sprawie kierunków działania i środków zamierzających do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego*, n.d.
- [222] *Road safety statistics at regional level*, (n.d.).
- [223] *Road Safety: Implementation of the objective –50% killed by 2012, Monitoring Procedure CEMT/CM 12*, n.d.
- [224] *The role of structural factors in road safety*, (n.d.).
- [225] http://www.ekonometria.4me.pl/modele_szeregow_czasowych.htm, (n.d.).
- [226] *Baza EUROSTAT*, (n.d.).
- [227] *Baza GUS*, (n.d.).
- [228] *Baza U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration*, (n.d.).
- [229] *Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) and State Highway Safety Offices*, (n.d.).
- [230] *National Vital Statistics system U.S.*, (n.d.).
- [231] *Department of Health and Human Services*, (n.d.).
- [232] *Centers for Disease Control and Prevention*, (n.d.).
- [233] *National Center for Health Statistics*, (n.d.).
- [234] *U.S. Department of Commerce Bureau of Economic Analysis*, (n.d.).
- [235] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Map_of_USA_showing_state_names.png, (n.d.).
- [236] *STATISTICA 12*, (n.d.).
- [237] *Transportation and Traffic Engineering Handbook.*, Inc. Enmglewood Cliffs, New Jersey, 1992.
- [238] *Road Safety: What's the Vision?*, Paris, 2002.
- [239] *County Donegal Road Safety Plan 2007 - 2009*, 2007.
- [240] *European Road Safety Observatory (2006) Road Safety Management*, 2007.
- [241] *County Wicklow Road Safety Plan 2010-2014*, 2010.

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1.1. Układ programów realizujących krajową Strategię BRD.....	5
Rys. 1.2. Wykres zależności wskaźnika ryzyka bycia ofiarą śmiertelną w wypadku drogowym KZ w zależności od wskaźnika motoryzacji WM dla: WZ1 – wskaźnik oszacowany dla województwa warmińsko-mazurskiego, WZ2 – wskaźnik przyjęty na bazie danych z wybranych krajów Unii Europejskiej.....	7
Rys. 1.3 Wykres zmian liczby ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w województwie warmińsko-mazurskim w latach 1990 – 2001 i prognoza na lata 2002 - 2010.....	8
Rys. 1.4 Wykresy zmian liczby ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w województwie pomorskim w latach 1990 – 2007 i prognoza na lata 2003 - 2013.	9
Rys. 1.5 Mapa wielkości względnego wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych na 1 mln mieszkańców w poszczególnych regionach NUTS 2 Unii Europejskiej w 2012 roku.....	10
Rys. 1.6 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych od liczby mieszkańców w regionach administracyjnych AP i EU	12
Rys. 1.7 Wykres średniej liczby mieszkańców w danym województwie.	13
Rys. 1.8 Wykres średniej liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w danym województwie.....	13
Rys. 1.9 Wykres średniego względnego wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych (RFR) w danym województwie.....	14
Rys. 1.10 Schemat metodyki badań.	16
Rys. 2.1 Schemat struktury systemu zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego.	21
Rys. 2.2 Zarządzanie systemowe bezpieczeństwem ruchu drogowego.	22
Rys. 2.3 Ideowy schemat procedury zarządzania ryzykiem w metodzie ROAD-RISK.	23
Rys. 2.4 Schemat działania wielosektorowego systemu zarządzania brd.....	24
Rys. 2.5 Schemat systemu zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego z uwzględnieniem regionów zaproponowany przez UE.	25
Rys. 2.6 Narzędzia realizacji strategii.	27
Rys. 2.7 Strukturalna część względnego ryzyka Bayesa oraz względny trend oszacowany dla Belgijskich gmin.....	38
Rys. 2.8 Wizualizacja równania Rumara.	46
Rys. 2.9 Postać graficzna modeli społecznego ryzyka strategicznego MSR na sieci dróg.....	47
Rys. 2.10 Wykres funkcji zależności wskaźnika ofiar śmiertelnych na drogach w zależności od wskaźnika motoryzacji.	49
Rys. 2.11 Wpływ zmiany pracy przewozowej na wartość wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych.	50
Rys. 2.12 Szeregi czasowe przedstawiające liczbę wypadków, pracę przewozową i liczbę pojazdów w Nowej Zelandii w latach 1970-1995.	51
Rys. 2.13 Zależność wskaźnika zabitych liczonego w ofiarach na milion pojazdów-kilometrów od zlogarytmowanej wartości gęstości zaludnienia oraz rodzaju zagospodarowania.	53

Rys. 2.14 Zależność wskaźnika ofiar śmiertelnych na 10 tys. mieszkańców od jednostkowego produktu krajowego w dolarach międzynarodowych z roku 1985. Dane z wielu krajów.....	54
Rys. 2.15 Ogólna procedura konstruowania modelu.....	57
Rys. 2.16 Uszczegółowiona procedura konstruowania modelu.....	58
Rys. 3.1 Wykres średnich wartości powierzchni regionów A w każdej z analizowanych baz danych.....	60
Rys. 3.2 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych na drogach F od populacji danego regionu P.....	61
Rys. 3.3 Wykres zależności względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR na drogach od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC.....	62
Rys. 3.4 Struktura utworzonych baz danych.....	63
Rys. 3.5 Podział Polski na jednostki NUTS 1-3 i odpowiadające im jednostki NTS 1-3 obowiązujący od 1 stycznia 2015 r.	64
Rys. 3.6 Mapa administracyjna pokazująca podział na stany w USA.....	67
Rys. 3.7 Mapa administracyjna pokazująca podział na regiony NUTS 2 w Europie. Wyróżniono regiony objęte analizą.....	69
Rys. 3.8 Mapa administracyjna pokazująca podział na województwa w Polsce.....	70
Rys. 3.9 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od populacji danego stanu P w stanach AP.....	73
Rys. 3.10 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od produktu krajowego brutto danego stanu GDP w stanach AP.....	73
Rys. 3.11 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od pracy przewozowej wykonywanej przez mieszkańców danego stanu w ciągu roku VKT w stanach AP.....	74
Rys. 3.12 Histogram liczby ofiar śmiertelnych w poszczególnych stanach AP.....	74
Rys. 3.13 Wykres ramka-wąsy dla dwóch wydzielonych grup stanów AP.....	75
Rys. 3.14 Rozkład gęstości prawdopodobieństwa dla wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w poszczególnych regionach USA.....	75
Rys. 3.15 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych od populacji danego regionu P.....	76
Rys. 3.16 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od produktu krajowego brutto danego regionu GDP.....	76
Rys. 3.17 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od liczby zarejestrowanych pojazdów w danym regionie V.....	77
Rys. 3.18 Rozkład liczby ofiar śmiertelnych F w poszczególnych regionach Europy.....	77
Rys. 3.19 Wykres ramka wąsy wskaźnika (F) dla dwóch wydzielonych grup regionów europejskich.....	78
Rys. 3.20 Rozkład gęstości prawdopodobieństwa dla wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w poszczególnych regionach Europy.....	79
Rys. 3.21 Rozkład gęstości prawdopodobieństwa dla wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w poszczególnych regionach Europy-kraje „rozwinęte”.....	79
Rys. 3.22 Rozkład gęstości prawdopodobieństwa dla wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w poszczególnych regionach Europy-kraje „rozwijające się”.....	80

Rys. 3.23 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od populacji danego regionu P.	80
Rys. 3.24 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od produktu krajowego brutto danego województwa GDP.	81
Rys. 3.25 Wykres zależności liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych F od liczby zarejestrowanych pojazdów w danym województwie V.	81
Rys. 3.26 Histogramy liczby ofiar śmiertelnych w poszczególnych województwach: a) w latach 1999-2008, b) w latach 2009-2014.	82
Rys. 3.27 Wykres ramka wasy dla polskich województw w latach 1999-2008 oraz 2009-2014.	82
Rys. 3.28 Wykres ramka wasy dla polskich województw w latach 1999-2008 (RFRdo2008) i 2009-2014 (RFRdo2014).	83
Rys. 3.29 Rozkład gęstości prawdopodobieństwa wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w polskich województwach w latach 1999-2008.	83
Rys. 3.30 Rozkład gęstości prawdopodobieństwa wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w polskich województwach w latach 2009-2014.	84
Rys. 4.1 Metodyka analizy zmiennych.	86
Rys. 4.2 Zestawienie siły współzależności pomiędzy wybranymi zmiennymi niezależnymi dla bazy danych o USA.	88
Rys. 4.3 Wykres siły zależności poszczególnych zmiennych na RFR dla bazy stanów AP.	89
Rys. 4.4 Zestawienie siły współzależności pomiędzy wybranymi zmiennymi niezależnymi dla bazy danych z Europy.	89
Rys. 4.5 Wykres siły zależności poszczególnych zmiennych na RFR dla bazy danych regionów EU.	90
Rys. 4.6 Zestawienie siły współzależności pomiędzy wybranymi zmiennymi niezależnymi dla bazy danych z Polski.	91
Rys. 4.7 Wykres siły zależności poszczególnych zmiennych na RFR dla bazy danych województw PL.	91
Rys. 4.8 Model zależności pomiędzy zmiennymi niezależnymi a stratami w zdarzeniach niebezpiecznych dla wybranych regionów.	92
Rys. 4.9 Drzewo skupień analiz wstępnych.	95
Rys. 4.10 Wykres rzeczywistej liczby ofiar śmiertelnych w wybranych regionach F oraz prognozy wg Smeed'a w zależności od liczby pojazdów V.	99
Rys. 4.11 Rozkłady wartości liczbowych wskaźnika RFR w zależności od wybranych parametrów skali: a) czas – Rok, b) jednostkowy produkt brutto GDPPC, c) gęstość zaludnienia DP, d) jednostkowa droga przebyta pojazdami VKTPC, e) wskaźnik motoryzacji MRV, f) gęstość pojazdów DV.	105
Rys. 5.1 Schemat realizacji zadań w 4 etapie prowadzenia prac badawczych.	110
Rys. 5.2 Wykres rzeczywistych wartości RFR oraz modelu RFR_AP_03 w zależności od dochodu na mieszkańca INPC oraz pracy przewozowej VKTPC.	113
Rys. 5.3 Wykres rzeczywistych wartości RFR oraz modelu RFR_AP_09 w zależności od pracy przewozowej VKTPC oraz dochodu na mieszkańca INPC.	113

Rys. 5.4	Wykres rzeczywistych wartości RFR oraz modelu RFR_AP_14 w zależności od drogi przebytej przez jednego mieszkańca VKTPC, śmiertelności białych noworodków $FR_{(I)}$ oraz produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC, oraz gęstości zaludnienia DP.....	115
Rys. 5.5	Wykres rzeczywistych wartości RFR oraz modelu RFR_AP_21 w zależności od produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC, gęstości zaludnienia DP, śmiertelności białych noworodków $FR_{(I)}$, wskaźnika motoryzacji MRV i wskaźnika lekarzy RD.....	116
Rys. 5.6	Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_AP_23 w zależności od gęstości pojazdów ogółem DV, produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC i gęstości dróg ogółem $DR_{(A)}$	117
Rys. 5.7	Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz zamodelowanej krzywej w zależności od czasu ROK.....	118
Rys. 5.8	Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu bazowego RFR _B od średniego krajowego jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPCC.....	119
Rys. 5.9	Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_AP_35 w zależności od średniego jednostkowego produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPCC i względnego wskaźnika produktu krajowego brutto WGDPPC.....	121
Rys. 5.10	Rozkład gęstości prawdopodobieństwa względnego wskaźnika jednostkowego produktu krajowego brutto WGDPPC w analizowanym zbiorze danych stanowych AP.....	121
Rys. 5.11	Wykres rzeczywistych i modelowanych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych (RFR) w zależności od względnego wskaźnika jednostkowego produktu krajowego brutto (WGDPPC).....	123
Rys. 5.12	Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_EU_01 w zależności od gęstości pojazdów ogółem DV, produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC i gęstości zaludnienia DP oraz udziału samochodów osobowych PPC.....	127
Rys. 5.13	Wykres rzeczywistych i modelowanych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR za pomocą modelu RFR_EU_12 w zależności od gęstości pojazdów ogółem DV, produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC i gęstości dróg ogółem DRA.....	128
Rys. 5.14	Wykres rzeczywistych i modelowanych (za pomocą modelu RFR_EU_14) wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC, pozostałe zmienne w modelu przyjęto dla wartości średnich w zbiorze.....	130
Rys. 5.15	Wykres rzeczywistych oraz modelowanych (za pomocą modelu RFR_EU_21) wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w zależności od gęstości zaludnienia DP oraz spodziewanej długości życia LEI. Pozostałe zmienne w modelu przyjęto dla wartości średnich w zbiorze.....	131

Rys. 5.16	Wykres rzeczywistych oraz modelowanych (za pomocą modelu RFR_EU_23) wartości RFR w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC. Pozostałe zmienne w modelu przyjęto dla wartości średnich w zbiorze.	132
Rys. 5.17	Wykres modelowanej funkcji w zależności od gęstości zaludnienia na tle analizowanych skupień.	134
Rys. 5.18	Wykres rzeczywistych oraz modelowanych (za pomocą modelu RFR_EU_33) wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w zależności od produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPC i spodziewanej długości życia LEI.	136
Rys. 5.19	Wykres opracowanego modelu w zależności od gęstości dróg ogółem na tle danych rzeczywistych w Szwecji.	137
Rys. 5.20	Przykład trójkątnej funkcji przynależności RFR, gdzie $a=2$, $c=8$ i $b=4,5,6$; $GDPPC=28-30$.	138
Rys. 5.21	Model regresji rozmytej z trójkątną funkcją przynależności $f_{RFR}(GDPPC)$.	138
Rys. 5.22	Histogramy analizowanych wskaźników RFR w regionach Szwecji i Czech.	139
Rys. 5.23	Wykres zależności λ od wartości HDI w danym kraju oraz udziału samochodów osobowych starszych niż 10 letnich.	140
Rys. 5.24	Ilustracja modelu potęgowo-wykładniczego uwzględniającego wskaźnik rozwoju społecznego HDI, odsetek pojazdów starszych niż 10-cio letnich w całej flocie pojazdów OLD i poziom inflacji INFL.	140
Rys. 5.25	Wykres zależności zmian (GDPPC) w Szwecji i Czechach w analizowanych latach.	142
Rys. 5.26	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC w danym regionie dla regionów Wlk. Brytanii.	144
Rys. 5.27	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC w danym regionie dla regionów Polski.	144
Rys. 5.28	Wykres zmian średniego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR w analizowanych krajach EU w latach 1970-2015.	145
Rys. 5.29	Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_EU_40, w zależności od średniego rocznego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w danym kraju RFR_{SR} i gęstości demograficznej dróg ogółem $DR_{(D)}$.	146
Rys. 5.30	Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_EU_43 w zależności od średniego rocznego względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych w danym kraju RFR_{SR} i gęstości pojazdów ogółem DV.	147
Rys. 5.31	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od populacji danego województwa P oraz udziału osób zapinających pasy USB.	150
Rys. 5.32	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od populacji danego województwa P oraz udziału kierowców przekraczających dopuszczalną prędkość S4.	150

Rys. 5.33	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od pracy przewozowej na drogach krajowych VKTPD oraz udziału procentowego autostrad i dróg ekspresowych w sieci dróg krajowych PHER.	152
Rys. 5.34	Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu bazowego RFR_B od średniego jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPCC.	153
Rys. 5.35	Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_PL_01 w zależności od średniego jednostkowego produktu krajowego brutto na mieszkańca GDPPCC i względnego wskaźnika produktu krajowego brutto WGDPPC.	154
Rys. 5.36	Rozkład gęstości prawdopodobieństwa względnego wskaźnika jednostkowego produktu krajowego brutto WGDPPC w analizowanym zbiorze danych województw PL.	155
Rys. 5.37	Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_PL_01 w zależności od średniego produktu krajowego brutto GDPPCC oraz wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV.	155
Rys. 5.38	Wykres rzeczywistych wartości względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR oraz modelu RFR_PL_01 w zależności od średniego produktu krajowego brutto GDPPCC oraz gęstości demograficznej dróg ogółem $DR_{(D)}$	156
Rys. 5.39	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC oraz wskaźnika spodziewanej długości życia LEI. Model RFR_PL_03	158
Rys. 5.40	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC oraz udziału procentowego autostrad w całej sieci dróg w województwie PME. Model RFR_PL_06	158
Rys. 5.41	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV oraz tego czy województwo jest stołeczne, czy nie S. Model RFR_PL_08	160
Rys. 5.42	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV oraz gęstości autostrad $DME_{(A)}$. Model RFR_PL_08	160
Rys. 5.43	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC oraz wydatków na 1 km dróg wojewódzkich w danym województwie REXV. Model $RFR_PL_07_K3$	165
Rys. 5.44	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC oraz gęstości demograficznej autostrad i dróg ekspresowych $DME_{(D)}$. Model $RFR_PL_03_K1$	165
Rys. 5.45	Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od jednostkowego produktu krajowego brutto GDPPC oraz liczby zespołów ratownictwa medycznego w przeliczeniu na 1 mln mieszkańców AMB/P. Model $RFR_PL_05_K2$	166

Rys. 5.46 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV oraz średniej płacy brutto PAY. Model RFR_PL_10_K1.....	167
Rys. 5.47 Wykres danych rzeczywistych oraz zamodelowanych w zależności od wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV oraz liczby szpitalnych oddziałów ratunkowych przypadających na 1 mln mieszkańców HEW/P. Model RFR_PL_11_K1.....	167
Rys. 6.1 Wykresy wskaźników elastyczności łukowej obrazującej wpływ wybranych zmiennych niezależnych na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR w wybranych w modelach grupy GM - 1.....	170
Rys. 6.2 Wykresy wskaźników elastyczności łukowej obrazującej wpływ wybranych zmiennych niezależnych na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR w wybranych w modelach grupy GM - 1.....	171
Rys. 6.3 Wpływ gęstości demograficznej autostrad $DME_{(D)}$ oraz wysokości płacy mieszkańców PAY na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w wypadkach RFR. Model RFR_PL_04_K2	173
Rys. 6.4 Wpływ wydatków na drogi wojewódzkie REXV oraz jednostkowego produktu krajowego brutto w przeliczeniu na mieszkańca GDPPC na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w wypadkach RFR. Model RFR_PL_07_K3.....	173
Rys. 6.5 Wykresy wskaźników elastyczności łukowej obrazującej wpływ wybranych zmiennych niezależnych na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych RFR w wybranych w modelach grupy GM - 2.....	174
Rys. 6.6 Wpływ gęstości demograficznej dróg ogółem DRD oraz wskaźnika motoryzacji pojazdów ogółem MRV na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w wypadkach RFR. Model RFR_10_K1.....	176
Rys. 6.7 Wpływ ilości szpitalnych oddziałów ratunkowych przypadających na 1 mln mieszkańców HEW/P oraz wydatków na drogi wojewódzkie REXV na względny wskaźnik ofiar śmiertelnych w wypadkach RFR. Model RFR_10_K2.....	176
Rys. 7.1 Wykres wartości modelowanych wzgl. wartości rzeczywistych. Model F_PL_07_K3	180
Rys. 7.2 Wykres wartości modelowanych wzgl. wartości rzeczywistych. Model F_PL_10_K1	181
Rys. 7.3 Schemat metodyki aplikacji opracowanych modeli wskaźnika RFR do potrzeb prognozowania liczby ofiar śmiertelnych F wybranego województwa.	182
Rys. 7.4 Wykres istniejącej i prognozowanej liczby ofiar śmiertelnych w woj. pomorskim zależności od różnych scenariuszy. Model z parametrem skali GDPPC.....	184
Rys. 7.5 Wykres istniejącej i prognozowanej liczby ofiar śmiertelnych w woj. pomorskim w zależności od różnych scenariuszy. Model z parametrem skali MRV.....	185
Rys. 7.6 Wykres istniejącej i prognozowanej liczby ofiar śmiertelnych w woj. kujawsko-pomorskim w zależności od różnych scenariuszy. Model z parametrem skali GDPPC.....	186
Rys. 7.7 Wykres istniejącej i prognozowanej liczby ofiar śmiertelnych w woj. śląskim w zależności od różnych scenariuszy. Model z parametrem skali MRV).....	188

Rys. 7.8 Wykres istniejącej i prognozowanej liczby ofiar śmiertelnych w woj. mazowieckim w zależności od różnych scenariuszy. 190

SPIS TABLIC

Tablica 1.1 Zestawienie przykładowych problemów wymienianych w programach poprawy brd.....	11
Tablica 3.1 Zestawienie wartości średniej, minimalnej i maksymalnej dla podstawowych charakterystyk w analizowanych trzech bazach danych.	61
Tablica 3.2 Zestawienie zmiennych niezależnych zbieranych w poszczególnych bazach danych.	64
Tablica 3.3	68
Tablica 3.4 Zestawienie wartości dla podstawowych charakterystyk w bazie danych europejskich.....	69
Tablica 3.5 Zestawienie wartości dla podstawowych charakterystyk w bazie danych polskich.	71
Tablica 3.6 Wartości statystyk podstawowych dla liczby ofiar śmiertelnych F w obu grupach danych z AP, oraz dla względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR we wszystkich stanach AP.	75
Tablica 3.7 Wartości statystyk podstawowych liczby ofiar śmiertelnych F oraz względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR dla obu grup danych z Europy.	78
Tablica 3.8 Wartości statystyk podstawowych liczby ofiar śmiertelnych F oraz względnego wskaźnika ofiar śmiertelnych RFR dla polskich województw w latach 1999-2008 i w latach 2009-2014.	83
Tablica 4.1 Wartości podobieństwa klastrów.	94
Tablica 4.2 Częściowe miary niejednorodności.....	95
Tablica 4.3 Wartość R^2 dla badanej funkcji zależności względnego wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych RFR od zmiennych niezależnych na przykładzie danych dla stanów AP.....	100
Tablica 4.4 Wartość R^2 dla badanej funkcji zależności wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych RFR od zmiennych niezależnych na przykładzie danych dla regionów UE.....	101
Tablica 4.5 Wartość R^2 dla badanej funkcji zależności wskaźnika liczby ofiar śmiertelnych RFR od zmiennych niezależnych na przykładzie danych dla województw PL. .	102
Tablica 5.1 Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.1	112
Tablica 5.2 Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.2.....	114
Tablica 5.3 Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.3.....	116
Tablica 5.4 Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.4.....	117
Tablica 5.5 Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.8.....	120
Tablica 5.6 Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.9.....	126
Tablica 5.7 Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.10.....	127



Tablica 5.8 Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.11	129
Tablica 5.9 Zestawienie parametrów i miar oceny analizowanych modeli opisanych wzorem 5.12	131
Tablica 5.10 Współczynniki modeli o wzorze ogólnym 5.13	132
Tablica 5.11 Współczynniki modeli o wzorze ogólnym 5.14	133
Tablica 5.12 Współczynniki modeli o wzorze ogólnym 5.15	133
Tablica 5.13 Wartości współczynników w opracowanych modelach. Kraje „rozwinęte” Europy.	136
Tablica 5.14 Zestawienie parametrów i miar oceny modeli regionalnych dla wybranych krajów wg modelu 5.26.	141
Tablica 5.15 Zestawienie parametrów i miar oceny modeli regionalnych dla wybranych krajów, model 5.30.	143
Tablica 5.16 Współczynniki i miary oceny modeli o wzorze ogólnym 5.35	146
Tablica 5.17 Współczynniki i miary oceny modeli o wzorze ogólnym 5.39	153
Tablica 5.18 Współczynniki i miary oceny modeli grupy GM-1.	157
Tablica 5.19 Współczynniki i miary oceny modeli grupy GM-2.	159
Tablica 5.20 Współczynniki i miary oceny skalibrowanych modeli o wzorze ogólnym GM-1.	164
Tablica 5.21 Współczynniki i miary oceny skalibrowanych modeli o wzorze ogólnym GM-2.	166
Tablica 6.1 Zbiorcze zestawienie wpływu zmiennych niezależnych na zmianę wskaźnika RFR w przypadku wzrostu wartości analizowanej zmiennej niezależnej o 1 %.	172
Tablica 6.2 Zbiorcze zestawienie wpływu zmiennych niezależnych na zmianę wskaźnika RFR w przypadku wzrostu wartości analizowanej zmiennej niezależnej o 1 %.	175
Tablica 7.1 Założona zmienność wybranych czynników w poszczególnych scenariuszach przedstawionych na rys. 7.4.	183
Tablica 7.2 Założona zmienność poszczególnych czynników w poszczególnych scenariuszach przedstawionych na rys. 7.5	185
Tablica 7.3 Założona zmienność poszczególnych czynników w poszczególnych scenariuszach przedstawionych na rys. 7.6.	187
Tablica 7.4 Założona zmienność wybranych czynników w poszczególnych scenariuszach przedstawionych na rys. 7.7.	189
Tablica 7.5 Założona zmienność danych czynników w poszczególnych scenariuszach przedstawionych na rys. 7.8	190

Załącznik - SPIS WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

P	-liczba mieszkańców [mln os./rok],
DP	-gęstość zaludnienia [os./km ² /rok],
PUP	-udział ludności mieszkającej w miastach [%],
PUP ₍₁₅₁₉₎	-udział populacji w wieku 15-19 lat [%],
PUP ₍₂₀₂₄₎	-udział populacji w wieku 20-24 lat [%],
PUP ₍₁₅₂₄₎	-udział populacji w wieku 15-24 lat [%],
PUP ₍₇₀₎	-udział populacji w wieku ponad 70 lat [%],
A	-powierzchnia obszaru [tys. km ² /rok],
UA	-powierzchnia zurbanizowana (lata 1999-2003) [tys. km ² /rok],
V	-liczba pojazdów ogółem [mln/rok],
MV	-liczba pojazdów motorowych (bez motocykli) [mln/rok],
MOV	-liczba motocykli [mln/rok],
PC	-liczba samochodów osobowych [mln/rok],
D	-liczba kierowców [mln/rok],
PMOV	-udział motocykli we wszystkich pojazdach [%],
PMV	-udział pojazdów motorowych we wszystkich pojazdach [%],
MRV	-wskaźnik motoryzacji pojazdów ogółem [poj./os./rok],
MRPC	-wskaźnik motoryzacji samochodów osobowych [poj./os./rok],
MRMO	-wskaźnik motoryzacji motocykli [poj./os./rok],
DV	-gęstość pojazdów ogółem [poj./km ² /rok],
DPC	-gęstość samochodów osobowych [poj./km ² /rok],
DMV	-gęstość pojazdów motorowych [poj./km ² /rok],
PPC	-udział samochodów osobowych [%],
VKT	-praca przewozowa [mld poj. km/rok]
VKTPC	-długość drogi przebytej pojazdami w przeliczeniu na mieszkańca [tys. km/os./rok],
VKTPV	-długość drogi przebytej pojazdami w przeliczeniu na pojazd [tys. km/poj./rok],
VKTPD	-średnie roczne natężenie ruchu na kilometr drogi krajowej [mln poj/km/rok],
S	-zmienna kodująca stolicę [10;1],
TR	-zmienna kodująca region o wysokim tranzycie [2;1],
S1	-limit prędkości na zamiejskich drogach międzystanowych dla samochodów osobowych [mile/godz.],
S2	-udział kierowców przekraczających dozwoloną prędkość na drogach zamiejskich [%],
S3	- udział kierowców przekraczających dozwoloną prędkość na drogach miejskich [%],
S4	- udział kierowców przekraczających dozwoloną prędkość na wszystkich drogach [%],
LR	-długość dróg ogółem [tys.km/rok],
LM	-długość autostrad [tys.km/rok],
LPR	-długość dróg twardych [tys.km/rok],
LUR	-długość dróg w terenie zabudowanym [tys.km/rok],

LUUR	-długość dróg w terenie niezabudowanym [tys.km/rok],
LX	-długość dróg ekspresowych [tys. km/rok],
LPUB	-długość dróg publicznych [tys. km/rok],
LN	-długość dróg krajowych [tys. km/rok],
LV	-długość dróg wojewódzkich [tys. km/rok],
LC	-długość dróg powiatowych [tys. km/rok],
LCO	-długość dróg gminnych [tys. km/rok],
DURH _(A)	-gęstość dróg miejskich o twardej nawierzchni [km/100 km ² /rok],
DUURH _(A)	-gęstość dróg zamiejskich o twardej nawierzchni [km/100 km ² /rok],
DURH _(D)	-gęstość demograficzna dróg miejskich o twardej nawierzchni [km/10 tys. os./rok],
DUURH _(D)	- gęstość demograficzna dróg zamiejskich o twardej nawierzchni [km/10 tys. os./rok],
DR _(A)	-gęstość dróg ogółem [km/km ² /rok],
DME _(A)	-gęstość autostrad [km/km ² /rok],
DPR _(A)	-gęstość dróg twardych [km/km ² /rok],
DBR _(A)	-gęstość dróg w terenie zabudowanym [km/km ² /rok],
DX _(A)	-gęstość dróg ekspresowych [km/km ² /rok],
DN _(A)	-gęstość dróg krajowych [km/km ² /rok],
DV _(A)	-gęstość dróg wojewódzkich [km/km ² /rok],
DC _(A)	-gęstość dróg powiatowych [km/km ² /rok],
DCO _(A)	-gęstość dróg gminnych [km/km ² /rok],
DR _(D)	-gęstość demograficzna dróg ogółem [tys. km/100 tys. os./rok],
DME _(D)	-gęstość demograficzna autostrad i dróg ekspresowych [tys. km/100 tys. os./rok],
DPR _(D)	-gęstość demograficzna dróg twardych [tys. km/100 tys. os./rok],
DMX _(D)	-gęstość demograficzna dróg ekspresowych [tys. km/100 tys. os./rok],
DN _(D)	-gęstość demograficzna dróg krajowych [tys. km/100 tys. os./rok],
DV _(D)	-gęstość demograficzna dróg wojewódzkich [tys. km/100 tys. os./rok],
DC _(D)	-gęstość demograficzna dróg powiatowych [tys. km/100 tys. os./rok],
DCO _(D)	-gęstość demograficzna dróg gminnych [tys. km/100 tys. os./rok],
PME	-udział procentowy autostrad [%],
PHER	-udział procentowy autostrad i dróg ekspresowych [%]
PPR	-udział dróg twardych [%]
LNR	-długość dróg krajowych [tys.km/rok],
LVR	-długość dróg wojewódzkich [tys.km/rok],
LCR	-długość dróg powiatowych [tys.km/rok],
LCOR	-długość dróg gminnych [tys.km/rok],
PUR	-udział dróg w terenie zabudowanym [%],
RUN	-wskaźnik bezrobocia [%],
PAY	-wynagrodzenie brutto [zł/rok],
PUA	-udział gruntów zabudowanych i zurbanizowanych w powierzchni ogółem [%],
UGR	-udział gruntów ornych [%],

GDP	-produkt narodowy brutto PPP (2005 international dolar) [mld dolarów]
GDPPC	-jednostkowy produkt krajowy brutto na mieszkańca PPP (2005 international dolar, w przypadku Polski 2010 international dolar) [tys. dolarów/os./rok],
INPC	-dochód narodowy na mieszkańca PPP (2005 international dolar) [tys. dolarów/os./rok],
REX	-wydatki budżetów województw [tys.zł/os./rok],
REXV	-wydatki na drogi wojewódzkie [mln zł/km/rok],
USB	-stopień stosowania pasów bezpieczeństwa [%],
ACPC	-wskaźnik konsumpcji alkoholu [l/os./rok],
TTC	-średni czas dowozu poszkodowanego karetką do szpitala (dane dla lat:1999-2004) [minuty],
FR _(I)	-wskaźnik śmiertelności białych noworodków [zm./1000 urodzonych],
LEIM	- wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia mężczyzn [lata],
LEIW	- wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia kobiet [lata],
LEI	- wskaźnik przeciętnej spodziewanej długości życia [lata],
RD	-wskaźnik lekarzy na 10 tys. mieszkańców [lekarze/10 tys. mieszkańców/rok],
HDI	-wskaźnik rozwoju społecznego [bez jednostki],
EDU _(S)	-udział licealistów i studentów [%],
EDU _(K)	-udział 4-latków i starszych w przedszkolach [%],
P _(SA)	-liczba osób korzystających ze świadczeń pomocy społecznej na 10 tys. mieszkańców [os./10 tys. mieszkańców/rok],
RT	-zachorowania na gruźlicę [osoby/rok],
IR _(J)	-wskaźnik uczniów przypadających na 1 komputer z dostępem do Internetu przeznaczony do użytku uczniów-gimnazja [uczniowie/komputer/rok],
IR _(P)	-wskaźnik uczniów przypadających na 1 komputer z dostępem do Internetu przeznaczony do użytku uczniów-szkoły podstawowe [uczniowie/komputer/rok],
HOSP	-szpitale publiczne [liczba/rok],
HOS	-szpitale ogółem [liczba/rok],
AMB	-zespoły ratownictwa medycznego i zespoły wyjazdowe [liczba/rok],
HEW	-szpitalne oddziały ratunkowe [liczba/rok],
F	-liczba ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych [tys./rok],
RFR	-względny wskaźnik zabitych w wypadkach drogowych [liczba/100 tys. mieszk./rok],
DRN	-gęstość wypadków na jeden km drogi krajowej [wyp./km/rok],
DRI	-gęstość rannych na jeden km drogi krajowej [ranni/km/rok],
DRF	-gęstość ofiar śmiertelnych na jeden km drogi krajowej [ofiary/km/rok],
DRHI	-gęstość ciężko rannych na jeden km drogi krajowej [ranni/km/rok].