

UNIWERSYTET ŁÓDZKI
WYDZIAŁ EKONOMICZNO-SOCJOLOGICZNY

Anna Weszczak
rozprawa doktorska

**EKONOMICZNE I SPOŁECZNE DETERMINANTY
BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO W POLSCE
ANALIZY REGIONALNE**

Promotor rozprawy doktorskiej:
Prof. dr hab. Bogdan Suchecki

Łódź 2018

Spis treści	
WSTĘP	4
ROZDZIAŁ 1	13
ZNACZENIE BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO ORAZ DZIAŁANIA PODJĘTE W CELU JEGO POPRAWY	13
1.1. Wprowadzenie.....	13
1.2. Efekty zewnętrzne transportu.....	14
1.3. Bezpieczeństwo ruchu drogowego – definicje.....	20
1.4. Koszty wypadków drogowych.....	23
1.5. Działania ukierunkowane na poprawę bezpieczeństwa w ruchu drogowym...	29
1.6. Podsumowanie	46
ROZDZIAŁ 2	48
CHARAKTERYSTYKA CZYNNIKÓW KSZTAŁTUJĄCYCH POZIOM BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO W POLSCE W LATACH 1995 - 2014	48
2.1. Wprowadzenie	48
2.2. Poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego na świecie	49
2.3. Bezpieczeństwo ruchu drogowego w Polsce	53
2.4. Charakterystyka wybranych czynników wpływających na poziom zdarzeń drogowych w Polsce	61
2.4.1. Produkt Krajowy Brutto <i>per capita</i>	62
2.4.2. Długość sieci drogowej w Polsce	66
2.4.3. Wydatki ponoszone na budowę oraz modernizację infrastruktury drogowej	70
2.4.4. Jakość infrastruktury drogowej.....	73
2.4.5. Stopień zmotoryzowania mieszkańców.....	77
2.4.6. Obciążenie sieci drogowej.....	79
2.4.7. Czynniki ludzki w kształtowaniu poziomu BRD.....	81
2.5. Podsumowanie	87
ROZDZIAŁ 3	89
CHARAKTERYSTYKA I WYKORZYSTANIE WYBRANYCH METOD STATYSTYKI I EKONOMETRII PRZESTRZENNEJ W ANALIZIE BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO	89
3.1. Wprowadzenie	89
3.2. Teorie powstawania wypadków.....	90
3.3. Autokorelacja przestrzenna.....	94
3.4. Statystyka Morana <i>I</i>	97

3.5. Modele przestrzenne	100
3.6. Charakterystyka Krzywej Kuzneta.....	103
3.7. Modele panelowe.....	108
3.8. Analiza skupień.....	110
3.8. Podsumowanie	116
ROZDZIAŁ 4	117
REZULTATY MODELOWANIA EKONOMETRYCZNEGO	117
4.1. Wprowadzenie	117
4.2. Przegląd międzynarodowych badań z zakresu bezpieczeństwa ruchu drogowego 118	
4.3. Przegląd polskiej literatury z zakresu bezpieczeństwa ruchu drogowego	133
4.4. Modelowanie bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce.....	139
4.4.1. Grupowanie regionów Polski pod względem poziomu bezpieczeństwa w ruchu drogowym	145
4.4.2. Interakcje przestrzenne w modelowaniu BRD	150
4.4.3. Wykorzystanie modeli przestrzennych w estymacji bezpieczeństwa ruchu drogowego	153
4.4.4. Modelowanie BRD na podstawie Środowiskowych Krzywych Kuzneta. 165	
4.5. Podsumowanie	170
ZAKOŃCZENIE	174
BIBLIOGRAFIA	178
SPIS TABLIC.....	193
SPIS RYSUNKÓW	196
ZAŁĄCZNIKI.....	200

WSTĘP

Transport jest bardzo ważnym a wręcz niezbędnym elementem gospodarki narodowej. Trudno sobie wyobrazić jakikolwiek dział gospodarki, produkcji czy rodzaj usług, który mógłby sprawnie funkcjonować bez konieczności zaspokajania potrzeb przemieszczania osób i towarów. Jak zauważa K. Wojewódzka-Król [2016, s. 7] transport jest częścią gospodarki światowej na tyle istotną, że można go uznać za czynnik sprawczy wielu zjawisk i procesów. Niektórzy autorzy, podkreślając ważną rolę transportu w rozwoju społeczno-gospodarczym każdego państwa, porównują sieci transportowe do krwioobiegu organizmu państwowego. Jak podkreśla I. Tarski [1985, s. 21] zapotrzebowanie człowieka na transport jest wieczne i wszechogarniające. Jest jednakowo istotne w jego ekonomicznej, politycznej, religijnej, oświatowej i kulturalnej działalności.

A. Domańska [2006, s. 15] zauważa, iż infrastrukturalna sieć połączeń transportowych spaja przestrzeń, umożliwiając szeroko rozumiane kontakty międzyludzkie w sferach: gospodarczej, społecznej, kulturowej i prywatnej. Potrzeba przemieszczania osób i towarów wynika z faktu, iż człowiek żyje i prowadzi działalność w przestrzeni. Ze względu na rozproszenie podmiotów gospodarczych i w związku z tym konieczność pokonywania pewnych odległości, stanowi on spoiwo procesów wytwarzania, wymiany oraz konsumpcji dóbr materialnych.

Można powiedzieć, iż system transportowy pełni funkcję czynnika urbanizacji i industrializacji przestrzennej, przyczynia się do budowy miast i osiedli, lokalizacji produkcji. Bez niego funkcjonowanie gospodarki i społeczeństwa nie byłoby możliwe, gdyż nie istniałaby wymiana handlowa, zmiana lokalizacji produktów i usług, przemieszczanie się osób, turystyka. Według E. Mendyka [2009, s. 22] transport źle funkcjonujący staje się przeszkodą w rozwoju gospodarczym kraju, natomiast prawidłowo działający sprzyja rozwojowi kraju i może też stać się źródłem bezinwestycyjnego wzrostu gospodarczego.

Uwidacznia się tu ważna właściwość transportu, jaką jest oddziaływanie na kształtowanie się ładu przestrzennego, czyli takiego rozmieszczenia na określonym terenie osiedli mieszkaniowych, zakładów produkcyjnych bądź punktów usługowych by zagwarantować harmonijne zaspokajanie potrzeb społecznych. System transportowy musi zatem być tak zorganizowany by zapewnić sprawne przemieszczanie się osób oraz

przepływ towarów między źródłami zaopatrzenia w surowce i produkty a miejscem ich zbytu.

Również życie społeczne i kulturalne człowieka jest silnie uwarunkowane stopniem jego rozwoju. Proces globalizacji nieuchronnie prowadzi do zwiększonego zapotrzebowania na usługi przewozowe na wszystkich kontynentach. Wzrost dochodów indywidualnych ludności, poprawa ogólnego stanu zdrowia oraz zwiększona przeciętna długość życia implikują chęć podróżowania.

Jednym z głównych celów polityki Unii Europejskiej jest dążenie do zrównoważonego transportu. Zarządzanie rozwojem transportu musi prowadzić do maksymalizacji jego efektywności ekonomicznej przy jednoczesnym ograniczeniu negatywnych efektów zewnętrznych. Mimo wielu oczywistych zalet oraz olbrzymiego znaczenia transportu dla rozwoju całej gospodarki, nie można pominąć bardzo ważnej kwestii jaką są jego koszty zewnętrzne. Wymienić tu należy między innymi hałas, zanieczyszczenie powietrza, zmiany klimatu, przeciążenie sieci drogowej oraz zdarzenia drogowe, które stanowią przedmiot niniejszej rozprawy.

W wyniku wypadków drogowych, każdego roku na całym świecie ponad milion osób traci życie, co generuje olbrzymie straty dla całej gospodarki. Są to koszty materialne związane ze zniszczeniem pojazdów, infrastruktury drogowej ale także straty społeczne w postaci utraty zdrowia, życia, traumy powypadkowej. Stratami tymi są dotknięte nie tylko osoby uczestniczące w wypadku ale także pozostali członkowie rodziny. Trwała lub czasowa niezdolność do pracy uczestnika wypadku przekłada się na zmniejszenie, a w najbardziej tragicznych sytuacjach, na całkowitą utratę zarobków. W przypadku, gdy bliscy muszą podjąć się opieki nad poszkodowanym, pogorszeniu może także ulec sytuacja finansowa opiekuna.

Ciężkie obrażenia ciała w wyniku wypadku drogowego mogą skutkować długotrwałą bądź dożywotnią niezdolnością do pracy, co jest odczuwane również przez pracodawców i całą gospodarkę państwową. Pracodawca zmuszony jest zastąpić pracownika, co wymaga zaangażowania czasu i środków pieniężnych na przeprowadzenie rekrutacji i przeszkolenie nowej osoby. Z kolei straty budżetu państwa wynikają z konieczności ponoszenia przez rząd wydatków na opiekę medyczną i psychologiczną, programy pomocy społecznej, funkcjonowanie służb policyjnych, straży pożarnej, więziennictwa, sądownictwa, wypłatę powypadkowych rent inwalidzkich lub rent rodzinnych dla osób, które straciły członka rodziny. Zgodnie z szacunkami Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w 2015 roku w Polsce straty gospodarki z powodu

wypadków drogowych wyniosły 33,6 mld PLN, co stanowi ponad 2% PKB. Z kolei straty z tytułu wszystkich zdarzeń drogowych sięgnęły aż 3% PKB.

Poprawa poziomu bezpieczeństwa, a zwłaszcza ograniczenie liczby ofiar śmiertelnych stanowi przedmiot zainteresowania agencji rządowych wielu krajów. Historia prac nad zagadnieniem BRD sięga lat 90-tych, kiedy poziom wypadkowości w krajach wysoko rozwiniętych osiągnął poziom krytyczny. Powstało wiele organizacji, programów i strategii zarówno na szczeblu międzynarodowym jak i krajowym. Duży nacisk kładzie się na projektowanie infrastruktury drogowej i transportu miejskiego już na etapie planowania przestrzennego. Prowadzone są działania ukierunkowane na podniesienie poziomu bezpieczeństwa pojazdów poprzez wprowadzanie nowych rozwiązań technologicznych i obowiązek prowadzenia regularnych kontroli stanu technicznego. Podejmowane są akcje edukacyjne uczestników ruchu drogowego, wprowadzono obowiązek stosowania fotelików dla dzieci, pasów bezpieczeństwa, kasków, przeprowadzane są częste kontrole trzeźwości kierowców oraz prędkości jazdy.

W części teoretycznej niniejsza dysertacja zawiera charakterystykę problemu bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce na szczeblu regionalnym oraz prezentuje działania ukierunkowane na jego poprawę. W części metodologicznej omawiane są metody ilościowe wykorzystywane do badania zależności zachodzących między poziomem BRD a różnymi zmiennymi społecznymi i ekonomicznymi. W części empirycznej rozprawy Autorka starała się wykorzystać istniejące narzędzia statystyki i ekonometrii dla realizacji zasadniczego celu rozprawy, mianowicie określenia społecznych i ekonomicznych determinant bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce.

W jednej z postawionych w niniejszej pracy hipotez przyjęto założenie, iż poziom BRD zależy od stopnia rozwoju gospodarczego regionu. Do weryfikacji tej hipotezy wykorzystane zostały równania oparte na koncepcji Środowiskowych Krzywych Kuzneta (*EKC*) co dotąd nie było uwzględniane w badaniach regionalnych bezpieczeństwa drogowego.

Wnioski otrzymane na podstawie przeprowadzonych analiz mogą stanowić wsparcie dla władz krajowych, regionalnych i lokalnych w formułowaniu strategii działań skoncentrowanych na ograniczaniu liczby wypadków drogowych i ich ofiar.

CEL PRACY

Głównym celem badań empirycznych realizowanych w ramach niniejszej dysertacji jest identyfikacja czynników społecznych i ekonomicznych wpływających na

kształtowanie się liczby ofiar śmiertelnych i wypadków drogowych oraz przestrzenna analiza poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce w latach 1995 – 2014.

Osiągnięcie celu głównego rozprawy wymaga zrealizowania celów szczegółowych, którymi są:

1. Cele poznawcze:

- charakterystyka poziomu bezpieczeństwa w Polsce w określonym horyzoncie czasowym,
- identyfikacja działań ukierunkowanych na poprawę BRD,
- próba identyfikacji koncentracji przestrzennej obszarów szczególnie niebezpiecznych,
- określenie czynników mogących determinować powstawanie wypadków drogowych.

2. Cele dodatkowe:

- dobór miar służących opisaniu bezpieczeństwa ruchu drogowego w przestrzeni regionalnej,
- wybór odpowiedniej postaci Środowiskowej Krzywej Kuzneta,
- wyznaczenie poziomu PKB *per capita* stanowiącego punkt zwrotny (ang. *Turning points – TP*) w kształtowaniu się poziomu BRD,
- ocena szybkości osiągnięcia punktu zwrotnego w poszczególnych regionach,
- wskazanie zależności zachodzących między cechami społecznymi i ekonomicznymi a poziomem BRD.

GLÓWNE HIPOTEZY BADAWCZE

Przy realizacji kolejnych etapów badań empirycznych sformułowano i weryfikowano dwie podstawowe hipotezy badawcze:

1. W kształtowaniu się wskaźników zagrożenia w Polsce istotny jest wpływ pewnych zmiennych społecznych i ekonomicznych, a ponadto występują interakcje przestrzenne według podregionów.
2. Wzrost gospodarczy regionu w początkowym okresie implikuje zwiększenie wskaźników zagrożenia, jednak po przekroczeniu oszacowanej na podstawie Krzywej Kuzneta wartości punktu zwrotnego, rozwój ten przyczynia się do poprawy poziomu bezpieczeństwa.

CHARAKTERYSTYKA ZASTOSOWANYCH METOD BADAWCZYCH

W pierwszym etapie realizacji niniejszej rozprawy doktorskiej dokonano przeglądu dostępnej literatury przedmiotu. Zebrano i poddano analizie liczne krajowe i zagraniczne opracowania naukowe, dokumenty, strategie, literaturę oraz dotychczasowe badania z zakresu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Umożliwiło to dokonanie zestawienia działań podejmowanych w celu ograniczenia liczby ofiar śmiertelnych i wypadków drogowych, oszacowanie kosztów jakie są generowane przez zdarzenia drogowe oraz identyfikację społecznych i gospodarczych zmiennych wpływających na kształtowanie się poziomu BRD w Polsce.

W drugim etapie badań, umożliwiającym realizację celów badawczych i weryfikację postawionych hipotez, zbudowano bazę danych i zastosowano narzędzia statystyki i ekonometrii przestrzennej.

Pierwszym krokiem analizy było zbadanie związków korelacyjnych między poszczególnymi zmiennymi społecznymi i ekonomicznymi. Ponadto, przeprowadzono grupowanie podobnych regionów w oparciu o wytypowane zmienne, do czego posłużyły metody analizy skupień. Globalne i lokalne statystyki Morana *I* oraz analizy *hot-spot* Getisa-Orda zostały zastosowane do przestrzennej identyfikacji klastrów.

W drugim kroku dokonano szczegółowych analiz zależności zachodzących pomiędzy zaproponowanymi wskaźnikami zagrożenia i wybranymi zmiennymi przyczynowymi. Na podstawie literatury przedmiotu oraz licznych opracowań i dokumentów za determinanty poziomu BRD uznano: PKB *per capita*, udział pojazdów ciężkich w ogólnej liczbie pojazdów, współczynnik zmotoryzowania mieszkańców, długość sieci drogowej, wydatki gmin i powiatów w dziale 600 – Transport i Łączność, stopę bezrobocia, poziom opieki zdrowotnej, płeć, udział osób powyżej 65 roku życia i udział osób, które nie ukończyły jeszcze 24 lat w ogólnej liczbie populacji.

Zastosowanie modeli regresji przestrzennej (modeli z autokorelacją przestrzenną składnika losowego SEM, modeli autoregresji przestrzennej SAR oraz modeli z przestrzenną filtracją zmiennych objaśniających SCM) umożliwiło ocenę istotności statystycznej poszczególnych zmiennych objaśniających (z uwzględnieniem interakcji przestrzennych warunkujących kształtowanie się poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego).

Z kolei narzędziem wykorzystanym do potwierdzenia związku między określonym poziomem dochodu *per capita* a stanem bezpieczeństwa drogowego są Środowiskowe Krzywe Kuzneta.

Większość obliczeń i wizualizacji wykonano z zastosowaniem oprogramowania: ArcView, GeoDa, Gretl, STATA, Statistica.

Źródła danych:

Dane statystyczne wykorzystane do analiz pochodzą z Banku Danych Lokalnych (BDL), raportów WHO, raportów rocznych Komendy Głównej Policji, raportu: *External costs of transport* sporządzonego przez INFRAS oraz IWW, raportu Europejskiej Agencji Ochrony Środowiska: *Transport emissions of air pollutants (TERM 003)*, Instytutu Badawczego Dróg i Mostów oraz Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego.

Badaniem objęto 16 województw Polski w latach 1995 – 2014 oraz 72 podregiony w roku 2014.

SPOSÓB OPRACOWANIA I WYKORZYSTANIA WYNIKÓW BADAŃ

Rozwój transportu przynosi niewątpliwie wiele korzyści dla gospodarki kraju i poprawy jakości życia społeczeństwa. Z drugiej strony jednak, generuje koszty zewnętrzne w postaci wypadków i kolizji drogowych. Zdarzenia drogowe powodują nie tylko straty materialne, ale przede wszystkim prowadzą do śmierci bądź kalectwa wielu ludzi. Wyznaczenie i pomiar siły oddziaływania zmiennych społecznych i ekonomicznych stanowi istotny czynnik umożliwiający podniesienie poziomu bezpieczeństwa na polskich drogach. Nie bez znaczenia jest również umiejętność korzystania z dobrych praktyk krajów, które wcześniej podjęły działania ukierunkowane na poprawę BRD. W ostatnich latach Polsce udało się ograniczyć liczbę ofiar śmiertelnych przypadających na 1 mln mieszkańców. Pozostałe kraje UE osiągnęły jednak znacznie lepsze rezultaty. W 2014 roku Polska w rankingu śmiertelności w wyniku wypadków drogowych notowana jest na jednym z ostatnich miejsc. Wydaje się, iż analizy empiryczne są wciąż potrzebne.

W niniejszej pracy zastosowano metody statystyki przestrzennej oraz skonstruowano i weryfikowano modele ekonometrii przestrzennej, co można uznać za stosunkowo nowe podejście w badaniach z tego zakresu. Wnioski uzyskane na podstawie przeprowadzonych badań mogą być wykorzystane przez władze regionalne i krajowe przy formułowaniu programów podnoszących BRD.

TREŚĆ PRACY

Praca ma charakter teoretyczno-empiryczny i składa się z wprowadzenia, czterech rozdziałów, zakończenia, załączników i bibliografii. W pierwszych dwóch rozdziałach skoncentrowano się na przedstawieniu problemu bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz czynników mogących mieć wpływ na jego poziom, zaś dwa kolejne zawierają charakterystykę metod badawczych oraz prezentację i interpretację otrzymanych wyników.

W **pierwszym rozdziale** „*Znaczenie bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz działania podjęte w celu jego poprawy*” przybliżono problematykę transportu jako nieodłącznego elementu każdego systemu gospodarczego. Podkreślono jego znaczenie w prawidłowym działaniu każdej gospodarki jak również zwrócono uwagę na generowane przez niego efekty zewnętrzne w postaci hałasu, zanieczyszczenia powietrza, zmian klimatu, przeciążenia sieci drogowej oraz wypadków drogowych.

W dalszej części rozdziału skoncentrowano się na zdarzeniach drogowych, które stanowią przedmiot niniejszej rozprawy. W pierwszej kolejności wyjaśniono podstawowe definicje i pojęcia związane z zagadnieniem bezpieczeństwa ruchu drogowego, następnie skoncentrowano się na przedstawieniu kosztów powstałych w wyniku zdarzeń drogowych a ponoszonych przez całą gospodarkę oraz społeczeństwo.

W niniejszym rozdziale został ponadto sporządzony wykaz działań podejmowanych przez liczne krajowe i międzynarodowe instytucje i organizacje w celu poprawy poziomu BRD. Na koniec przytoczono ocenę polskiego systemu bezpieczeństwa w świetle raportu Międzynarodowego Banku Odbudowy i Rozwoju / Banku Światowego.

Rozdział drugi o tytule „*Charakterystyka czynników kształtujących poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce w latach 1995 - 2014*” jest diagnozą stanu bezpieczeństwa na świecie i w poszczególnych regionach Polski a także zawiera prezentację potencjalnych czynników powstawania wypadków drogowych. Analizie poddane zostały jedynie te zmienne, dla których dostępne są oficjalne informacje statystyczne. Na podstawie dostępnej literatury i dokumentów jako najważniejsze czynniki przyczynowe przyjęto: Produkt Krajowy Brutto *per capita*, długość sieci drogowej, wydatki ponoszone w dziale 600, jakość infrastruktury drogowej, stopień zmotoryzowania mieszkańców, obciążenie sieci drogowej, poziom opieki medycznej, płeć, stopę bezrobocia, udział osób starszych i osób młodych w ogóle populacji.

W **rozdziale trzecim** zatytułowanym „*Charakterystyka i wykorzystanie wybranych metod statystyki i ekonometrii przestrzennej w analizie bezpieczeństwa ruchu drogowego*” przedstawiono podstawowe teorie powstawania wypadków drogowych oraz metody i modele wykorzystywane w empirycznej części dysertacji.

Do opisu problemów kształtowania się bezpieczeństwa ruchu drogowego zaproponowano zastosować miary koncentracji przestrzennej, statystyki Morana *I*, analizy skupień a także przybliżono budowę modeli panelowych z efektami stałymi FEM i z efektami losowymi REM oraz modeli przestrzennych: modeli z autokorelacją przestrzenną składnika losowego SEM, modeli autoregresji przestrzennej SAR i modeli regresji krzyżowej SCM.

Uwagę skupiono także na charakterystyce i możliwościach diagnostycznych modeli opartych na Środowiskowej Krzywej Kuznetsa (*EKC*), które zostały zastosowane do badania zależności zachodzących pomiędzy poziomem bezpieczeństwa w ruchu drogowym a wartością Produktu Krajowego Brutto *per capita*.

Ostatni **czwarty rozdział** „*Rezultaty modelowania ekonometrycznego*” zawiera przegląd polskich i międzynarodowych badań z zakresu modelowania i prognozowania ekonometrycznego bezpieczeństwa ruchu drogowego. W dalszej części zaprezentowano wyniki weryfikacji empirycznej wybranych modeli BRD. Ze względu na brak wystarczająco długich szeregów czasowych w układzie jednostek terytorialnych NUTS 3, analiza została przeprowadzona dwutorowo. W pierwszym kroku diagnozowano występowanie interakcji przestrzennych oraz estymowano modele SAR, SEM i SCM zaś w drugim oszacowano modele Krzywej Kuznetsa.

Konstrukcja zaproponowanych postaci równań opisujących wybrane wskaźniki zagrożenia uwzględniała odpowiednie struktury interakcji przestrzennych – regresji krzyżowej, autokorelacji i autoregresji przestrzennej. Powiązania przestrzenne testowanych zmiennych ustalone są w oparciu o macierz sąsiedztwa pierwszego rzędu w konfiguracji królowej. Rezultaty estymacji umożliwiły przeprowadzenie oceny powiązań istniejących między wskaźnikami zagrożenia a wytypowanymi cechami społecznymi i ekonomicznymi a ich otoczeniem.

Testowanie hipotezy EKC pozwoliło na bardziej precyzyjne określenie związków zachodzących pomiędzy rozwojem gospodarczym a poziomem bezpieczeństwa. Zgodnie z założeniami klasycznej postaci Krzywej EKC poziom wypadkowości drogowej będzie wzrastać do pewnego momentu. Po pewnym czasie zostanie jednak osiągnięty poziom dochodu, który pozwoli na poprawę bezpieczeństwa drogowego. Niekiedy jednak dzieje

się tak, iż przekroczony zostaje drugi punkt zwrotny, od którego ponownie obserwuje się wzrost wskaźników zagrożenia. W końcowej części tego rozdziału przeprowadzono weryfikację hipotezy Krzywej Kuzneta przy zastosowaniu modeli panelowych FEM i REM. Poszukiwano punktów zwrotnych dla poszczególnych województw oraz wyznaczono właściwe typy krzywych (wielomiany drugiego bądź trzeciego stopnia).

W **zakończeniu** dokonano podsumowania rezultatów i wniosków płynących z przeprowadzonych badań nad bezpieczeństwem w ruchu drogowym. Wydaje się, iż otrzymane wyniki mogą być przydatne dla władz samorządowych i krajowych w procesie usprawniania zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego. Prezentowane dyskusje i analizy mogą także stanowić wsparcie w formułowaniu zintegrowanych strategii w systemie transportowym.

ROZDZIAŁ 1

ZNACZENIE BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO ORAZ DZIAŁANIA PODJĘTE W CELU JEGO POPRAWY

1.1. Wprowadzenie

Problematyka transportu jest bardzo złożona, co wynika z faktu, iż spełnia on różnorodne zadania i jest silnie powiązany z rozwojem gospodarczym. Według F. Krzykały [2004, s. 11] transport stał się nie tylko fenomenem kulturowym współczesnego społeczeństwa, lecz również największym kompleksem cywilizacyjnym w życiu społeczno-gospodarczo-politycznym każdego rozwiniętego państwa. Nie ma takiego działu gospodarki, rodzaju usług czy produkcji, który mógłby sprawnie funkcjonować bez mniejszego czy większego udziału transportu. W. Grzywacz i J. Burnewicz [1989, s. 43] zauważają, iż każda działalność gospodarcza jest poprzedzana działalnością transportową, np. dowozem surowców, materiałów oraz powoduje w następstwie określone skutki transportowe – wywóz produktów, odpadów itp.

Dzięki przemieszczaniu dóbr i ludności oraz zapewnieniu efektywnego wykorzystania naturalnych bogactw danego rejonu, transport stanowi łącznik między poszczególnymi rejonami oraz jest znaczącym czynnikiem lokalizacji ośrodków produkcji lub konsumpcji. Należy mieć na uwadze, iż koszty przewozu towarów z miejsca wytwarzania do rynków zbytu stanowią istotny element kosztów produkcji. Właściwe rozmieszczenie infrastruktury transportowej ma zatem istotny wpływ na ich minimalizację.

Mimo niewątpliwych korzyści wynikających z działalności transportowej należy zwrócić uwagę na jego koszty zewnętrzne, którymi są hałas, zanieczyszczenie powietrza, zmiany klimatu, przeciążenie sieci drogowej oraz wypadki drogowe, które stanowią przedmiot niniejszej rozprawy.

Termin *bezpieczeństwo ruchu drogowego* (BRD) odnosi się do zbioru zasad dotyczących bezpiecznego poruszania się po drogach oraz odpowiednich warunków ruchu drogowego, organizacji ruchu drogowego, nadzoru ruchu. To także zagadnienia związane ze szkoleniami i egzaminowaniem kierowców, ratownictwem medycznym, stanem technicznym pojazdów i zakresem ich kontroli a także z kreowaniem właściwych

zachowań wszystkich uczestników ruchu drogowego. Bezpieczeństwo ruchu drogowego nie jest nowym problemem, jednak w ciągu ostatniego dziesięciolecia coraz bardziej rośnie świadomość negatywnych skutków wynikających z dużej śmiertelności w wyniku wypadków drogowych. Problem bezpieczeństwa zyskał wymiar międzynarodowy i doprowadził do podjęcia współpracy przez wiele krajów. Powstało wiele opracowań szacujących rozmiar szkód ekonomicznych i społecznych generowanych przez wypadki. Opublikowano także dyrektywy określające konieczność włączenia się poszczególnych państw do wspólnych działań w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego.

1.2. Efekty zewnętrzne transportu

Zgodnie z definicją zaproponowaną przez W. Rothengattera [2000, s. 60 – 64] za efekty zewnętrzne transportu uznaje się:

- interakcje o charakterze niedobrowolnym zachodzące między podmiotami wspólnie korzystającymi z określonego dobra, którego prawa własności nie zostały określone;
- niedoskonałości rynku, które zmniejszają efektywność działalności;
- interakcje zachodzące poza rynkiem, na którym powstały, przy czym zarówno pozytywne jak i negatywne efekty będące wynikiem działalności danego podmiotu gospodarczego odpowiedzialnego za ich powstanie nie są zaliczane do jego rachunku wyników.

Jak już było wspomniane, rozwój transportu niewątpliwie przynosi wiele korzyści, jednak przyczynia się również do powstawania negatywnych efektów zewnętrznych, które stanowią barierę rozwoju gospodarczego. Można wyodrębnić wewnętrzne i zewnętrzne koszty transportu (tab. 1.1).

Pierwsze z nich ponoszone są przez przedsiębiorcę, są to tzw. koszty własne produkcji. Natomiast **koszty zewnętrzne transportu** oznaczają koszty społeczne powodowane przez środki transportu, ale nie pokrywane przez indywidualnego przewoźnika. Jak zauważa A. Wielądek [2008, s. 682] w poszczególnych gałęziach transportu stosowane są różne podatki i obciążenia w związku z tym koszty zewnętrzne trzeba analizować indywidualnie, z punktu widzenia każdej kategorii kosztów.

Ogólna klasyfikacja społecznych kosztów transportu, z uwzględnieniem podziału na koszty wewnętrzne i zewnętrzne została przedstawiona w Zielonej Księdze Komisji Wspólnot Europejskich z dnia 29 grudnia 1995 r. [Wspólnota Europejska, 1995].

Tablica 1.1. Klasyfikacja kosztów transportu

Kategorie kosztów	Koszty społeczne	
	Koszty wewnętrzne/prywatne	Koszty zewnętrzne
Wydatki transportowe	Koszty paliwa i pojazdów, bilety/przewoźne.	Koszty ponoszone przez innych (np. bezpłatne zapewnienie miejsc parkingowych).
Koszty infrastruktury	Opłaty przewoźnika, podatki od pojazdu i akcyzy paliwowe.	Niepokryte koszty infrastruktury.
Koszty wypadku	Koszty pokrywane przez ubezpieczenie, własne koszty wypadku.	Niepokryte koszty wypadku (np. ból i cierpienie spowodowane u innych).
Koszty środowiska naturalnego	Straty własne.	Niepokryte koszty środowiskowe (np. utrudnienie spowodowane hałasem u innych).
koszty kongestii	Koszty czasu własnego.	Koszty opóźnień/straty czasu spowodowane u innych.

Źródło: Wspólnota Europejska, 1995.

Jak podaje S. Puławska [2008] publikacja ta rozpoczęła dyskusję o konieczności zwrócenia uwagi na koszty zewnętrzne transportu. Spowodowało to wpisanie do Białej Księgi z 2001 roku zaleceń działań sprzyjających zrównoważonemu rozwojowi transportu.¹

T. Borys [2005] wyróżnił wąskie i szerokie podejście do pojęcia zrównoważonego transportu. W ujęciu wąskim opierającym się na idei ekorozwoju, podkreśla się problem wyczerpywania się zasobów, występowania zmian klimatycznych czy pogarszaniu jakości środowiska. Z kolei ujęcie szerokie kojarzone jest z łaodem zintegrowanym co oznacza, iż transport realizowany jest w sposób uwzględniający potrzeby społeczne, ekonomiczne a także środowiskowe.

Zgodnie z definicją przedstawioną przez Europejską Konferencję Ministrów Transportu OECD [2004, s.17] zrównoważony system transportowy powinien zapewniać równowagę między jego społecznymi i gospodarczymi elementami a ochroną środowiska i rozwojem przestrzennym. Oznacza to, iż jest to system, który [na podstawie Borys, Markowska, Brzozowski, 2008, s. 172]:

- gwarantuje swobodny dostęp do systemu transportowego, jest bezpieczny i spójny z potrzebami zdrowia ludzkiego i ekosystemów a także jest zgodny z wartościami kapitałowymi w obrębie danego pokolenia i w skali międzypokoleniowej;
- jest przystępny cenowo, zapewnia wybór środków transportu oraz wspiera rozwój gospodarki;

¹ Szerzej na temat zrównoważonego rozwoju transportu w B. Pawłowska [2013].

– ogranicza natężenie hałasu oraz emisji spalin i odpadów, zmniejsza zużycie zasobów nieodnawialnych i wykorzystanie gruntów a także redukuje konsumpcję zasobów odnawialnych i wtórnie korzysta z ich elementów.

Problemami kosztów zewnętrznych transportu samochodowego zajmują się wszystkie międzynarodowe organy i instytucje: Unia Europejska, Europejska Konferencja Ministrów Transportu (EKMT), OECD, Komitet Transportu Wewnętrznego EKG ONZ, IRU i inne podmioty międzynarodowe [Burnewicz, 2005].

Komitety techniczne, w których gestii leży opracowanie strategii w obszarze transportu krajów członkowskich UE, przygotowały metodologie kalkulacji zewnętrznych kosztów transportu. Wymienić tu można Metodę Gotowości do Zapłaty (*Willingness to Pay, WTP*) oraz Metodę Gotowości do Przyjęcia Rekompensaty (*Willingness to Accept, WTA*). Pierwsza z nich polega na uzyskaniu od potencjalnych lub aktualnych użytkowników odpowiedzi na pytanie, ile byliby gotowi zapłacić za określone dobro utracone w związku z negatywnym oddziaływaniem na środowisko analizowanej gałęzi transportu (środków transportu) [Burdzik, Kabot, Cieśla, 2014, s. 12]. Metoda WTA z kolei polega na „wyznaczeniu kwoty, którą trzeba by zapłacić jednostce za odstąpienie dobra, tak aby jednostka zachowała taki sam poziom dobrobytu, jak w sytuacji gdyby zatrzymała dobro i nie otrzymała pieniędzy [Żak, Kłodawski, Lewczuk, Gołębiowski, Jacyna-Gołda, 2014, s. 2611].

W latach 1995 i 2000 przeprowadzono badania kosztów zewnętrznych transportu, które dotyczyły państw UE-15, Norwegii oraz Szwajcarii. Wyniki badań zostały ujęte w raportach *External costs of transport* [Schreyer, Schneider, Maibach, Rothengatter, Doll, Schmedding, 2004] sporządzonych przez INFRAS oraz IWW. Po pięciu latach opublikowano kolejną aktualizację badań, które dotyczyły 2008 roku i uwzględniały powiększenie UE do 27 państw [Schroten, Essen, Otten, Sutter, Schreyer, Maibach, Zandonella, Rothengatter, Doll, 2011]. Podobnie jak w poprzednich raportach, dodatkowo uwzględniono Norwęgę i Szwajcarię, jednakże nie ujęto Cypru oraz Malty.

Zgodnie z raportem można wyróżnić 10 podstawowych kategorii zewnętrznych kosztów transportu.

1. Wypadki – do których dochodzi we wszystkich gałęziach transportu jednak najczęściej zdarzają się w transporcie drogowym. Koszty te związane są nie tylko z opieką medyczną, której wymagają poszkodowani, odszkodowaniami za straty poniesione przez rodzinę ofiary bądź działalnością organów wymiaru sprawiedliwości, policji, straży pożarnej i innych, ale także z potencjalnymi stratami ekonomicznymi. Ich

równoważnikiem jest wartość produkcji netto, jaką mogłaby wytworzyć ofiara wypadku od czasu nieszczęśliwego wydarzenia do osiągnięcia wieku emerytalnego – w odniesieniu do ofiary śmiertelnej, a do zakończenia zwolnienia lekarskiego – w odniesieniu do osoby rannej [Wielądek, 2008, s. 683].²

2. Hałas – pochodzący od środków transportu. Jego oddziaływanie negatywnie wpływa nie tylko na zdrowie psychiczne, ale również fizyczne. Długotrwałe narażenie na działanie hałasu może skutkować silnym stresem, chorobami serca, zaburzeniami krążenia krwi i przemianą hormonalną. Społeczeństwa poszczególnych państw nie tylko w coraz większym stopniu uświadamiają sobie konieczność podejmowania działań zmierzających do ograniczenia jego poziomu, np. przez budowę ekranów odgradzających drogi od budynków mieszkalnych, ale także wykazują większą skłonność do płacenia za jego redukcję. Jak podaje A. Szlachta [2014, s. 313] w krajach uprzemysłowionych ok. 110 mln ludzi narażonych jest na hałas przekraczający 65 dB, podczas gdy dopuszczalny poziom w krajach UE wynosi 55 dB.

3. Zanieczyszczenie powietrza – które wynika z wydzielania przez środki transportu spalin, głównie tlenków węgla (CO), azotu (NO) oraz pyłów. Zgodnie z opublikowaną przez European Environment Agency w 2015 roku oceną emisji zanieczyszczeń pochodzących ze sfery transportu, sektor transportu odpowiada m.in za:

- 57% całkowitej emisji tlenków azotu (NO_x), w tym 33% udział ma transport drogowy,
- 26% tlenku węgla (CO), w tym 23% to transport drogowy,
- 13% niemetanowych lotnych związków organicznych (NMVOC), z czego 10% to transport drogowy,
- 15% pyłów PM₁₀ i 24% pyłów PM_{2,5} (cząstek stałych o frakcji odpowiednio 10 i 2,5 µm), zaś udział transportu drogowego wynosi odpowiednio 9% i 11%,
- 19% emisji SO₂, przy czym w przypadku tej substancji toksycznej największy udział ma transport morski, bo aż 10%, zaś transport drogowy tylko 0,1%.

Zgodnie z danymi pochodzącymi z publikacji Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami [KOBiZE, 2015, s. 8 – 15] transport drogowy w Polsce w 2013 roku generował ok. 32% całkowitej emisji tlenków azotu (NO_x), 20,2% tlenku węgla

² Więcej na temat kosztów wypadków drogowych w dalszej części niniejszego rozdziału.

(CO), 22% niemetanowych lotnych związków organicznych (NMVOC), tlenku siarki 0,1%, zaś cząstek stałych PM₁₀ i PM_{2,5} odpowiednio po 8,7% i 12,9%.

Zanieczyszczenie powietrza wynikające z emisji spalin ma duży wpływ nie tylko na zdrowie człowieka ale również na stan lasów, plony upraw roślinnych, budynki i budowlę. Szacuje się, iż powstałe z tego tytułu koszty sięgają nawet 2% PKB, przy czym aż 81% z nich to koszty ponoszone na opiekę medyczną, 18% to koszty wynikające ze zniszczeń obiektów budowlanych, zaś 1% to straty upraw.

4. Zmiana klimatu – stanowi koszt zewnętrzny transportu, który jest najtrudniej ocenić.

5. Koszty kongestii – M. Jacyna [2009] definiuje kongestię jako sytuację powodującą straty czasu przejazdu. Jak podają [Żak, Kłodawski, Lewczuk, Gołębiowski, Jacyna-Gołda, 2014, s. 2616] koszty kongestii to wynikające ze wspólnego użytkowania elementów infrastruktury przez wiele pojazdów ograniczenia pojemności infrastruktury drogowej w przypadku większego natężenia ruchu. Należy jednakże pamiętać, iż występowanie zatłoczenia na drogach oznacza również dodatkową emisję spalin. Występowanie zjawiska przeciążenia sieci wskazuje na konieczność zwiększenia przepustowości drogi. Jak podają D. Iwanowicz i T. Szczuraszek [2016, s. 209] z powodu zatłoczenia (zatory oraz utrudnienia w ruchu drogowym), na sieci ulicznej największych polskich miast „pracujący kierowcy” stracili w 2015 roku 3,8 mld złotych, co oznacza, iż statystyczny kierowca tracił rocznie 3 350 złotych.

6. Zanieczyszczenie gleby oraz wód gruntowych i powierzchniowych – które mogą wynikać z samego istnienia infrastruktury oraz z jej eksploatacji. Do gleby a następnie do wody przedostają się substancje toksyczne pochodzące od niesprawnych pojazdów. Mogą to być skapujące oleje, smary, sól z nawierzchni dróg po okresie zimowym, bądź powypadkowe pozostałości.

7. Utrata bioróżnorodności gatunkowej – emisja spalin, zakwaszenie gleby oraz cieków wodnych może prowadzić do wyginięcia niektórych gatunków ryb, zwierząt.

8. Dodatkowe koszty w obszarach miejskich – które związane są z gromadzeniem się w dużych aglomeracjach miejskich oraz wzdłuż szlaków komunikacyjnych szkodliwych substancji ze spalin emitowanych przez pojazdy.

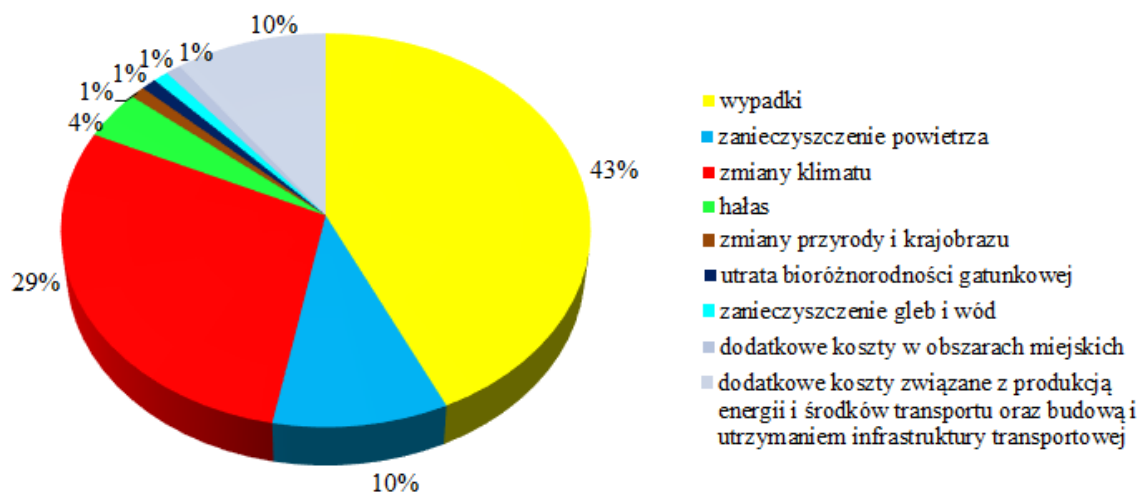
9. Dodatkowe koszty związane z produkcją energii i środków transportu oraz budową i utrzymaniem infrastruktury transportowej – które są implikowane przez trzy podstawowe źródła powstawania kosztów. Pierwsze z nich związane jest z

koniecznością dostarczenia energii do transportu i wywołuje m.in. zanieczyszczenie powietrza. Również produkcja i utrzymanie poszczególnych środków transportu przyczynia się do emisji różnych substancji i zmian klimatu. Trzecim źródłem jest z kolei produkcja i utrzymanie infrastruktury transportowej.

10. Zmiany w przyrodzie i krajobrazie – który związany jest z negatywnym wpływem na ekosystem i populację zwierzyny, która traci naturalne środowisko życia a także ginie pod kołami samochodów i pociągów. Ponadto, budowa infrastruktury transportowej oznacza nieodwracalne zmiany krajobrazu.

Udział poszczególnych kategorii kosztów w kosztach całkowitych pokazany jest na rys. 1.1.

Rysunek 1.1. Udział poszczególnych kosztów w całkowitych kosztach transportu w 2008 roku



Źródło: A. Schrotten, H. Essen, M. Otten, D. Sutter, Ch. Schreyer, M. Maibach, R. Zandonella, W. Rothengatter, C. Doll, 2011, s.11.

Podejmowanych jest wiele działań mających na celu zminimalizowanie negatywnego wpływu transportu na środowisko naturalne oraz życie społeczeństwa. Zgodnie z opinią O. Sivetsa [2015, s. 695] celem internalizacji kosztów zewnętrznych jest przedstawienie prawdziwych kosztów działalności transportowej w taki sposób, aby użytkownicy ponosili generowane przez siebie koszty, co wpływałoby na zmianę ich zachowań, w celu ograniczenia tych kosztów, a tym samym zmniejszenie skali i zasięgu negatywnego wpływu na środowisko.

1.3. Bezpieczeństwo ruchu drogowego – definicje

Wynalezienie i rozpowszechnienie się samochodu przyniosło niewątpliwie wiele korzyści i przyspieszyło rozwój społeczno-gospodarczy. Z drugiej strony, można jednak zaobserwować wiele związanych z tym negatywnych zjawisk, wśród których na czoło wysuwają się zdarzenia drogowe w postaci wypadków oraz kolizji drogowych [Weszcza, 2014, s. 26].

Pojęcia stosowane w analizach BRD w Polsce opublikowane są w Zarządzeniu nr 635 Komendanta Głównego Policji z dnia 30 czerwca 2006 r. i Zarządzeniu nr 123 Komendanta Głównego Policji z dnia 31 maja 2012 r. w sprawie metod i form prowadzenia przez policję statystyki zdarzeń drogowych.

Zgodnie z tymi Zarządzeniami **zdarzeniem drogowym** zdarzenie zaistniałe lub mające początek na drodze publicznej, w strefie ruchu lub w strefie zamieszkania, w związku z ruchem przynajmniej jednego pojazdu. Z kolei **wypadkiem drogowym** jest zdarzenie drogowe, które pociągnęło za sobą ofiary w ludziach, w tym także u sprawcy tego zdarzenia, bez względu na sposób zakończenia sprawy.

K. Rajchel i Z. Nowakowski [2006, s. 103] proponują za **wypadek drogowy** uznać nie dające się przewidzieć zdarzenie mające miejsce w ruchu drogowym, pozostające w związku przyczynowym z ruchem drogowym, wynikające z naruszenia zasad bezpieczeństwa obowiązujących w tym ruchu, którego skutkiem są spowodowane nieumyślnie obrażenia ciała powodujące naruszenie czynności narządu ciała lub rozstrój zdrowia trwające dłużej niż 7 dni (tzw. średni wypadek drogowy), śmierć albo ciężki uszczerbek na zdrowiu (tzw. ciężki wypadek drogowy). Wypadek drogowy musi mieć początek lub koniec na drodze publicznej, przeznaczonej do ruchu pojazdów. Musi powodować szkodę dla osób lub rzeczy. Z kolei **kolizją drogową** jest zdarzenie powodujące jedynie szkodę w mieniu.

Zarządzenia Komendanta Głównego Policji podają również definicje ofiar wypadków:

- **ofiara śmiertelną wypadku** jest osoba, która na skutek doznanych obrażeń ciała zmarła na miejscu wypadku lub w ciągu 30 dni od dnia wypadku;
- za **ofiara ciężko ranną** należy uznać osobę, która doznała ciężkiego kalectwa, ciężkiej choroby nieuleczalnej lub długotrwałej choroby realnie zagrażającej życiu, trwałej choroby psychicznej, całkowitej lub znacznej trwałej niezdolności do pracy w

zawodzie lub trwałego, istotnego zeszpecenia lub zniekształcenia ciała oraz urazów w postaci np. złamań, uszkodzeń organów wewnętrznych, poważnych ran ciętych i szarpanych. Ofiarą ciężko ranną jest również osoba, która doznała innych obrażeń, które powodują naruszenie czynności narządu ciała lub rozstrój zdrowia na okres trwający dłużej niż 7 dni;

- z kolei **ofiarą lekko ranną** jest osoba, która poniosła uszczerbek na zdrowiu inny niż określony powyżej, jednak naruszający czynności narządu ciała lub rozstrój zdrowia na okres trwający nie dłużej niż 7 dni, stwierdzony przez lekarza.

Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego [KRBRD, 2014, s. 2] definiuje dodatkowo cztery wskaźniki zagrożenia służące do porównywania różnych regionów pod względem poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego.

- 1. Wskaźnik demograficzny I** – który wyraża stosunek liczby wypadków drogowych w danym rejonie do liczby jego mieszkańców. Jest to miara ryzyka uczestniczenia w wypadku drogowym:

$$\text{wsk. demograficzny I} = \frac{\text{liczba wypadków}}{100 \text{ tys. mieszkańców}}$$

- 2. Wskaźnik demograficzny II** – będący stosunkiem liczby ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych na danym obszarze do liczby osób zamieszkujących ten obszar. Wskaźnik ten określa ryzyko poniesienia śmierci w wyniku wypadku drogowego:

$$\text{wsk. demograficzny II} = \frac{\text{liczba ofiar śmiertelnych}}{100 \text{ tys. mieszkańców}}$$

- 3. Ciężkość wypadków** – będący stosunkiem liczby ofiar śmiertelnych do liczby wypadków drogowych, w których brały udział. Jest to miara określająca jak poważne są konsekwencje wypadku:

$$\text{ciężkość wypadków} = \frac{\text{liczba ofiar wypadków drogowych}}{100 \text{ wypadków drogowych}}$$

4. **Gęstość wypadków** – będący stosunkiem liczby wypadków drogowych na danym obszarze do długości sieci drogowej tego obszaru. Jest to ocena poziomu bezpieczeństwa sieci drogowej:

$$\text{gęstość wypadków} = \frac{\text{liczba wypadków drogowych}}{100 \text{ km długości dróg}}.$$

Powyższą listę wskaźników zagrożenia można uzupełnić o trzy alternatywne:

5. **Gęstość ofiar** – będący stosunkiem liczby ofiar śmiertelnych na danym obszarze do długości sieci drogowej tego obszaru. Jest to drugi wskaźnik będący oceną poziomu bezpieczeństwa sieci drogowej:

$$\text{gęstość ofiar} = \frac{\text{liczba ofiar śmiertelnych}}{100 \text{ km długości dróg}}.$$

6. **Wskaźnik śmiertelności na pojazd** – będący stosunkiem liczby ofiar śmiertelnych na danym obszarze do liczby pojazdów zarejestrowanych w danym regionie. Jest to miara stosowana w statystykach Głównego Urzędu Statystycznego:

$$\text{wsk. śmiertelności na pojazd} = \frac{\text{liczba ofiar śmiertelnych}}{100 \text{ tys. zarejestrowanych pojazdów}}.$$

7. **Wskaźnik wypadkowości na pojazd** – będący stosunkiem liczby wypadków drogowych na danym obszarze do liczby pojazdów zarejestrowanych w danym regionie:

$$\text{wsk. wypadkowości na pojazd} = \frac{\text{liczba wypadków drogowych}}{100 \text{ tys. zarejestrowanych pojazdów}}.$$

Wypadki drogowe są bardzo dużym problemem wynikającym z rozwoju cywilizacji i potrzeby mobilności, gdyż stanowią zagrożenie dla zdrowia a nawet życia ludzkiego. Pierwszy wypadek samochodowy miał miejsce już w 1771 roku, gdy skonstruowany przez N. J. Cugnota samochód parowy uderzył w mur. Z kolei pierwszy wypadek śmiertelny odnotowano 17 sierpnia 1896 roku w Londynie. Według Światowej Organizacji Zdrowia [WHO, 2013, s. 1] każdego roku w wyniku wypadków drogowych umiera ok. 1,24 mln osób, a 20 - 50 mln zostaje rannych. Szacuje się, iż do 2030 roku liczba ofiar wzrośnie do 2,4 mln osób rocznie.

K. Olejnik i G. Woźniak [2010, s. 200] podkreślają, iż jednym z podstawowych i ważnych celów w eksploatacji środków transportu w ruchu drogowym jest dążenie do likwidacji zagrożeń wypadkowych, czyli dążenie do osiągnięcia bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego.

1.4. Koszty wypadków drogowych

Wypadki drogowe generują olbrzymie straty materialne obciążające całą gospodarkę oraz prowadzą do powstawania indywidualnych kosztów społecznych w postaci traumy, poczucia bólu i cierpienia nie tylko uczestników zdarzenia, ale także ich rodzin. Straty społeczne to nie tylko urazy natury psychicznej, ale także pogorszenie sytuacji finansowej osoby poszkodowanej i jej rodziny ze względu na trwałą lub tymczasową niezdolność do pracy, konieczność pokrycia kosztów medycznych, a w przypadku kalectwa kosztów trwałej opieki nad ofiarą wypadku.

Stratami społecznymi są też koszty ponoszone przez pracodawców wynikające z absencji chorobowej lub utraty doświadczonego pracownika. W dłuższym horyzoncie czasowym, konsekwencją są straty budżetu państwa, które wynikają zarówno z utraty przyszłej produkcji jak również z konieczności finansowania przez rząd opieki medycznej i psychologicznej, programów pomocy społecznej i administracji w postaci służb policyjnych, straży pożarnej, sądownictwa, więziennictwa. Ciężkie obrażenia ciała w wyniku wypadku drogowego mogą skutkować długotrwałą bądź dożywotnią niezdolnością do pracy, co nakłada na państwo obowiązek wypłaty powypadkowych rent inwalidzkich lub rent rodzinnych dla osób, które straciły członka rodziny [Weszczak, 2016, s. 7].

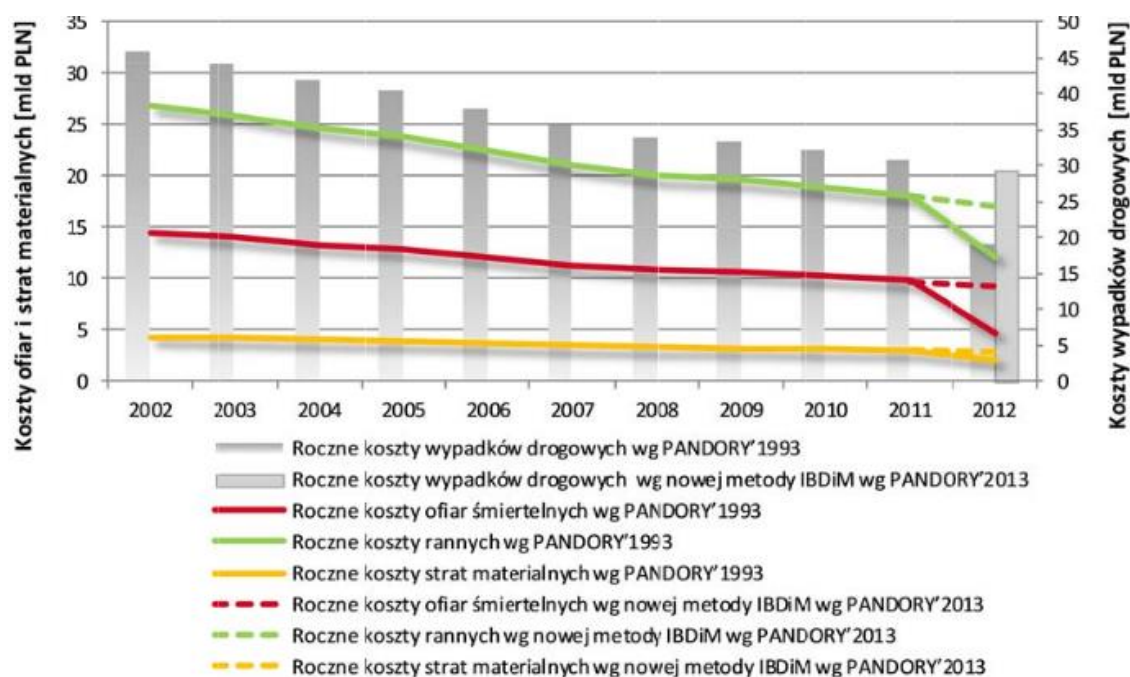
Prawidłowa wycena kosztów generowanych przez zdarzenia drogowe przysparza wielu problemów ze względu na złożony charakter analizowanego zjawiska.³ Do 2011 roku w Polsce korzystano z metody PANDORA'1993 opracowanej w Zakładzie Ekonomiki IBDiM pod kierunkiem prof. Haliny Chrostowskiej. Metoda ta nie uwzględniała kosztów kolizji drogowych koncentrując się jedynie na wypadkach. Ponadto pominięte były m.in. koszty hospitalizacji ofiar, wypłacanych rent, odszkodowań i zasiłków chorobowych, więziennictwa, sądownictwa a także koszty pracodawców. Od 2011 roku metoda PANDORA'1993 poddawana jest stałej modyfikacji.

³ Przegląd metod wyceny kosztów zdarzeń drogowych stosowanych w Unii Europejskiej zawiera opracowanie B. Pawłowskiej [2009].

Pierwsze próby oszacowania rocznych kosztów zdarzeń drogowych z uwzględnieniem kosztów kolizji drogowych zostały podjęte w Polsce w 2012 roku na zlecenie Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego i dotyczyły poziomu bezpieczeństwa drogowego w 2011 roku. Kolejnym etapem analizy było zweryfikowanie metody badawczej, a następnie przeprowadzenie szczegółowej wyceny wypadków i kolizji drogowych dla roku 2012 zgodnie z metodą PANDORA'2013. Uzyskane wyniki zostały przedstawione w opracowaniu Instytutu Badawczego Dróg i Mostów [Jażdżik-Osmólska, 2013].

Kolejną modyfikacją było uwzględnienie wartości statystycznego życia ludzkiego w oparciu o wycenę kapitału ludzkiego, a także wprowadzenie estymacji kosztów całkowitych i jednostkowych z uwzględnieniem różnic gospodarczych poszczególnych regionów. Tak zmodyfikowaną metodę określono mianem PANDORA'2014 [Jażdżik-Osmólska, 2014].

Rysunek 1.2. Roczne koszty wypadków drogowych, ofiar i strat materialnych w Polsce w latach 2002 – 2012 w cenach stałych w PLN zgodnie z metodami PANDORA'1993 oraz PANDORA'2013



Źródło: Jażdżik-Osmólska A, 2013, s. 39.

Podstawową wyceny kapitału ludzkiego w kontekście kosztów ponoszonych przez pracodawców, jest oszacowanie ich strat wynikających z krótkotrwałej lub długotrwałej niedyspozycji pracownika, a w przypadku trwałego kalectwa lub śmierci pracownika nawet jego całkowitej utraty. Przeprowadzone badanie wykazało, iż w 2013

roku przez wypadki drogowe pracodawcy stracili ok. 13,7 mld PLN w wyniku fluktuacji kadry pracowniczej, z czego aż 12,2 mld PLN to koszty zwolnień lekarskich. Uwzględnienie lokalnego zróżnicowania rozwoju gospodarczego ma szczególne znaczenie dla możliwości dokonania oceny efektywności działań podejmowanych w zakresie poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Zgodnie z najnowszymi szacunkami IBDiM [Jaździk-Osmólska, 2016], województwem generującym najwyższe koszty w 2015 roku (tab. 1.2) było mazowieckie, w którym roczne straty z tytułu wszystkich zdarzeń drogowych sięgnęły niemalże 5,9 mld PLN. Stanowiło to aż 12,4% wszystkich kosztów generowanych w analizowanym roku. Nieznacznie lepsza sytuacja występowała w województwach śląskim oraz dolnośląskim, w których koszty wyniosły odpowiednio 5,5 mld PLN i 5,2 mld PLN.

Tablica 1.2. Jednostkowe koszty ofiar oraz roczne koszty wypadków i kolizji drogowych w podziale na województwa w 2015 roku w mln PLN

Województwa	Razem koszty			Koszty jednostkowe		
	wypadków drogowych	kolizji drogowych	zdarzeń drogowych	ofiary śmiertelnej	ofiary ciężko rannej	ofiary lekko rannej
Dolnośląskie	3 532,66	1 688,71	5 221,37	2,29	2,78	0,35
Kujawsko-pomorskie	1 511,44	1 120,76	2 632,20	2,47	2,35	0,35
Lubelskie	1 336,25	742,20	2 078,45	1,53	1,69	0,28
Lubuskie	1 332,60	485,81	1 818,41	2,39	2,52	0,32
Łódzkie	3 596,76	635,60	4 232,36	1,82	2,27	0,18
Małopolskie	2 907,04	996,45	3 903,49	1,68	1,96	0,24
Mazowieckie	3 843,37	2 113,51	5 956,88	1,78	2,70	0,28
Opolskie	723,60	359,00	1 082,60	2,52	2,59	0,33
Podkarpackie	1 097,79	651,81	1 749,60	1,70	1,79	0,27
Podlaskie	1 126,99	548,50	1 675,49	2,03	2,02	0,31
Pomorskie	1 956,99	781,31	2 738,30	2,79	2,68	0,27
Śląskie	3 910,27	1 571,99	5 482,26	2,16	2,55	0,26
Świętokrzyskie	964,48	345,59	1 310,08	1,72	1,77	0,21
Warmińsko-mazurskie	1 644,47	595,78	2 240,25	2,47	2,47	0,29
Wielkopolskie	2 688,94	1 412,93	4 101,87	1,99	2,24	0,33
Zachodniopomorskie	1 392,01	606,61	1 998,62	2,57	2,36	0,29
Razem	33 565,68	14 656,55	48 222,23	-	-	-

Źródło: Na podstawie Jaździk-Osmólska A., 2016, s. 44 – 45.

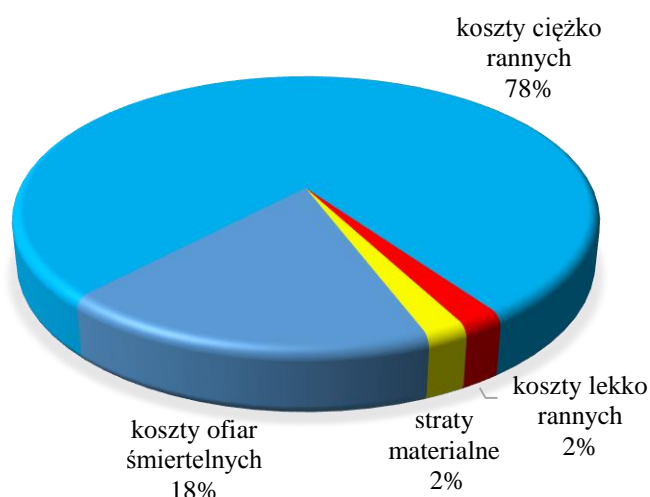
Najmniejsze obciążenia z kolei ponosiły województwa opolskie (1,1 mld), a także świętokrzyskie, podkarpackie, podlaskie i lubuskie (1,3 – 1,8 mld). Również analizując przestrzenne zróżnicowanie kosztów jednostkowych można zaobserwować dużą rozpiętość wartości. Koszt ofiary śmiertelnej został najwyżej wyceniony w przypadku województwa pomorskiego, gdzie wynosił 2,8 mln i był niemalże dwukrotnie wyższy niż

w lubelskim. Taka sytuacja wyraźnie obrazuje jak ważne w kalkulacji kosztów jest uwzględnianie specyfiki ekonomicznej poszczególnych regionów Polski.

Straty poniesione przez polską gospodarkę z tytułu wszystkich zdarzeń drogowych sięgnęły 3% PKB z 2015 roku przekraczając 48 mld PLN. Koszy wypadków drogowych ukształtowały się na poziomie 33,6 mld stanowiąc 2% PKB, zaś kolizje drogowe zostały oszacowane na 14,6 mld. Jest to poważne naruszenie interesu ekonomicznego wszystkich obywateli, gdyż kwoty te mogły zostać przeznaczone na inne ważne cele społeczne. Wszyscy podatnicy obciążani są kosztami zdarzeń drogowych.

W 2015 roku 78% kosztów z tytułu zdarzeń drogowych stanowiły koszty związane z ofiarami ciężko rannymi (rys. 1.3.). Najmniej z kolei państwo straciło z powodu lekkich obrażeń na ciele i strat materialnych, które stanowiły po 2% wszystkich kosztów generowanych przez zdarzenia drogowe.

Rysunek 1.3. Struktura kosztów zdarzeń drogowych w Polsce w 2015 roku według metody PANDORA



Źródło: Jażdżik-Osmólska A., 2016, s. 37.

Zgodnie z szacunkiem zdarzeń drogowych zaprezentowanym przez IBDiM [KRBRD, 2016, s. 49 oraz Jażdżik-Osmólska, 2016, s. 4] koszty jednostkowe kształtowały się następująco:

- koszt jednostkowy ofiary śmiertelnej – 2,05 mln PLN,
- koszt jednostkowy ofiary ciężko rannej – 2,32 mln PLN⁴,

⁴ Zgodnie z metodą PANDORA'2014 jednostkowy koszt ofiary ciężko rannej przewyższa koszt ofiary śmiertelnej. KRBRD tłumaczy to zjawisko w następujący sposób: Mniejsze tempo spadku liczby ofiar rannych względem liczby zabitych, zmiana wskaźników nadumieralności w poszczególnych grupach wiekowych wraz ze zmianą kosztów jednostkowych hospitalizacji między ofiarami śmiertelnymi a rannymi - wpłynęły na zmianę udziału kosztów osób rannych (wzrost) i ofiar śmiertelnych (spadek).

- koszt jednostkowy ofiary lekko rannej – 26,86 tys. PLN,
- koszt jednostkowy strat materialnych w wypadku – 22,65 tys. PLN,
- koszt jednostkowy wypadku drogowego – 1,02 mln PLN,
- koszt jednostkowy kolizji drogowej – 40,46 tys. PLN.

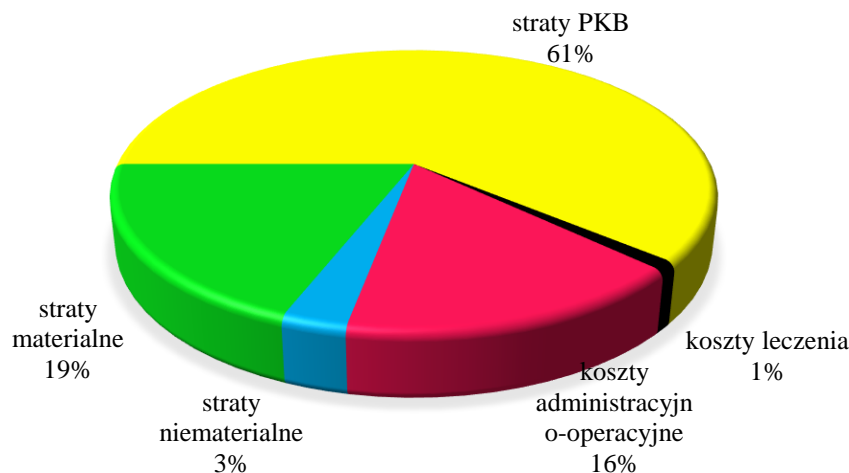
Zgodnie z metodą PANDORA na koszty jednostkowe składają się:

➤ **Straty gospodarcze państwa**, wśród których można wymienić:

1. Straty produktywności:

- straty spowodowane utratą życia w następstwie wypadku drogowego, obejmujące utratę PKB skorygowanego o spożycie;
- straty będące konsekwencją uszkodzeń ciała uczestników wypadków drogowych, obejmujące utratę PKB;

Rysunek 1.4. Udział kosztów jednostkowych w wartości zdarzeń drogowych w Polsce w 2015 roku według PANDORA



Źródło: Jażdżik-Osmólska A., 2016, s. 39.

2. Koszty administracyjne, w skład których wchodzi:

- koszty prac jednostek operacyjnych (policja, straż pożarna, służby chemiczne itp.);
- koszty pomocy medycznej (karetka pogotowia, śmigłowiec medyczny);
- koszty pogrzebu i usług prosekcyjnych;
- koszty postępowania sądowego;
- koszty zakładów penitencjarnych;
- koszty rent powypadkowych i rodzinnych;

Oznacza to, że społeczne koszty ofiar ciężko rannych w wypadkach drogowych są większym obciążeniem dla państwa w przeciwieństwie do ofiar śmiertelnych, które obniżają wielkość gospodarki. Ofiary ciężko ranne nie powiększają jej wartości ale równocześnie obciążają dodatkowymi wydatkami w postaci długoletniej opieki medycznej, socjalnej, terapeutycznej itp. [Jażdżik-Osmólska, 2015, s. 44].

- koszty zasiłków chorobowych;

3. Koszty społeczne, którymi są:

- straty materialne będące odzwierciedleniem utraty wartości pojazdów samochodowych biorących udział w zdarzeniu;
- straty pracodawców;
- koszty leczenia i rehabilitacji;⁵
- wypłaty odszkodowań i zadośćuczynień za utratę życia bądź uszczerbek na zdrowiu;
- wypłaty rent powypadkowych i rodzinnych;
- wartość rekompensaty za utracone zarobki;
- wyrównanie kosztów pogrzebu.

Tablica 1.3. Grupy kosztów wypadków drogowych według metody PANDORA

Koszty ofiar śmiertelnych	Koszty rannych	Straty materialne
<ul style="list-style-type: none"> - koszty prac jednostek operacyjnych (policja, straż pożarna, służby chemiczne itp.); - koszty pomocy medycznej (karetka pogotowia, śmigłowiec medyczny); - koszty leczenia zmarłych w okresie do 30 dni po wypadku; - koszty administracyjne usług prosekcyjnych; - koszty zasiłku pogrzebowego; - koszty sądownictwa; - koszty więziennictwa; - koszty rent rodzinnych wypłaconych z ZUS; - koszty rent rodzinnych wypłaconych przez ubezpieczyciela sprawcy wypadku; - koszty zadośćuczynień i odszkodowań dla rodziny zmarłego; - utrata produktywności na skutek zgonów w wyniku wypadków drogowych; - straty pracodawcy. 	<ul style="list-style-type: none"> - koszty prac jednostek operacyjnych (policja, straż pożarna, służby chemiczne itp.); - koszty pomocy medycznej (karetka pogotowia, śmigłowiec medyczny); - koszty leczenia ciężko rannych; - koszty sądownictwa; - koszty więziennictwa; - koszty rent powypadkowych i rodzinnych wypłaconych z ZUS na skutek trwałego kalectwa ofiary rannej w wypadku; - koszty rent rodzinnych wypłaconych przez ubezpieczyciela sprawcy wypadku tytułem utraconych zarobków, obniżenia stopy życiowej poszkodowanego i jego bliskich; - koszty zadośćuczynień i odszkodowań dla poszkodowanego; - koszty leczenia, zakupu sprzętu medycznego pokrywane przez ubezpieczyciela sprawcy; - utrata produktywności na skutek zgonów w wyniku wypadków drogowych; - straty pracodawcy. 	<ul style="list-style-type: none"> - utrata wartości pojazdów samochodowych biorących udział w zdarzeniu;

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Jażdżik-Osmólska A., 2013, s. 22 – 24.

⁵ Osobno dla wypadku śmiertelnego i wypadku z ciężkiego.

Ostatecznie, zgodnie z założeniami PANDORA powyższe koszty grupowane są w trzy kategorie ekonomiczne: koszty ofiar śmiertelnych, koszty rannych oraz straty materialne, co zostało przedstawione w tabelicy 1.3.

1.5. Działania ukierunkowane na poprawę bezpieczeństwa w ruchu drogowym

Poprawa poziomu bezpieczeństwa, a zwłaszcza ograniczenie śmiertelności w warunkach stale rosnącego popytu na transport, stanowi przedmiot zainteresowania wielu krajów. Pierwsze prace nad bezpieczeństwem ruchu drogowego zostały podjęte w krajach wysoko zmotoryzowanych już ponad 30 lat temu, kiedy zagrożenie na drogach osiągnęło poziom krytyczny.

Doświadczenie pokazuje, iż wypadkom drogowym można zapobiec. Zasadniczymi czynnikami wspierającymi poprawę poziomu bezpieczeństwa są m.in. organizacje międzynarodowe, programy krajowe a także strategie oparte na wskaźnikach efektywności, które koncentrują się już na etapie planowania przestrzennego, projektowania transportu miejskiego oraz bezpiecznej infrastruktury drogowej. [Weszczak, 2016, s.18]. Duży nacisk kładzie się również na poprawę bezpieczeństwa pojazdów poprzez kontrolę stanu technicznego oraz wprowadzanie nowych rozwiązań technologicznych, zarządzanie prędkością, wprowadzanie obowiązku stosowania pasów bezpieczeństwa, fotelików dla dzieci, kasków, promowanie transportu publicznego, prowadzenie częstych kontroli trzeźwości kierowców, a także poprawę opieki powypadkowej. Dużą rolę odgrywają również kampanie społeczne, które zwiększają świadomość o zagrożeniach.

Rozwój motoryzacji i wzrost mobilności pomiędzy kontynentami przyczynił się do postrzegania niskiego poziomu bezpieczeństwa na drogach jako problemu o randze międzynarodowej. Zrodziło to potrzebę gromadzenia danych o wypadkach w poszczególnych krajach w celu porównania skali tego zjawiska, występujących trendów oraz pomiaru rezultatów działań prewencyjnych. Zgodnie z Raportem końcowym Banku Światowego [IBRD / WB 2013, s. 11] brak odpowiedniego systemu skoordynowanych baz danych powoduje trudności ze zrozumieniem efektów prowadzonej polityki i prowadzenia opartych o rezultaty działań w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego

na wszystkich szczeblach władzy. Implikuje to także trudności w ocenie efektywności podejmowanych działań.

Informacje o zdarzeniach drogowych gromadzone są w bazach o zasięgu lokalnym, krajowym i międzynarodowym. W ramach OECD od 1990 roku działa międzynarodowa baza IRTAD (International Road Traffic and Accidents Database), której wsad stanowią dane dostarczane przez poszczególne kraje członkowskie, którymi są: Australia, Austria, Belgia, Kanada, Dania, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Islandia, Irlandia, Włochy, Japonia, Luksemburg, Nowa Zelandia, Norwegia, Portugalia, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Turcja, Wielka Brytania, USA, Węgry, Czechy oraz od 1997 roku Polska. Bardzo dużą zaletą tej bazy jest to, iż wszystkie dane są zdefiniowane i w razie konieczności korygowane by umożliwić ich porównywalność między wszystkimi krajami. Przykładem jest liczba ofiar śmiertelnych wypadków, za które uważa się osoby zmarłe na miejscu wypadku lub w ciągu 30 dni od momentu zdarzenia, na skutek odniesionych obrażeń ciała. W niektórych krajach za ofiarę śmiertelną uważa się jedynie osoby, które poniosły śmierć na miejscu zdarzenia (np. Meksyk), w innych – w ciągu 24 godzin (np. Chile, Portugalia do 2010 r.), jeszcze w innych w ciągu 7 dni (np. Litwa do 1995 r.). Zgodnie z raportami WHO, w 2010 roku 92 kraje, prowadziły statystyki zgodnie z powyższą definicją. Stanowi to wzrost o 12 w stosunku do 2008 roku.

W odpowiedzi na wysoki stopień wypadkowości w państwach europejskich, w 1993 roku powołano do życia organizację ETSC (European Safety Council). Jej zadaniem jest gromadzenie danych na temat bezpieczeństwa drogowego oraz promowanie i wymiana pozytywnych doświadczeń między państwami członkowskimi. Jest ważnym źródłem informacji dla Komisji Europejskiej, rządów poszczególnych krajów oraz organizacji zajmujących się sprawami BRD w skali europejskiej.

Na przestrzeni lat powstało wiele programów i dyrektyw dotyczących BRD. Jednym z nich jest opublikowana w 2001 roku *Biała Księga – Europejska polityka transportowa w horyzoncie do 2010 r.: Czas wyborów* [Komisja Wspólnot Europejskich, 2001]. Głównymi zaleceniami zawartymi w tym dokumencie są: likwidacja wąskich gardeł, zmiana struktury przewozów pomiędzy środkami transportowymi, sterowanie globalizacją transportu, skoncentrowanie się na użytkownikach ruchu. W zakresie poprawy bezpieczeństwa drogowego, celem jest ograniczenie liczby ofiar śmiertelnych o połowę. Ma to być osiągnięte dzięki harmonizacji regulacji prawnych, sankcjonujących i kontrolujących, a także promocję nowych technologii, projektowania bezpieczniejszych pojazdów i zarządzania prędkością.

W 2009 roku World Bank opublikował podręcznik [Bliss, Breen, 2009] zawierający rekomendacje umożliwiające podniesienie poziomu BRD. Doświadczenia krajów wysoko rozwiniętych stanowią bogate źródło informacji dla krajów słabo i średnio rozwiniętych, które mogą korzystać z rozwiązań wypracowanych przez kraje o wysokim stopniu zmotoryzowania. Podręcznik jest skierowany głównie do krajów o niskim dochodzie, ponoszących największe straty z tytułu wysokiej śmiertelności w wypadkach, ale także znajduje zastosowanie w przypadku państw bogatszych. Zgodnie z wytycznymi Banku Światowego program poprawy bezpieczeństwa powinien zawierać następujące etapy działania:

1. wyznaczenie agencji rządowej do prowadzenia polityki wspomagającej poprawę BRD – organ ten ma za zadanie wyznaczanie kierunków i koordynowanie działań administracji rządowej w sprawach bezpieczeństwa ruchu drogowego, podejmowanie współpracy z organizacjami społecznymi i instytucjami pozarządowymi, określanie kierunków polityki państwa;

2. ocena skali problemu i rozwiązań społeczno-instytucjonalnych związanych z BRD – rekomendacja ta podkreśla znaczenie dokładnego rozpoznania słabych i mocnych stron systemu przed podjęciem jakichkolwiek działań. Dodatkowo kładzie nacisk na konieczność zbudowania systemu monitorowania zdarzeń drogowych, który byłby spójny z międzynarodowymi standardami;

3. przygotowanie strategii poprawy bezpieczeństwa i dokładnego planu działania – muszą one zapewniać bezpieczeństwo wszystkim uczestnikom ruchu oraz precyzować formę i zakres współpracy ze wszystkimi zaangażowanymi instytucjami i organami biorącymi udział w działaniach;

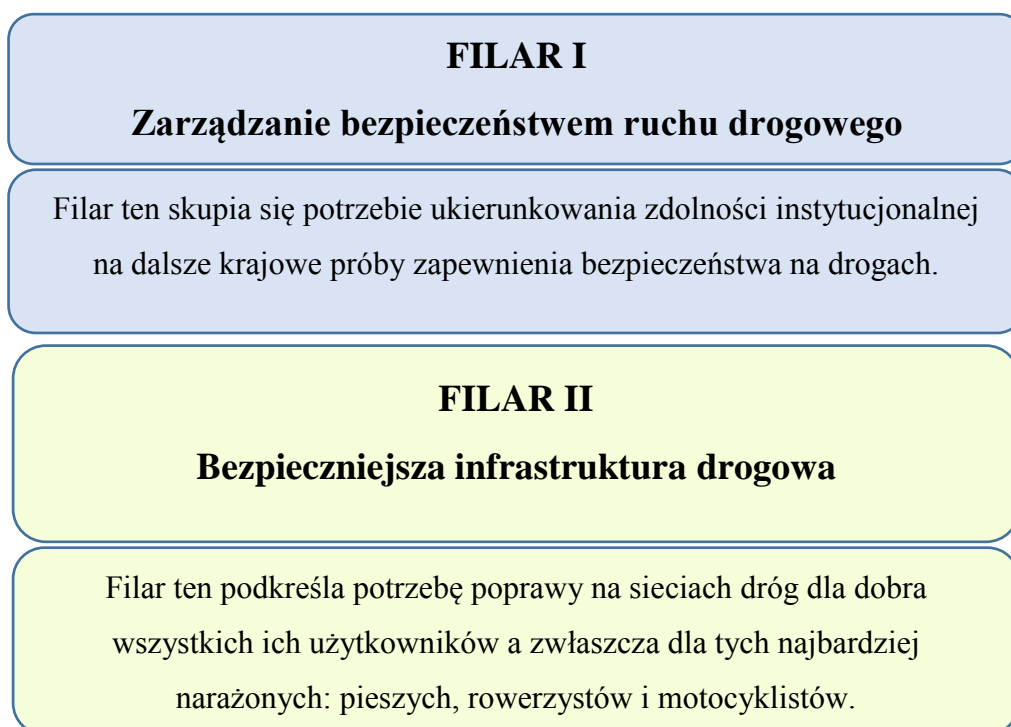
4. utworzenie budżetu oraz rozdzielenie zasobów ludzkich do określonych działań – działania na rzecz BRD wymagają dużych nakładów finansowych, dlatego przed przystąpieniem do realizacji zadań istotne jest by zgromadzić niezbędne środki;

5. wdrożenie działań ograniczających liczbę zdarzeń drogowych oraz ocena skuteczności podjętych działań – ocena musi opierać się na rzetelnych danych. Porównanie osiągniętych wyników do poniesionych nakładów będzie stanowić wskazówkę dla innych państw, które chciałyby podjąć podobne działania;

6. podejmowanie współpracy na szczeblu międzynarodowym, w celu wypracowania globalnego systemu na rzecz poprawy bezpieczeństwa.

ONZ w rezolucjach nr 57/309 z dnia 22 maja 2003 r., nr 58/9 z 5 dnia listopada 2003 r., nr 58/289 z 14 dnia kwietnia 2004 r., nr 60/5 z 26 dnia października 2005 r. i nr 62/244 z dnia 31 marca 2008 r. zarekomendowało poszczególnym krajom prowadzenie działań ukierunkowanych na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego (BRD) w skali globalnej, krajowej i regionalnej. W marcu 2010 roku Organizacja Narodów Zjednoczonych wydała kolejną rezolucję nr 64/255, *Globalny Plan Dekady Działań na rzecz Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2011 – 2020* (ang. *Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011 – 2020*) [WHO, 2010b], której założeniem jest uchronienie 5 milionów osób przed utratą życia w wyniku wypadku drogowego we wskazanym dziesięcioleciu. Dokument opiera się na zasadzie wspólnej odpowiedzialności za budowanie bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Zachęca kraje członkowskie do podejmowania działań w oparciu o pięć filarów, przedstawionych w tab. 1.4.

Tablica 1.4. Filary Globalnego Planu na Dekadę Działań na Rzecz Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2011 - 2020



FILAR III

Bezpieczniejsze pojazdy

Filar ten jest odpowiedzią na potrzebę polepszenia bezpieczeństwa pojazdów poprzez rozwijanie stosownych standardów globalnych oraz mechanizmów, które przyspieszają implementację nowych technologii poprawiających bezpieczeństwo.

FILAR V

Reakcja powypadkowa

Filar ten wspiera doskonalenie systemów zdrowotnych i innych, które zapewniają odpowiednią pomoc w razie nagłego wypadku, oraz długoterminową rehabilitację dla ofiar wypadków.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie WHO, 2010a, s. 6 – 7.

W ramach powyższych filarów zaleca się prowadzenie działań ukierunkowanych na:

1. zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego:

- ustanowienie wiodącej agencji zajmującej się BRD, która współdziałałby z innymi instytucjami i resortami,
- wdrażanie głównych konwencji ONZ o ruchu drogowym,
- opracowanie i koordynowanie krajowej strategii bezpieczeństwa ruchu drogowego przez odpowiednią instytucję,
- ustalenie długoterminowych celów poprawy poziomu bezpieczeństwa, do czego punktem wyjścia powinna być analiza danych o zdarzeniach drogowych,
- zapewnienie środków finansowych niezbędnych do realizacji powyższych działań,
- tworzenie lokalnych i krajowych baz danych zawierających statystyki dotyczące m.in. liczby wypadków drogowych, rannych i zabitych, grupach szczególnego ryzyka, skutkach ekonomicznych wypadków, średniej prędkości pojazdów.

2. poprawa bezpieczeństwa infrastruktury drogowej i zapewnienie mobilności dla wszystkich uczestników ruchu drogowego, co oznacza:

- skupienie się na czynniku bezpieczeństwa już na etapie planowania, projektowania i budowy dróg, a tym samym przyjęcie odpowiedzialności za poziom bezpieczeństwa przez urbanistów, inżynierów drogowych oraz administrację drogową,

- zarządzanie transportem publicznym i zagospodarowaniem przestrzennym w sposób uwzględniający potrzeby wszystkich uczestników ruchu,

- podniesienie poziomu bezpieczeństwa istniejącej oraz tworzenie nowej infrastruktury, która uwzględniałaby mobilność i dostępność dla wszystkich uczestników ruchu,

- rozpowszechnianie wiedzy o bezpiecznej infrastrukturze drogowej,

- wspieranie badań nad bezpieczeństwem drogowym.

3. bezpieczniejsze pojazdy:

- wyposażanie wszystkich samochodów w urządzenia bezpieczeństwa np. w pasy bezpieczeństwa,

- wspieranie stosowania technologii ukierunkowanej na zapobieganie wypadkom,

- zachęcanie państw członkowskich do harmonizacji norm bezpieczeństwa zgodnie z przepisami opracowanymi przez Światowe Forum Narodów Zjednoczonych,

- wprowadzanie ulg podatkowych dla kupujących bezpieczne pojazdy w celu zniechęcenia do kupowania samochodów o obniżonych standardach bezpieczeństwa a także wspieranie kupujących pojazdy wyposażone w wysoką, podnoszącą bezpieczeństwo technologię.

4. promowanie bezpiecznych zachowań uczestników ruchu drogowego, poprzez:

- prowadzenie działań ukierunkowanych na zwiększenie świadomości użytkowników dróg o czynnikach ryzyka,

- wprowadzenie i egzekwowanie przepisów związanych z ograniczeniem prędkości, dopuszczalnej zawartości alkoholu we krwi, używania kasków, fotelików dla dzieci i pasów bezpieczeństwa,

- wprowadzenie i egzekwowanie przepisów o przewozie osób, zasad eksploatacji pojazdów,

- promowanie Licencji Początkującego Kierowcy.

5. ratownictwo i opieka powypadkowa, a w szczególności:

- doskonalenie działań powypadkowych,
- stworzenie systemów ratownictwa powypadkowego umożliwiającego szybką interwencję,
- promowanie zatrudniania osób niepełnosprawnych,
- wspieranie rozwoju opieki szpitalnej w zakresie leczenia traumy,
- zapewnienie opieki rehabilitacyjnej oraz wsparcia dla osieroconych w wyniku wypadku,
- wprowadzenie obowiązkowego ubezpieczenia od odpowiedzialności cywilnej oraz wzajemnego uznawania ubezpieczenia,
- wspieranie działań zmierzających do ustalenia przebiegu wypadku, w celu ustalenia sprawców.

Poprawa poziomu bezpieczeństwa w transporcie jest także jednym z działań podejmowanych w ramach projektów Unii Europejskiej. Głównym celem *IV Europejskiego Programu Działań na rzecz Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego* jest zredukowanie liczby ofiar śmiertelnych o 50% w 2020 roku, w stosunku do 2010 roku [Komisja Europejska, 2011]. Program ten jest etapem długoterminowej polityki określanej mianem **Wizji Zero**. Dążenie do wyeliminowania ofiar na drogach jest jednym z najważniejszych celów przedstawionych w dokumencie przyjętym w 2011 roku: *Biała Księga. Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i oszczędnego systemu transportu*. W zakresie poprawy BRD, Komisja Europejska przedstawiła następujące zalecenia, które mają być realizowane przez kraje członkowskie:

1. udoskonalenie systemów bezpieczeństwa w pojazdach;
2. poprawa jakości infrastruktury drogowej,
3. harmonizacja i wprowadzenie inteligentnych systemów transportowych (ITS),⁶
4. udoskonalenie systemów szkoleń i edukacji wszystkich użytkowników dróg,
5. bardziej skuteczne egzekwowanie przepisów,

⁶ Idąc za B. Pawłowską [2012, s. 152] systemy ITS można zdefiniować jako szeroki zbiór różnorodnych narzędzi bazujących na technologii informatycznej, komunikacji bezprzewodowej, umożliwiających sprawne i efektywne zarządzanie infrastrukturą transportową oraz sprawną obsługę podróżnych.

6. opracowanie kompleksowej strategii działań dotyczących wypadków drogowych i służb ratowniczych, mając na względzie ograniczenie liczby wypadków drogowych o połowę,
7. zwrócenie szczególnej uwagi na niechronionych uczestników ruchu drogowego – pieszych, rowerzystów i motocyklistów.

Polska jest sygnatariuszem Deklaracji ONZ w sprawie bezpieczeństwa ruchu drogowego, a jako państwo członkowskie ONZ jest zobowiązana do konkretnych polityk unijnych, w tym polityki w zakresie poprawy bezpieczeństwa drogowego (...) [IBRD / WB, 2013, s. 9].

F. Krzykała [2007, s. 61] podkreśla, iż sposób poruszania się pojazdem samochodowym jest przedmiotem regulacji wielu przepisów prawnych oraz zasad ruchu drogowego. Można powiedzieć, iż nie ma innej dziedziny gospodarczej, która obejmowałaby tyle prawnych uregulowań, sposobów interpretowania zachowań czy uregulowań (...).

Pierwsze przepisy dotyczące ruchu drogowego w Polsce sięgają 1826 roku, jednak ze względu na utratę niepodległości przez Polskę, na terenie kraju obowiązywały przepisy państw zaborczych. Dopiero 7 października 1921 r. został spisany prawdziwy polski kodeks drogowy – „*Przepisy o ruchu pojazdów mechanicznych na drogach publicznych*”, który był później wielokrotnie nowelizowany. Za początek tworzenia programów bezpieczeństwa ruchu drogowego uznaje się z kolei rok 1972, w którym Rada Ministrów przyjęła uchwałę w sprawie działań i środków mających na celu poprawę stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Program ten nie przyniósł jednak oczekiwanych rezultatów.

Aktualnie podstawową regulacją jest Kodeks Drogowy – Ustawa z dn. 20 czerwca 1997 roku, który reguluje zasady poruszania się na drogach, warunki dopuszczania pojazdów do ruchu, wymogi dotyczące kierowców oraz zasady kontroli drogowej. Oprócz przepisów prawa zastosowanie znajdują dodatkowo takie zasady, jak m.in.: zasada ostrożności, ograniczonego zaufania, zachowania bezpiecznej odległości, bezpiecznej prędkości, cofania czy włączania się do ruchu. Przestrzeganie tych wszystkich zasad i przepisów nie gwarantuje jednakże wyeliminowania zdarzeń drogowych.

W ostatnim dziesięcioleciu kraje Unii Europejskiej osiągnęły duże sukcesy w poprawie BRD. Na przestrzeni lat 2001 – 2014 liczba ofiar śmiertelnych została

ograniczona o 55%. W Polsce jednak spadek ten wyniósł zaledwie 42% co spowodowało, iż Polska stała się państwem o jednym z najwyższych wskaźników śmiertelności w wyniku wypadków drogowych, osiągając w 2014 roku poziom 84 ofiar na milion mieszkańców. Na gorszych pozycjach uplasowały się jedynie Bułgaria i Litwa, gdzie w wypadkach straciło życie 90 osób na 1 mln mieszkańców oraz Rumunia i Łotwa, ze wskaźnikiem śmiertelności wynoszącym odpowiednio 91 i 106.

Tak niechlubna pozycja w rankingu poziomu bezpieczeństwa powoduje, iż działania zmierzające do poprawy tego stanu rzeczy stają się priorytetem państwa. Za początek intensywnych prac nad bezpieczeństwem w ruchu drogowym w Polsce przyjmuje się 1993 rok, kiedy opublikowany został tzw. Raport Gerondeau, przedstawiający stan BRD w Polsce.

Stwierdzono w nim, iż przyczyna niezadowalającego stanu bezpieczeństwa na polskich drogach wynika z rozproszenia odpowiedzialności za stan BRD oraz braku odpowiednich struktur społecznych i administracyjnych dedykowanych do prowadzenia długofalowej działalności w zakresie poprawy bezpieczeństwa na drogach. Podmioty te miałyby dysponować odpowiednimi środkami finansowymi na realizację powyższych działań. R. Krystek [2012, s. 4] zauważa, iż w ten sposób autorzy Raportu zalecali polskim władzom utworzenie organu, który mógłby swymi decyzjami zespolic wieloresortowy zespół odpowiedzialny za wdrażanie programów BRD.

Uwagi zawarte w Raporcie Gerondeau były punktem wyjścia do utworzenia Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (KRBRD), a następnie do opracowania na wniosek Ministra Transportu *Zintegrowanego Programu Poprawy Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego*, znanego pod nazwą GAMBIT 1996. Jak podaje A. Garbara [2014, s. 2104] mimo pozytywnych opinii ekspertów program nie został wdrożony przez władze kraju. Z tego powodu władze samorządowe w kilku województwach w latach 1995 – 1998 wprowadzały lokalne programy GAMBIT. Kolejnym etapem prac nad poprawą poziomu BRD było powstanie programu GAMBIT 2000 a następnie jego nowelizacja w 2005 roku. Program został przyjęty przez Krajową Radę Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego jako kompromis pomiędzy oczekiwaniami społeczeństwa w zakresie ochrony zdrowia i życia w ruchu drogowym a możliwościami realizacji tych oczekiwań [Ministerstwo Infrastruktury, 2005, s. 1].

Program GAMBIT 2005 składa się z czterech zasadniczych elementów [na podstawie: Michalski, Jamroz, Gajda, 2012, s. 13 – 19]:

- diagnozy stanu systemu BRD w Polsce, przy czym za rok bazowy przyjęto rok 2003,
- wizji BRD w Polsce, której celem było osiągnięcie tempa poprawy BRD na poziomie obserwowanym w najlepszych krajach UE,
- strategii bezpieczeństwa do 2013 roku zawierającej program średnioterminowy,
- programu krótkoterminowego (programu realizacyjnego) na lata 2006 – 2007.

Poprawa bezpieczeństwa miała być możliwa dzięki działaniom ukierunkowanym na:

1. kształtowanie bezpiecznych zachowań użytkowników dróg m.in. poprzez kampanie edukacyjne, harmonizowanie kar za wykroczenia drogowe, podniesienie skuteczności działań policji i inspekcji transportu drogowego, odbieranie prawa jazdy szczególnie niebezpiecznym uczestnikom ruchu drogowego, ujednoczenie zasad szkolenia i egzaminowania kierowców. Działania te mają przyczynić się do:

- ograniczenia liczby przekroczeń prędkości o połowę w stosunku do stanu wyjściowego,
- zmniejszenia liczby kierowców prowadzących pod wpływem alkoholu o 50% w stosunku do stanu bazowego,
- zwiększenia udziału stosowania pasów bezpieczeństwa do 95% z przodu pojazdu oraz do 80% z tyłu.

2. poprawę infrastruktury drogowej i jej otoczenia, co jak wskazują J. Merkisz, T. Nowakowski oraz Z. Smalko [2007, s. 506] sprowadza się do wykonania przeglądu głównych ciągów drogowych i ulicznych z punktu widzenia bezpieczeństwa i wyeliminowania ewidentnych mankamentów bezpieczeństwa sieci drogowej, powszechnego promowania i wdrażania środków służących rozdzieleniu funkcji dróg i ulic, uspokajania ruchu, promowania i wdrażania środków zmniejszających wielkość ruchu samochodowego poprzez zwiększenie udziału transportu zbiorowego w przewozach, opracowania zasad oceny planów i projektów z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego. Powyższe zadania mają doprowadzić do:

- wyeliminowania 90% najbardziej niebezpiecznych miejsc na sieci drogowej,
- objęcia kontrolą projektów budowy, przebudowy i modernizacji dróg,
- regulacji ruchu na 80% długości przejść tranzytowych przez mniejsze miejscowości tak, by doprowadzić do ograniczenia liczby ofiar śmiertelnych do 500 zaś

wskaźnika śmiertelności w wypadkach drogowych do 12 osób na 1 mln pojazdokilometrów.

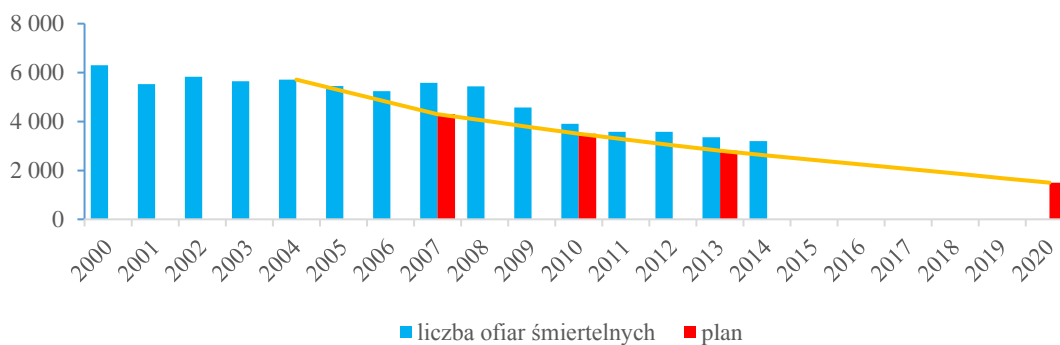
3. ochronę pieszych, dzieci oraz rowerzystów, co ma być osiągnięte dzięki wprowadzeniu lub zmianie aktów prawnych regulujących zasady poruszania się niechronionych uczestników ruchu drogowego, usprawnieniu edukacji i nadzorowi nad ruchem pieszych i rowerzystów. Celem tych działań jest ograniczenie udziału ofiar śmiertelnych z grupy największego ryzyka do 30% wszystkich zabitych w wypadkach oraz ustabilizowanie wskaźnika ofiar śmiertelnych z tej grupy do 22 na 1 mln mieszkańców.

4. zmniejszenie ciężkości i konsekwencji wypadków drogowych, co ma przełożyć się na zmniejszenie ogólnej liczby ofiar śmiertelnych. Realizacja tego celu jest możliwa poprzez wielokierunkowe działania koncentrujące się m.in. na usprawnieniu działań dotyczących kontroli stanu technicznego pojazdów, stosowaniu takich rozwiązań projektowych dróg by wybaczały błędy kierowcom, usprawnieniu ratownictwa na drogach poprzez stworzenie systemu zapewniającego szybkie dotarcie służb ratowniczych do miejsca wypadku, wyposażenie jednostek ratowniczych w odpowiedni sprzęt. Podjęte działania mają umożliwić zmniejszenie wskaźnika ciężkości wypadków do poziomu nie przekraczającego 5 ofiar śmiertelnych na 100 wypadków.

5. usprawnienie systemu BRD poprzez stworzenie podstaw do prowadzenia skutecznych i długofalowych działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa drogowego.

Celem programu GAMBIT było ograniczenie liczby ofiar śmiertelnych do poziomu nie przekraczającego 4300 osób w 2007 roku, 3500 w 2010 roku, 2800 w 2013 roku oraz 1500 w 2020 roku (rys.1.5).

Rysunek 1.5. Etapy realizacji celu strategicznego GAMBIT 2005



Źródło: Opracowanie własne na podstawie planów KRBRD i raportów KGP.

Porównując plan i faktyczną liczbę ofiar w latach 2007, 2010 i 2012 można zauważyć, iż niestety nie udało się zrealizować przyjętych założeń. Szacuje się, iż sukces Programu GAMBIT 2005 umożliwiłby wygenerowanie oszczędności w kwocie 68 mld PLN, licząc same bezpośrednie koszty wypadków. Oznacza to, iż około 7,5 mld PLN rocznie mogłoby zostać przeznaczone na poprawę BRD, co dodatkowo przynosiłoby zysk równoważony kosztom pośrednim [Weszcak, 2014, s. 4].

Lata 2007 – 2010 to okres prac nad zintegrowanym systemem bezpieczeństwa transportu określanych Projektem ZEUS. Zostały one podjęte przez Konsorcjum Naukowe z inicjatywy Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Wykonawcy projektu opierali się na założeniu, że największa efektywność jest możliwa jedynie dzięki integracji działań, dzięki czemu zapewniony jest transfer wiedzy i dobrych praktyk a także większa zgodność między poszczególnymi środkami transportu. Duży nacisk położono na zdiagnozowanie przyczyn i okoliczności wypadków jako sposobu na ograniczenie ich liczby. Głównym celem projektu było wypracowanie merytorycznych podwalin dla rozwoju transportu a także integracja działań podejmowanych na rzecz budowy systemu bezpieczeństwa na bazie rzetelnej dokumentacji i badań naukowych.

Zgodnie z założeniami projektu ZEUS system bezpieczeństwa transportu powinien być [na podstawie: Allsop, 2012, s. 5 – 8]:

1. **wielomodalny** – dzięki włączeniu wszystkich rodzajów transportu z co najmniej dwóch głównych gałęzi transportu (drogowego, kolejowego, powietrznego i wodnego),
2. **wieloaspektowy** – system musi uwzględniać wszystkie etapy działalności transportowej, szczeble zarządzania tą działalnością, wszystkie czynniki determinujące poziom bezpieczeństwa oraz wszystkie działania ukierunkowane na podnoszenie poziomu bezpieczeństwa,
3. **zintegrowany** – istotne znaczenie ma integracja zarówno pomiędzy poszczególnymi gałęziami, jak i zarządzaniem bezpieczeństwem w poszczególnych gałęziach,
4. **skoordynowany i współdziałający** z innymi systemami, z którymi tworzy interakcje,
5. **standaryzowany** pod względem przepisów, procedur i baz danych,
6. **niezależny** od wszelkich grup interesu w odniesieniu do zatrudnienia, sposobu pracy, rozporządzania środkami finansowymi,

7. innowacyjny co oznacza, iż powinien korzystać z nowych rozwiązań.

Zgodnie z koncepcją ZEUS zintegrowane systemy bezpieczeństwa transportu drogowego w swoim działaniu muszą być nastawione na:

- projektowanie bezpiecznej infrastruktury drogowej oraz modernizację istniejącej,
- eliminowanie braków w obszarze bezpieczeństwa w istniejącej infrastrukturze,
- prowadzenie działań ukierunkowanych na utrzymanie infrastruktury drogowej w stanie zapewniającym bezpieczeństwo,
- bezpieczeństwo projektowania i eksploatacji pojazdów dopuszczonych do poruszania się po drogach,
- monitoring poziomu ryzyka na drogach (wraz z niezbędnymi publikacjami),
- egzekwowanie przestrzegania przepisów z zakresu ruchu drogowego i bezpieczeństwa,
- natychmiastową interwencję w obliczu zdarzeń drogowych, w celu minimalizacji szkód osobowych,
- zadośćuczynienie lub naprawę szkód poniesionych w mieniu,
- prowadzenie rejestru wypadków oraz ich skutków (wraz z niezbędnymi publikacjami),
- prowadzenie badań ukierunkowanych na ustalenie przyczyn oraz winnych zaistniałych wypadków drogowych w celu wyeliminowania lub ograniczenia występowania podobnych zdarzeń (wraz z niezbędnymi publikacjami),
- prowadzenie monitoringu liczby wypadków drogowych w stosunku do poziomu zagrożenia (wraz z niezbędnymi publikacjami),
- prowadzenie badań nad nowymi sposobami zapewnienia bezpieczeństwa, z uwzględnieniem efektywności kosztowej (wraz z niezbędnymi publikacjami).

Biorąc pod uwagę wygasanie programu GAMBIT oraz wciąż niezadowalający stan bezpieczeństwa na polskich drogach KRBRD przedstawiła *Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013 – 2020* [KRDRB, 2013b], który przyjęła w czerwcu 2013 roku. Celem podstawowym pozostało zredukowanie liczby ofiar śmiertelnych do minimum, co ma być osiągnięte dzięki zmniejszeniu ciężkości wypadków, dalszej poprawie infrastruktury drogowej, kreowaniu bezpiecznych zachowań uczestników ruchu oraz ochronę pieszych i rowerzystów. Zgodnie z

założeniami programu do 2020 roku liczba zabitych w wypadkach drogowych ma nie przekraczać 2000 zaś ciężko rannych 6900. Konstrukcja programu opiera się na zasadzie 4 x E [KRBRD, 2013a, s. 17]: engineering (inżynieria i technologia), enforcement (nadzór), emergency (ratownictwo), education (edukacja), które stanowią główne obszary działań i inicjatyw niezbędnych do podniesienia stanu bezpieczeństwa.

Pierwszy z wymienionych kierunków działań – **inżynieria i technologia**, należy rozumieć jako stosowanie takich rozwiązań technicznych sieci drogowej, które podnoszą bezpieczeństwo dróg i sprawiają, że drogi wybaczą nieuniknione ludzkie błędy. To także stosowanie takich rozwiązań technicznych w pojazdach, które podnoszą bezpieczeństwo kierowców, pasażerów oraz niechronionych uczestników ruchu a także ograniczają ewentualne szkody. **Nadzór i kontrola** zachowań uczestników ruchu drogowego ma gwarantować przestrzeganie przepisów i ograniczać łamanie prawa zaś **edukacja** ma na celu uświadomienie ryzyka związanego z nieodpowiedzialnym zachowaniem i nieprzestrzeganiem zasad bezpieczeństwa, a tym samym ma kształtować właściwe postawy i zachowania. Program, podobnie jak *Globalny Plan Dekady Działań na rzecz Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2011 – 2020*, opiera się na pięciu filarach: bezpieczny człowiek, bezpieczna droga, bezpieczna prędkość, bezpieczny pojazd oraz ratownictwo medyczne i opieka powypadkowa.

Kolejnym programem przyjętym przez KRBRD jest *Program Realizacyjny*, zatwierdzony 22 maja 2013 roku, którego głównym zadaniem jest realizacja działań przedstawionych w Narodowym Programie Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013 – 2020. Jest to program wyznaczający działania dla instytucji zajmujących się BRD sporządzony na okres jednego roku. Kolejne dokumenty są programami dwuletnimi, określającymi szczegółowe działania na pierwszy rok oraz zarys działań na rok następny. W Programie Realizacyjnym 2013 doprecyzowano także czas realizacji poszczególnych zadań oraz wskazano odpowiednie instytucje zobligowane do ich wdrożenia.

Główny nacisk położony został na rozbudowę i poprawę jakości i oznaczenia dróg, prowadzenie kampanii społecznych podkreślających wagę bezpieczeństwa w ruchu drogowym, przegląd i analizę istniejących ograniczeń prędkości oraz edukację ratowników medycznych, straży pożarnej oraz aktywizację policji w celu poprawy bezpieczeństwa pieszych. Program Realizacyjny na lata 2006 – 2007 został również przygotowany podczas realizacji poprzedniego programu bezpieczeństwa ruchu drogowego GAMBIT 2005. Nie opracowano jednak programu planowanego na lata 2008

– 2010, w czym krajowi i zagraniczni eksperci upatrują przyczyny niepowodzenia w osiągnięciu założonych celów poprawy bezpieczeństwa.

W kolejnym *Programie Realizacyjnym* przypadającym na lata 2014 – 2015 [KRDRB, 2014] główny nacisk położono na ochronę pieszych oraz zarządzanie prędkością. Przyjęcie takich priorytetów jest ściśle związane z sytuacją występującą na polskich drogach. Zgodnie ze statystykami piesi stanowią około 30% ofiar śmiertelnych w wyniku wypadków drogowych. Z kolei nadmierna prędkość stanowiła ich najczęstszą przyczynę. Osiągnięcie powyższych celów miało być możliwe dzięki m.in.:

- rozwojowi systemu monitorowania zmian wybranych zachowań uczestników ruchu (takich jak m.in.: przekraczania dozwolonej prędkości, stosowania kasków, pasów bezpieczeństwa, fotelików dla dzieci, korzystania z telefonów komórkowych podczas jazdy),

- intensyfikacji nadzoru policji w obszarach o wysokim poziomie zagrożenia pieszych oraz w zakresie przekraczania dopuszczalnej prędkości,

- budowie urządzeń bezpieczeństwa dla pieszych,

- szkoleniu kadr w zakresie BRD,

- wprowadzaniu wytycznych w zakresie stosowania urządzeń bezpieczeństwa dla pieszych,

- prowadzeniu badań nad skutecznością działań z zakresu zarządzania prędkością,

- rozwojowi systemu automatycznego nadzoru w zakresie przekraczania prędkości oraz niestosowania się kierowców do obowiązku zatrzymania się na czerwonym świetle,

- uspokajaniu ruchu na drogach krajowych,

- kampaniom społecznym piętnującym jazdę z nadmierną prędkością,

- budowie systemu publicznego udostępniania informacji o funkcjonowaniu automatycznego nadzoru nad ruchem drogowym.

Program Realizacyjny na lata 2015 – 2016 [KRDRB, 2015c] zakłada kontynuację powyższych priorytetów. Zadania realizowane w poprzednim programie zostały rozbudowane m.in. o ustalenie wytycznych w zakresie:

- wyznaczania przejść dla pieszych,

- organizacji bezpiecznego ruchu rowerowego.

W czerwcu 2013 roku Międzynarodowy Bank Odbudowy i Rozwoju / Bank Światowy (IBRD/WB) opracował *Raport końcowy: Przegląd potencjału w zakresie zarządzania bezpieczeństwem drogowym w Polsce*, którego celem była ocena potencjału

instytucjonalnego w zakresie zarządzania bezpieczeństwem oraz rekomendacja działań strategicznych, które:

- mają stanowić podwalinę dla przyszłego systemu bezpieczeństwa tworzonego w ramach Narodowego Programu Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego,
- uświadomią decydentom, opinii publicznej i odpowiednim instytucjom powagę sytuacji wynikającej z niewystarczającego poziomu bezpieczeństwa drogowego,
- będą stanowić zalecenia dotyczące właściwego wykorzystania własnych oraz unijnych funduszy na inwestycje z zakresu poprawy BRD,
- będą promować działania podjęte na rzecz BRD,
- będą stanowić wytyczne dla ewentualnych inwestycji dokonywanych ze środków Banku Światowego.

1.5. Diagnoza systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce w świetle raportu Banku Światowego

W ostatnich latach zarówno liczba wypadków jak i ofiar śmiertelnych w Polsce uległa zmniejszeniu, jednak poprawa ta jest znacznie mniejsza niż w pozostałych krajach europejskich. Według raportu Międzynarodowego Banku Odbudowy i Rozwoju / Banku Światowego [IBRD / WB, 2013] za główne przyczyny niskiego poziomu bezpieczeństwa w Polsce należy uznać:

1. brak rozdzielania pasów ruchu, co może narażać na zderzenia czołowe,
2. brak wydzielenia pasów dla niechronionych użytkowników ruchu – pieszych i rowerzystów,
3. mała liczba barier ochronnych na drogach,
4. złe zaprojektowanie poboczy, które nie wybaczą błędów uczestnikom ruchu drogowego,
5. wysoki średni wiek pojazdów oraz brak wyposażenia pojazdów w nowoczesne systemy bezpieczeństwa,
6. niebezpieczne zachowania kierowców, jak np. korzystanie z telefonów komórkowych podczas jazdy, prowadzenie pojazdów pod wpływem alkoholu,
7. ograniczenia prędkości, zarówno w terenie zabudowanym jak i niezabudowanym, przewyższające limit obowiązujący w innych krajach,
8. słabe egzekwowanie przestrzegania przepisów dotyczących ograniczeń prędkości, co można interpretować jako przyzwolenie na brawurową jazdę,

9. niedostateczne stosowanie pasów bezpieczeństwa oraz fotelików dla dzieci.

Z negatywną oceną ekspertów spotkała się również dostępność danych liczbowych na temat poziomu bezpieczeństwa. Uznano, iż w Polsce brak jest skoordynowanego systemu baz danych, co utrudnia podejmowanie działań dostosowanych do różnorodnych potrzeb poszczególnych regionów oraz ocenę skuteczności i zrozumienia efektów wprowadzanych programów naprawczych. Brak rzetelnych danych zebranych przed oraz po wprowadzeniu działań w zakresie bezpieczeństwa powoduje trudności w pomiarze uzyskanych efektów.

Skuteczne zarządzanie bezpieczeństwem wymaga dobrego funkcjonowania Instytucji Wiodącej. W Polsce organami posiadającymi kompetencje do działań w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego są:

- właściwi Ministrowie,
- wszystkie szczeble władz samorządowych oraz krajowych w zakresie ponoszenia odpowiedzialności za infrastrukturę drogową,
- Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (KRBRD),
- Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA),
- Komenda Główna Policji,
- Główny Inspektorat Transportu Drogowego (GITD),
- Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej,
- Ratownictwo Medyczne.

Powyższe instytucje są wspierane przez liczne organizacje prywatne i pozarządowe, m.in. przez Instytut Transportu Samochodowego, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny, Partnerstwo dla Bezpieczeństwa Drogowego, Polski Czerwony Krzyż a także wiele instytucji badawczych oraz uczelni wyższych.

Można zauważyć, iż w Polsce jest duża liczba organów zajmujących się bezpieczeństwem, jednak brak jest wyraźnego wydzielenia Instytucji Wiodącej, która koordynowałaby współpracę pomiędzy wszystkimi szczeblami władz publicznych i byłaby odpowiedzialna za realizację wyznaczonych zadań. Rolę taką miała pełnić Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, jednak nigdy nie została ona wyposażona w pozwalające jej na to zasoby. Brak koordynacji działań poszczególnych organów prowadzi do niewystarczającego stopnia komunikacji między podmiotami a w konsekwencji do dublowania się niektórych działań przy jednoczesnym zaniechaniu

realizacji innych. Wymiana doświadczeń prowadzona jest w niewielkim zakresie co powoduje, że każda jednostka administracyjna samodzielnie wypracowuje zestaw działań prewencyjnych bez korzystania z pozytywnych praktyk innych samorządów.

W Raporcie końcowym opracowanym przez Międzynarodowy Bank Odbudowy i Rozwoju / Bank Światowy [IBRD / WB, 2013, s. 13] można znaleźć stwierdzenie, iż w Polsce brak jest systematycznej strategii komunikacyjnej, której celem jest promowanie bezpieczeństwa ruchu drogowego, zwiększenie świadomości zagrożeń oraz kształtowanie właściwych zachowań na drodze. Brak też zainteresowania ze strony opinii publicznej oraz zapotrzebowania na zwiększenie bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce, jak i presji ze strony społeczeństwa, by zmniejszyć zagrożenie wypadkami. Można odnieść wrażenie, iż wśród przedstawicieli władz pokutuje przekonanie, iż sprawy związane z wypadkowością nie leżą w gestii samorządów i dlatego nie przykładają należytej staranności do poprawy sytuacji. Polskie społeczeństwo z kolei zdaje się akceptować wypadki drogowe jako negatywny, choć naturalny element rozwoju transportu. Ważne jest by zarówno władze jak i społeczeństwo było zaangażowane w walkę o bezpieczeństwo na polskich drogach.

Działania zmierzające do ograniczenia liczby ofiar w ruchu drogowym wymagają znacznych nakładów finansowych, które w Polsce nie są wystarczające, bądź niekiedy nieefektywnie alokowane. Niewłaściwe rozdysponowanie budżetu w dużej mierze było zawinione brakiem przeprowadzenia analizy kosztów i korzyści oraz ustalenia priorytetowych zadań. Zdarzało się, iż finansowane były zadania, które nie miały wysokiej rangi a zatem nie przyczyniały się w znaczącym stopniu do realizacji celu. W obliczu niewystarczających zasobów, oznaczało to konieczność rezygnacji z zadań priorytetowych.

1.6. Podsumowanie

Podniesienie poziomu bezpieczeństwa drogowego, a przede wszystkim zredukowanie liczby ofiar śmiertelnych, jest jednym z założeń zrównoważonego transportu. W obliczu rozwoju motoryzacji i nieustannie rosnącej potrzeby mobilności problem wypadkowości urósł do rangi międzynarodowej.

Doświadczenia krajów pokazują, iż wypadkom można zapobiec. Osiągnięcie satysfakcjonującego poziomu BRD nie następuje z dnia na dzień lecz jest procesem długofalowym, który wymaga podjęcia skoordynowanych, interdyscyplinarnych działań

podejmowanych przez właściwe instytucje. Niezbędna jest współpraca organów państwowych każdego szczebla, organizacji międzynarodowych, instytucji badawczo-naukowych oraz wszystkich użytkowników dróg. W działania powinny być także zaangażowane wszystkie podmioty administracji drogowej oraz Policja, służba zdrowia, producenci pojazdów, projektanci infrastruktury drogowej.

Zasadniczymi czynnikami wspierającymi poprawę poziomu bezpieczeństwa są m.in. programy i strategie tworzone w oparciu o doświadczenia krajów o wyższym stopniu rozwoju gospodarczego. Wymogi bezpieczeństwa drogowego muszą być uwzględniane już na etapie planowania przestrzennego, projektowania transportu miejskiego oraz bezpiecznej infrastruktury drogowej. Proces poprawy BRD nie może sprawnie przebiegać bez właściwych rozwiązań organizacyjno-prawnych oraz umiejętnego kształtowania zachowań uczestników ruchu drogowego. Oczekiwane efekty będą widoczne, gdy uczestnicy ruchu drogowego będą wykazywać się rozsądkiem i stosować się do obowiązujących przepisów prawa drogowego.

ROZDZIAŁ 2

CHARAKTERYSTYKA CZYNNIKÓW KSZTAŁTUJĄCYCH POZIOM BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO W POLSCE W LATACH 1995 - 2014

2.1. Wprowadzenie

Rozwój ekonomiczny jest silnie powiązany z zapotrzebowaniem na transport. Znajduje to odzwierciedlenie w dynamicznym wzroście użytkowników dróg, co z kolei przekłada się na wzrost natężenia ruchu drogowego. Jeśli nie zostaną podjęte odpowiednie działania prewencyjne, sytuacja taka może wpływać na pogorszenie poziomu bezpieczeństwa. Wysoka liczba zdarzeń drogowych i wynikająca stąd liczba ofiar śmiertelnych oraz wysokie straty materialne doprowadziły w ostatnich latach do skupienia uwagi wielu instytucji europejskich i światowych na sprawach związanych z bezpieczeństwem drogowym. Parlament Europejski, Komisja Europejska oraz Europejska Konferencja Ministrów Transportu (ECMT) zgodnie uważają, że prawo obywateli Unii Europejskiej do swobodnego poruszania się jest nieodłącznie związane z ich prawem do bezpieczeństwa, a zapewnienie bezpieczeństwa wszystkim użytkownikom systemu transportowego powinno być uznane za zadanie priorytetowe. [Ministerstwo Infrastruktury, 2005, s. 25].

Na liczbę zdarzeń drogowych ma wpływ wiele czynników, w tym między innymi jakość infrastruktury drogowej, natężenie ruchu, wydatki na BRD, poziom rozwoju gospodarczego. Często jednak przyczyny implikujące powstawanie wypadków i kolizji drogowych nie są jasne. Jak zauważa J. Walewski [1980, s. 15 – 16] stan bezpieczeństwa ruchu drogowego jest funkcją wielu czynników współdziałających często na zasadzie sprzężeń zwrotnych. Niektóre oddziałują na bezpieczeństwo ruchu bezpośrednio, inne zaś w sposób pośredni.

Dodatkowo, dochodzą jeszcze czynniki ludzkie, w postaci błędnych i negatywnych zachowań. Istotne znaczenie mają takie cechy charakteru kierowców jak brawura, skłonność do ryzyka, agresja, brak kultury na drodze, kierowanie pojazdu po spożyciu środków odurzających, niedostateczne umiejętności. Wpływ na poziom bezpieczeństwa na drodze mają również warunki atmosferyczne. Niestety nie ma prowadzonych statystyk na ten temat. W niniejszym rozdziale zostaną zatem

zanalizowane jedynie potencjalne determinanty bezpieczeństwa ruchu drogowego, dla których dostępne są rzetelne bazy danych. W pierwszej kolejności, w celu zobrazowania wagi problemu, zostanie jednak krótko przedstawiony poziom wypadkowości w Polsce oraz na świecie.

2.2. Poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego na świecie

Zgodnie z raportami WHO [2015, s. 1] każdego roku na całym świecie w wyniku wypadków komunikacyjnych ginie około 1,25 mln a 20 - 50 mln odnosi obrażenia ciała. Oznacza to, iż średnio każdej minuty ma miejsce śmiertelny wypadek, a co 2 sekundy ktoś zostaje ranny.

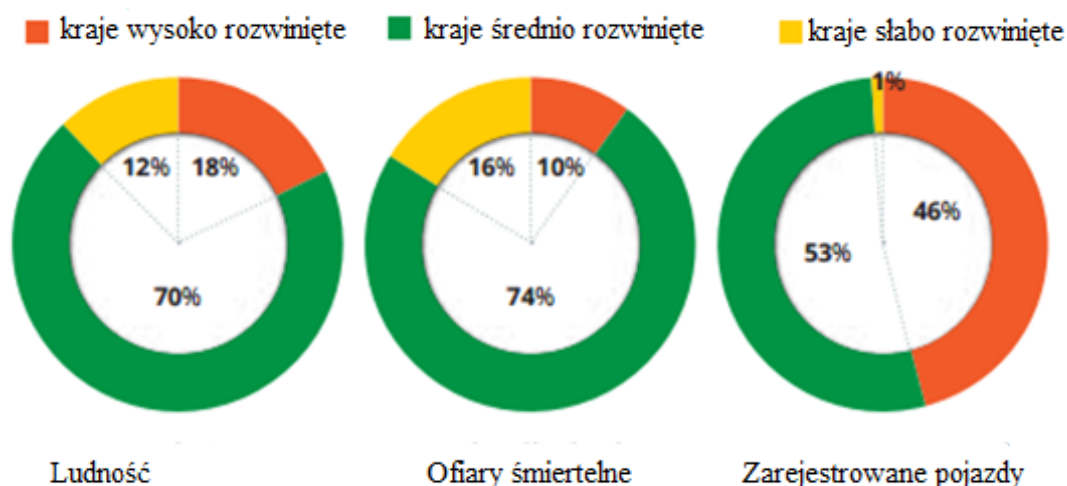
W 2013 roku liczba ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych była na poziomie zbliżonym do 2007 roku. Zważywszy, że w latach 2007 – 2010 odnotowano wzrost zarówno liczby pojazdów (16%) oraz liczby ludności (4%), wynik ten należy uznać za duże osiągnięcie. W analizowanym okresie w siedemdziesięciu dziewięciu krajach odnotowano spadek liczby ofiar śmiertelnych, co oznacza, że podejmowane działania prewencyjne odniosły skutek. 35 z nich to kraje o wysokim dochodzie, 44 o średnim i niskim dochodzie. Pozostałe 68 krajów objętych badaniem cechowało się jednakże odwrotnym kierunkiem zmian.

W krajach wysoko rozwiniętych w ostatnich latach odnotowano spadek liczby ofiar śmiertelnych, jednak wypadki drogowe wciąż stanowią jedną z częstszych przyczyn zgonów, uszkodzeń ciała oraz niepełnosprawności. Zgodnie z prognozami WHO [2009, s. IX], do 2030 roku śmierć w wyniku wypadku drogowego przesunie się z dziewiątej (w 2004 roku) na piątą pozycję w rankingu przyczyn zgonów, stanowiąc ok. 3,6% wszystkich przyczyn śmierci. Wyżej notowane będą jedynie choroby serca (14,2%), naczyń mózgowych (12,1%), płuc (8,6%) oraz dolnych dróg oddechowych (3,8%).

Ponad 90% wypadków, w których giną ludzie ma miejsce w krajach słabo oraz średnio rozwiniętych, gdzie zarejestrowana jest zaledwie połowa światowej liczby pojazdów (rys. 2.1). Szacuje się, iż liczba samochodów na świecie sięga ok. 1,6 mld, z czego 46% zarejestrowanych jest w krajach o wysokim dochodzie, 54% o średnim dochodzie a 1% o niskim. Również wskaźnik zabitych na 1 mln mieszkańców osiąga znacznie wyższy poziom w krajach słabo i średnio rozwiniętych (odpowiednio 184 oraz 241 ofiary) niż w krajach wysoko rozwiniętych (92 zabitych). Ofiarami śmiertelnymi niemalże połowy wypadków drogowych, które miały miejsce na wszystkich kontynentach są niechronieni uczestnicy ruchu drogowego, czyli motocykliści, piesi oraz

rowerzyści, których udział w całkowitej liczbie zgonów wynosił w 2013 roku odpowiednio 23%, 22% oraz 4%. W zależności od wskaźnika zmotoryzowania kraju rozkład powyższych grup ofiar ma odmienny układ. Przykładowo w krajach słabo rozwiniętych, gdzie wskaźnik zmotoryzowania nie jest wysoki, najbardziej narażonymi uczestnikami ruchu są piesi i rowerzyści. W wypadkach drogowych najczęściej życie tracą osoby w wieku 15 – 44 lat. Stanowią oni aż 59% wszystkich ofiar śmiertelnych, z czego niemalże 77% to mężczyźni.

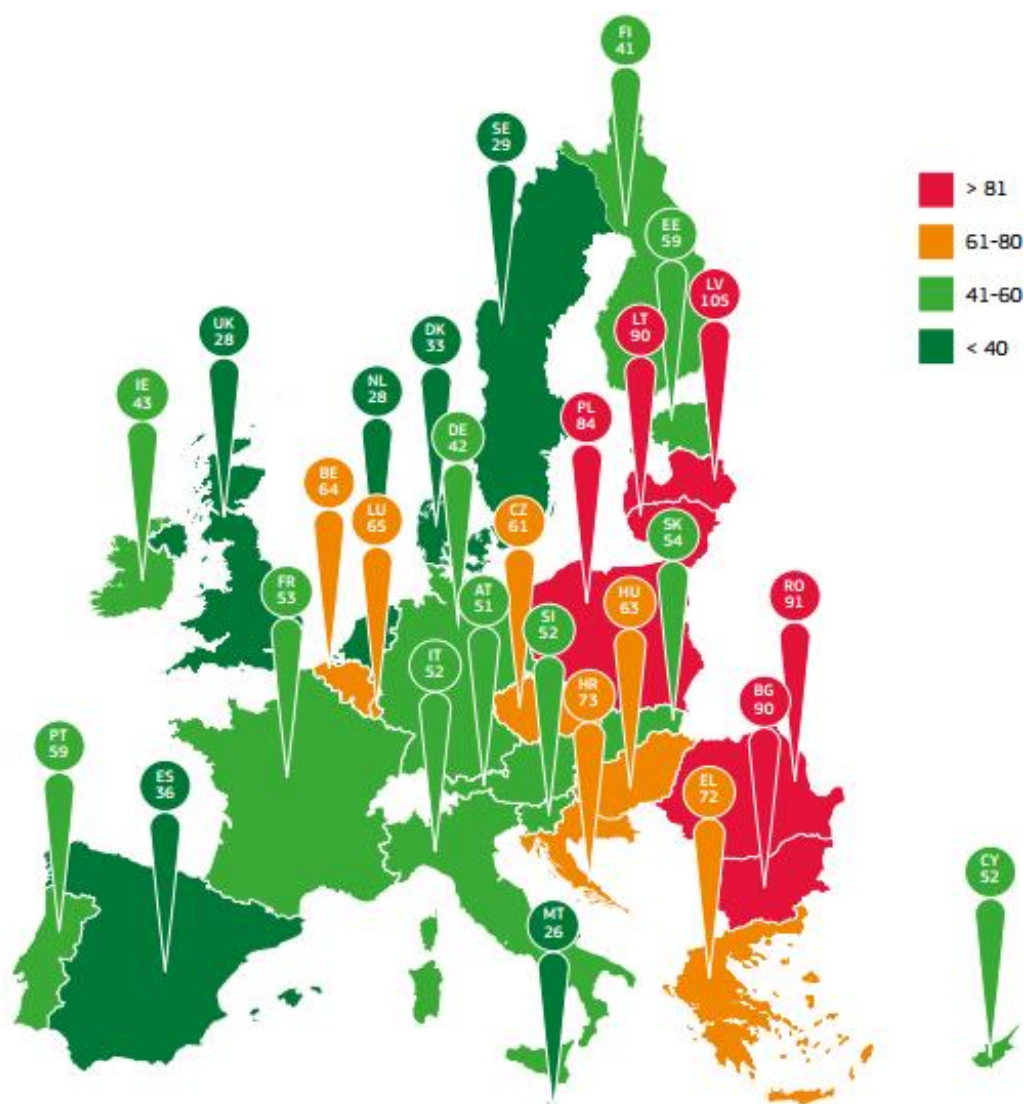
Rysunek 2.1. Struktura populacji, ofiar śmiertelnych w wyniku wypadków drogowych oraz liczby zarejestrowanych pojazdów w odniesieniu do stopnia rozwoju gospodarczego kraju 2013 roku



Źródło: WHO, 2015, s. 2.

Komisja Europejska w raporcie *Road safety in the European Union* [2015, s. 5] podaje, iż w samej tylko Europie w 2014 roku w wypadkach drogowych straciło życie niemalże 26 tys. obywateli, zaś ponad 200 tys. odniosło poważne obrażenia. Średnia wartość wskaźnika zagrożenia dla państw europejskich ukształtowała się na poziomie 51 osób (rys. 2.2.). Najniższy wskaźnik, nie przekraczający 30 osób na 1 mln mieszkańców, odnotowano w Szwecji, Holandii, Wielkiej Brytanii i na Malcie. Wielu krajom nie udało się jednak osiągnąć tak pozytywnych wyników. Najpoważniejsza sytuacja występowała w Rumunii, Polsce, na Litwie i Łotwie, gdzie życie straciło ponad 80 osób na 1 mln obywateli.

Rysunek 2.2. Zróźnicowanie wskaźnika śmiertelności w wypadkach drogowych w Europie w 2014 roku



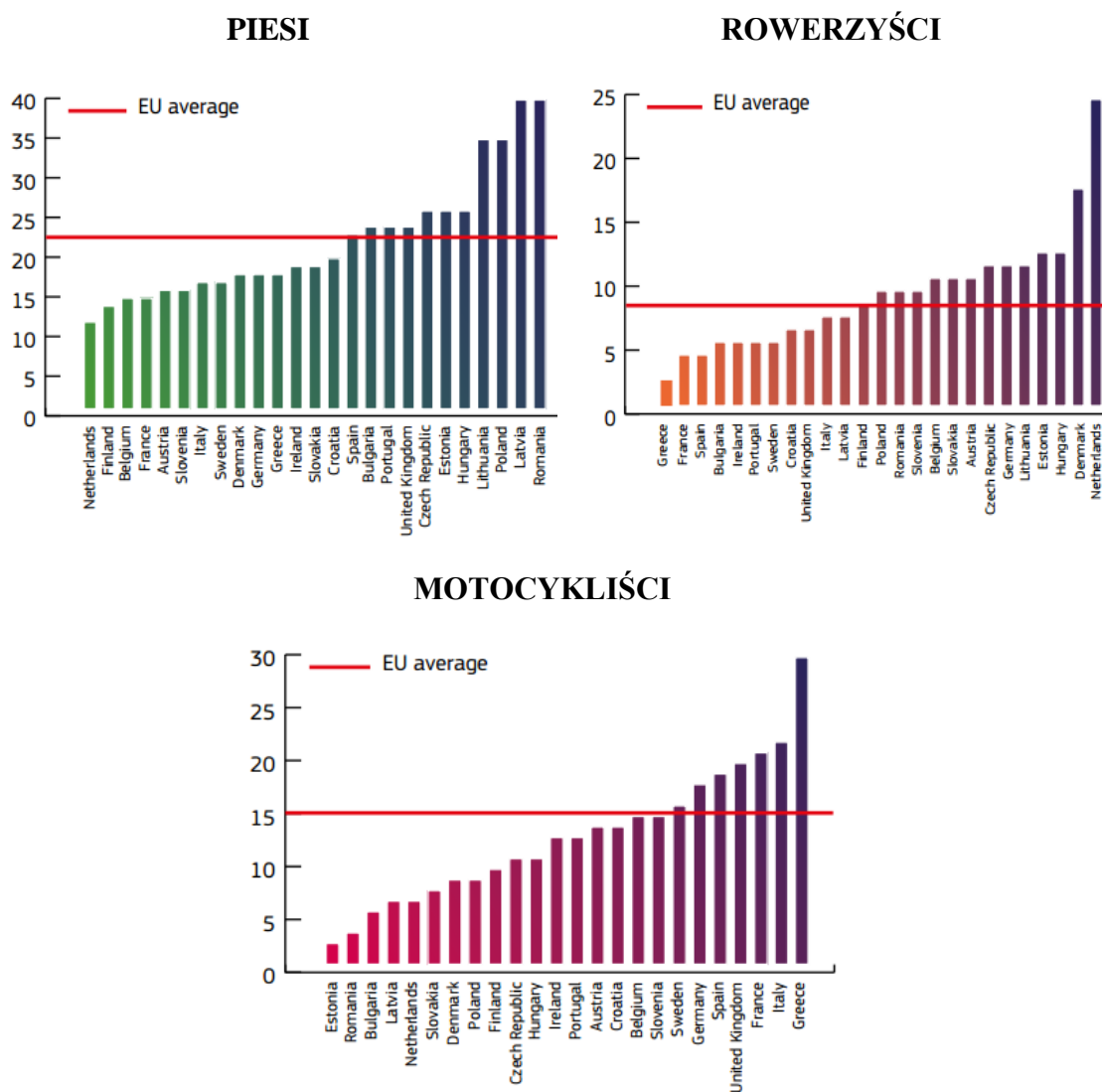
Źródło: European Commissions, 2015, s. 9.

Z każdym kolejnym rokiem poziom bezpieczeństwa w Europie ulega poprawie, jednak tempo tej poprawy staje się coraz wolniejsze. Wciąż utrzymuje się duża dysproporcja pod względem płci ofiar śmiertelnych. 76% to mężczyźni i chłopcy. Od lat najbardziej narażoną grupą wiekową są osoby młode, poniżej 24 roku życia, które stanowiły 17% wszystkich zabitych w wypadkach, podczas gdy ich udział w całej populacji wynosi zaledwie 11%.

Bardzo dużym wyzwaniem dla Europy jest podniesienie poziomu bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego, którzy stanowią niemalże połowę wszystkich zabitych w wypadkach drogowych. Aż 22% z nich to piesi, 8% rowerzyści zaś 15% to motocykliści. Na rysunku 2.3. przedstawiono kształtowanie się udziału tych

grup użytkowników dróg w całkowitej liczbie ofiar śmiertelnych w poszczególnych krajach europejskich.

Rysunek 2.3. Udział niechronionych uczestników ruchu drogowego w całkowitej liczbie zabitych w wypadkach drogowych w Unii Europejskiej w 2014 roku



Źródło: European Commissions, 2015, s. 13 – 21.

Można zauważyć, iż zróżnicowanie przestrzenne jest znaczne. W Holandii, Finlandii, Belgii oraz Francji osoby poruszające się pieszo stanowiły niewielką grupę nie przekraczającą 15% poszkodowanych w wypadkach. Z kolei Litwa, Polska, Łotwa oraz Rumunia muszą podjąć zdecydowane działania podnoszące poziom bezpieczeństwa tej grupy. Ponad jedna trzecia zabitych pieszych to kobiety, a 44% to osoby starsze, powyżej 65 roku życia.

Liczba rowerzystów, którzy zginęli na europejskich drogach każdego roku ulega zmniejszeniu, jednakże spadek ten jest nieznaczny. Przyczyny tego stanu należy upatrywać w dynamicznym wzroście zainteresowania obywateli europejskich jazdą zdrowszym środkiem komunikacji. Nie powinno zatem dziwić występowanie wysokich współczynników śmiertelności cyklistów w Danii i Holandii słynących z dużej liczby osób poruszających się na rowerach. W Danii udział tragicznych zgonów tej grupy użytkowników dróg w ogólnej liczbie zabitych na drogach dwukrotnie przewyższa średnią europejską, wynoszącą 8%. W Holandii wskaźnik ten jest nawet trzykrotnie wyższy.

Motocykliści stanowią około 15% wszystkich ofiar śmiertelnych odnotowanych na terenie Unii Europejskiej. Szacuje się, iż na każde zarejestrowane 100 000 motorów, życie traci 11 prowadzących. Dla porównania, na każde zarejestrowane 100 000 samochodów osobowych śmierć w wypadkach ponosi średnio 5 kierujących. Pozytywną tendencją jest jednak spadek tego wskaźnika w ostatnich latach. Niemalże 60% zmarłych motocyklistów to osoby w wieku 25 – 49 lat, zaś 94% to mężczyźni, a zatem osoby, które stanowią najliczniejszą grupę użytkowników tego typu pojazdu.

Zgodnie z raportem WHO, dużym problemem jest brak odpowiednich regulacji prawnych w zakresie zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego mimo, iż transport jest przedmiotem wielu ustaw. Ustawodawstwo w wielu krajach nie jest spójne z bieżącymi potrzebami a proces ich dostosowywania do zmieniających się warunków nie jest wystarczająco szybki. Proces legislacyjny jest bardzo długi, brakuje ekspertów w departamentach rządowych, konsultacja społeczna jest niewystarczająca lub niekiedy w ogóle jej nie ma. W latach 2008 – 2011 tylko 35 państw objęło regulacjami prawnymi przynajmniej jeden z pięciu podstawowych czynników ryzyka, wprowadzając przepisy dotyczące ograniczeń prędkości, dopuszczalnej zawartości alkoholu we krwi, stosowania kasków ochronnych, pasów bezpieczeństwa oraz fotelików dla dzieci. Szacuje się, iż zaledwie 28 krajów, co odpowiada 449 milionom mieszkańców (7% populacji), jest wyposażonych w odpowiednie regulacje prawne, odnoszące się do wszystkich czynników ryzyka. Niestety, od 2009 roku nie odnotowano przyrostu państw charakteryzujących się kompletnym ustawodawstwem w kwestii BRD.

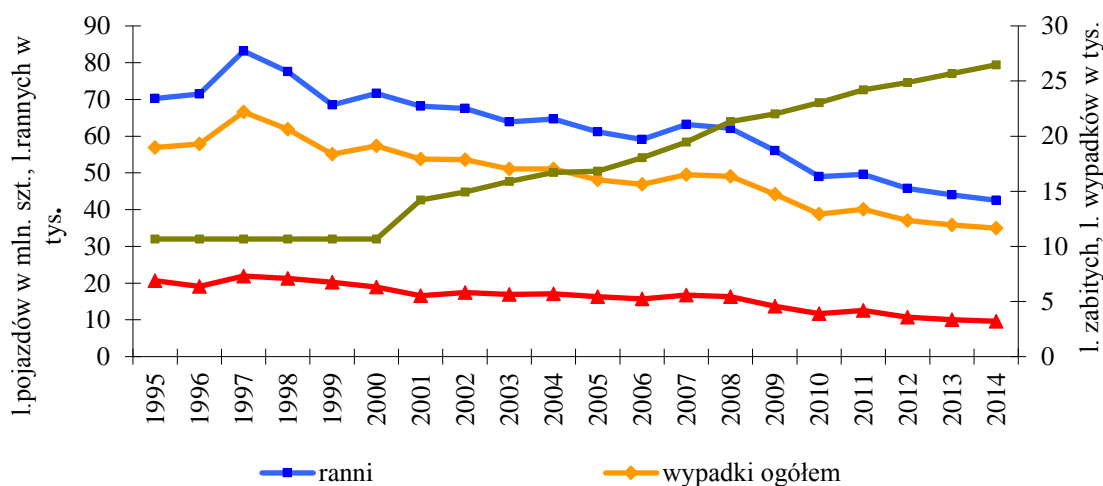
2.3. Bezpieczeństwo ruchu drogowego w Polsce

Na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat zaobserwowano w Polsce znaczny spadek liczby wypadków drogowych (rys. 2.4.). W latach 1995 – 2014 ich liczba spadła o 38,5%

z poziomu 56 904 do 34 970. Najgorszym rokiem, który okazał się również momentem przełomowym był rok 1997. Doszło wtedy do 66 586 wypadków, co stanowiło 15% wzrost w stosunku do roku poprzedniego. W wypadkach śmierć poniosło 83 tysiące osób a 7,3 tysięcy zostało rannych. Od tamtego roku liczba wypadków drogowych oraz ich ofiar sukcesywnie maleje. Zatrzymanie tendencji spadkowej miało miejsce jedynie w latach 2007 oraz 2011, kiedy nastąpił wzrost odpowiednio z 46 876 do 49 536 oraz z 38 832 do 40 065 zdarzeń.

Podobny kierunek zmian dotyczył liczby rannych i ofiar śmiertelnych, których w analizowanym dwudziestoleciu było mniej odpowiednio o 39,4% oraz 53,6%. Jest to pozytywna tendencja zmian, jednak w porównaniu do innych państw członkowskich Unii Europejskiej Polska wypada najgorzej.

Rysunek 2.4. Wypadki drogowe oraz ich ofiary na tle rozwoju motoryzacji w Polsce w latach 1995 - 2014



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS i KGP.

Zgodnie z Raportem końcowym opracowanym przez ekspertów Międzynarodowego Banku Odbudowy i Rozwoju / Banku Światowego w państwach członkowskich UE, które miały porównywalne wskaźniki śmiertelności, odnotowano postęp, którego nie udało się osiągnąć w Polsce [IBRD / WB, 2013, s. 9]. Polska stała się krajem o jednym z najwyższych wskaźników śmiertelności w wyniku wypadków drogowych, wynoszącym 84 osoby na milion mieszkańców w 2014 roku, znacznie przewyższając średni poziom wskaźnika dla UE, wynoszący 51 osób. Gorsza sytuacja występowała jedynie w Bułgarii i na Litwie, gdzie śmierć na skutek wypadku drogowego

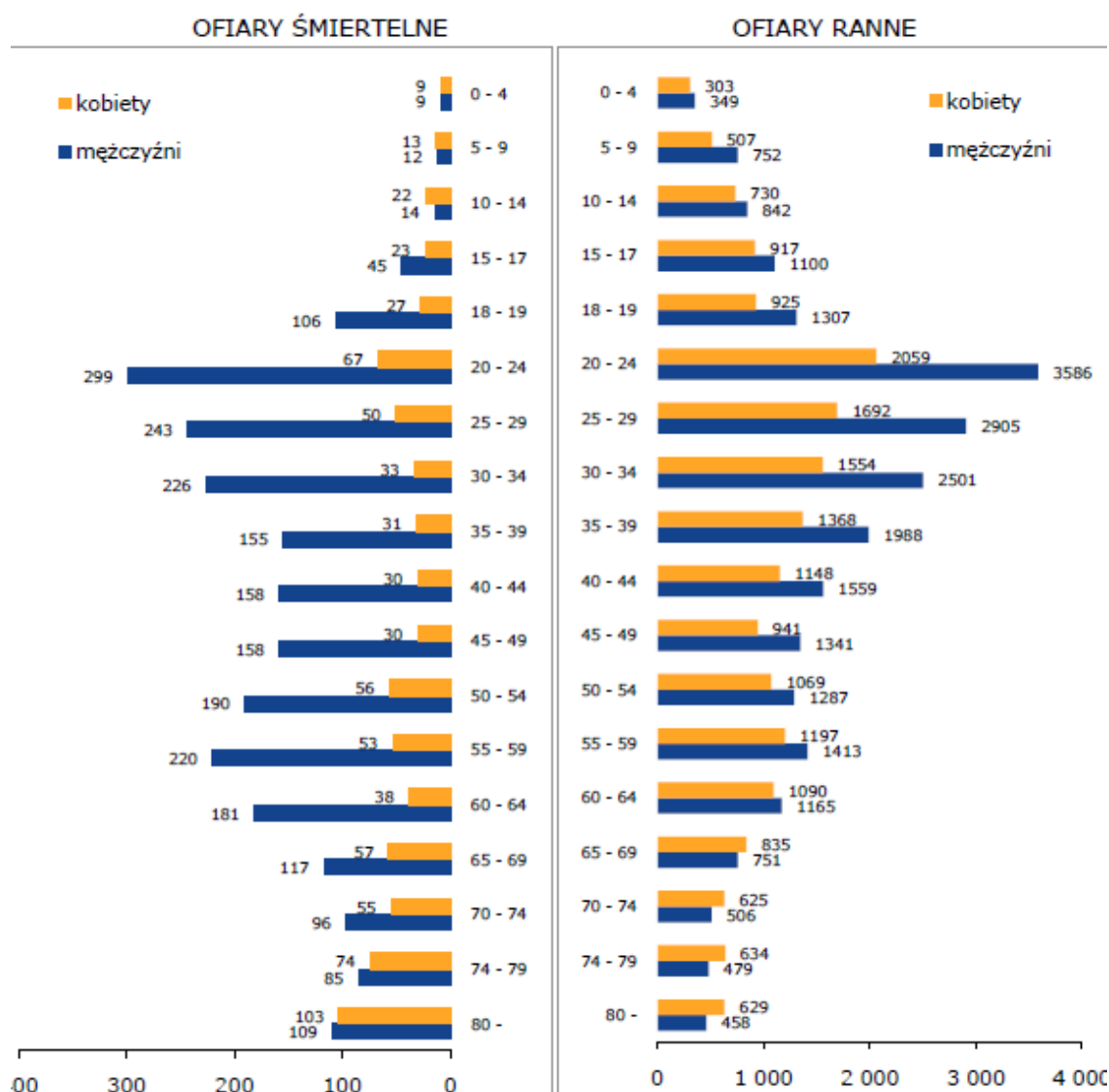
poniosło 90 osób na 1 mln mieszkańców oraz w Rumunii i na Łotwie, w których wskaźnik śmiertelności wynosił odpowiednio 91 i 106.

Przedstawione dane pochodzą z raportów Policji. W dokumencie WHO *Global Status Report on Road Safety* [2013] podano liczbę zabitych powiększoną o szacunek wypadków śmiertelnych, które prawdopodobnie nie zostały zgłoszone na Policję. Zgodnie z tymi obliczeniami, do oficjalnych statystyk należy dodać 15% by uzyskać dane oddające rzeczywisty obraz sytuacji. Raport IRTAD z 2013 roku również sugerował, bazując na danych zaczerpniętych z pilotażowego badania przeprowadzonego przez Instytut Transportu Samochodowego, że oficjalne statystyki są zaniżone [IBRD / WB, 2013, s. 35]. Na podstawie tych szacunków należy przyjąć, iż raportowana przez Policję liczba ofiar drogowych w zależności od przyjętej metody jest zaniżona od 3 do 25%.

Zgodnie z raportem KRBRD [2015b] w 2014 roku mężczyźni byli sprawcami 77% wypadków, w wyniku których życie straciło 86% wszystkich ofiar śmiertelnych. Najmniej bezpieczną jazdą cechowały się osoby młode, między 20 a 24 rokiem życia, które spowodowały 17% wypadków z winy kierujących. Jest to grupa osób o stosunkowo nieznacznym doświadczeniu a jednocześnie w dużej mierze przeświadczonych o swoich umiejętnościach i lubiących brawurową jazdę.

Niemalże 50% wszystkich ofiar śmiertelnych w 2013 roku stanowili kierujący pojazdami. Na drugim miejscu znaleźli się piesi (35%), których zginęło aż 124 na 100 wypadków z ich udziałem. Mężczyźni stanowili aż 76% wszystkich ofiar śmiertelnych i 57% rannych. Grupą wiekową (tab. 2.1.) najbardziej narażoną na odniesienie obrażeń w wyniku wypadków drogowych były osoby młode, pomiędzy 18 a 29 rokiem życia. Stanowili oni aż 25% wszystkich ofiar śmiertelnych oraz 30% rannych. W obu przypadkach byli to głównie młodzi mężczyźni.

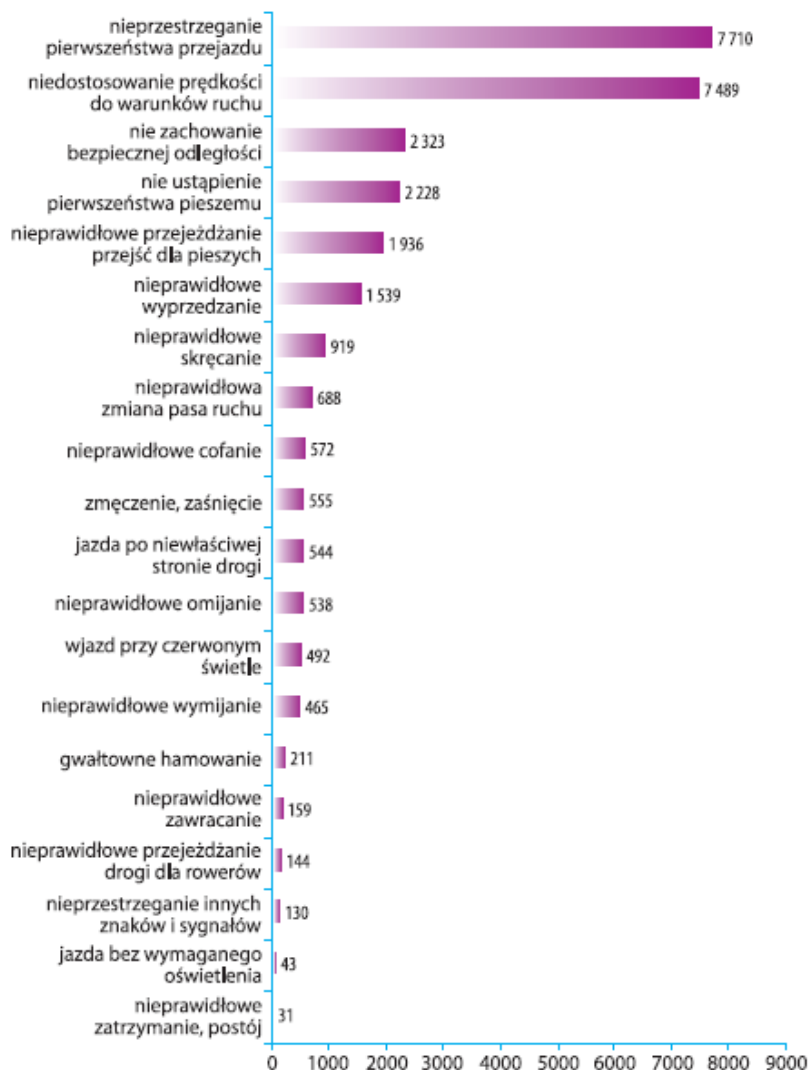
Tablica. 2.1. Ofiary wypadków drogowych roku według wieku i płci w 2014



Źródło: KRBRD, 2015b, s. 14.

Wśród całego wachlarza determinant bezpieczeństwa w ruchu drogowym na pierwszy plan zdecydowanie wysuwa się czynnik ludzki. Reakcje człowieka na określone sytuacje występujące podczas poruszania się po drogach przyczyniają się do powstawania wypadków i decydują o ich ciężkości. Zgodnie ze statystykami publikowanymi przez Komendę Główną Policji (tab. 2.2.) w 2014 roku aż 26,8% wszystkich wypadków było zawinionych przez nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu, w wyniku czego zginęły aż 323 osoby a 9 991 zostało rannych. Niedostosowanie prędkości do warunków ruchu, było przyczyną 26,1% ogółu wypadków, w których zginęło niemalże 40% wszystkich ofiar śmiertelnych oraz 30% rannych.

Tablica 2.2. Przyczyny wypadków drogowych spowodowanych przez kierujących w 2014 roku



Źródło: KRDRB, 2015b, s. 27.

Analizując przestrzenne rozmieszczenie zagrożenia w 2014 roku, można zauważyć, iż w niechlubnej czołówce charakteryzującej się największą liczbą zgonów na skutek wypadków drogowych znajdują się województwa: mazowieckie (518 osoby), wielkopolskie (268), łódzkie (256) oraz śląskie (249). Największa liczba rannych zaś była notowana w województwie śląskim (5 324), mazowieckim (5 211), łódzkim (4 807) oraz małopolskim (4 805). Z kolei najbezpieczniejsze pod względem śmiertelności okazały się być województwa lubuskie i opolskie, w których zginęły odpowiednio 81 i 104 osoby. W tych samych województwach oraz dodatkowo w podlaskim było też najmniej rannych.

Należy zwrócić uwagę, iż poszczególne regiony nie są jednakowe, lecz różnią się ze względu na wielkość powierzchni, liczbę mieszkańców, ilość samochodów przypadającą na mieszkańca, natężenie ruchu. Do celów porównawczych zatem bardziej

zasadne jest operowanie wskaźnikami zagrożenia, które zostały zdefiniowane w rozdziale pierwszym niniejszej rozprawy.

W opracowaniach międzynarodowych definiując wskaźniki demograficzne częściej liczbę wypadków oraz liczbę ofiar śmiertelnych odnosi się nie do 100 tysięcy⁷ lecz do 1 mln mieszkańców danego regionu. Taka miara zostanie przyjęta w niniejszej analizie.

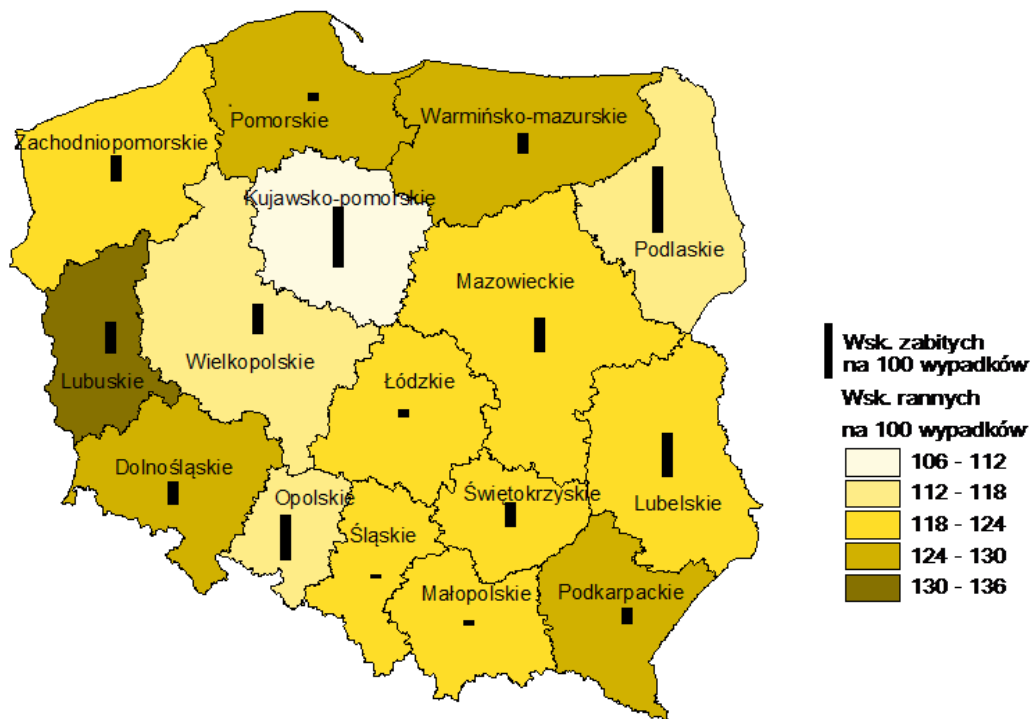
Dobór powyższych wskaźników nie jest przypadkowy. Ich zadaniem jest obiektywne odzwierciedlenie rzeczywistości i umożliwienie porównywalności między różnymi obiektami. Przyjęta metodyka eliminuje różnice w specyficznych cechach regionów jak np. demografia, zagospodarowanie przestrzenne. W pierwszym etapie badania każdy obszar poddawany jest ocenie pod względem każdego z wymienionych wskaźników zagrożenia. Różnica pomiędzy największą a najmniejszą wartością wskaźnika dla wszystkich obiektów dzielona jest na pięć jednakowych przedziałów. Każdemu przedziałowi przypisany jest punkt w skali od 1 do 5, przy czym 1 punkt przypisywany jest najniższemu poziomowi a 5 najwyższemu. Ostateczny wynik liczony jest jako średnia z tych 4 ocen. Metodyka ta jest analogiczna do systemu rankingowania bezpieczeństwa samochodów EuroNCAP (ang. *European New Car Assessment Programme*)⁸, w którym przydzielana jest określona liczba gwiazdek za spełnienie określonego poziomu bezpieczeństwa. 1 gwiazdka oznacza najniższy zaś 5 gwiazdek najwyższy poziom bezpieczeństwa. Suma uzyskanych gwiazdek umożliwia przeprowadzenie porównania między różnymi obiektami i wyłonienie lidera bezpieczeństwa.

Używając wskaźnika ciężkości wypadków do oceny poziomu bezpieczeństwa w ruchu drogowym, okazuje się, iż w 2014 roku województwo podlaskie miało najwyższy wynik liczby ofiar śmiertelnych sięgający 18,2 osób na 100 wypadków drogowych (rys. 2.5.). Na nieco niższym, choć również bardzo wysokim poziomie uplasowały się województwa: kujawsko-pomorskie (17,1), opolskie (14,1) oraz lubelskie (13,8).

⁷ Wartość przyjęta przez KRBRD.

⁸ EuroNCAP jest niezależną organizacją non-profit utworzoną do spraw oceny bezpieczeństwa pojazdów. Finansowana jest przez niezależne organizacje i wspierana przez rządy niektórych państw europejskich.

Rysunek 2.5. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika rannych oraz zabitych na 100 wypadków drogowych w 2014 roku



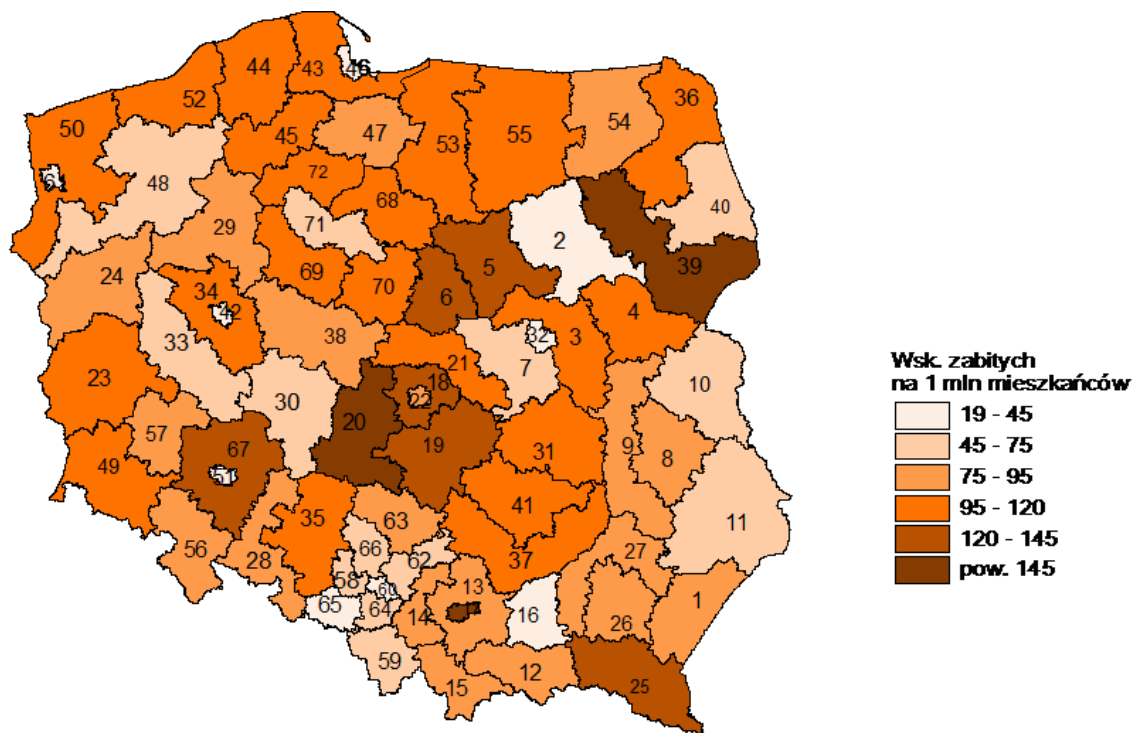
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

Analizując z kolei stosunek liczby zabitych w wypadkach drogowych na 1 mln mieszkańców danego regionu okazuje się, iż w 2014 roku najgorsza sytuacja występowała w województwie podlaskim, w którym poziom tego wskaźnika wyniósł aż 105,6 osób. W czołówce uplasowały się również województwa: opolskie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie oraz łódzkie, w których w wypadkach zginęło ponad 100 osób na 1 mln obywateli. Najbezpieczniejsze okazało się być województwo śląskie, w którym analizowany wskaźnik, na poziomie 54,2 osób, był zbliżony do średniej wyliczonej dla państw członkowskich Unii Europejskiej. Stosunkowo dobrze, na tle kraju, przedstawiała się również sytuacja w województwach podkarpackim oraz małopolskim, w których życie traciło mniej niż 70 uczestników ruchu drogowego na 1 mln mieszkańców.

Duże zróżnicowanie omawianego wskaźnika występuje również w ramach poszczególnych województw (rys. 2.6). Najmniej ofiar śmiertelnych na 1 mln mieszkańców, znacznie poniżej średniej dla danego województwa, występuje w podregionach obejmujących swoim zasięgiem miasta: Kraków, Poznań, Warszawę i

Wrocław oraz w podregionach: katowickim, trójmiejskim i rybnickim. Poziom tego wskaźnika nie przekraczał tam 40 osób, a zatem był o połowę niższy niż średnia krajowa.

Rysunek 2.6. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika zabitych na 1 milion mieszkańców podregionu w 2014 roku



Wyjaśnienie oznaczeń regionów: 1 – przemyski; 2 – ostrołęcki; 3 – warszawski wschodni; 4 – siedlecki; 5 – ciechanowski; 6 – płocki; 7 – warszawski zachodni; 8 – lubelski; 9 – puławski; 10 – bialski; 11 – chełmsko-zamojski; 12 – nowosądecki; 13 – krakowski; 14 – oświęcimski; 15 – nowotarski; 16 – tarnowski; 17 – m. Kraków; 18 – łódzki; 19 – piotrkowski; 20 – sieradzki; 21 – skierniewicki; 22 – m. Łódź; 23 – zielonogórski; 24 – gorzowski; 25 – krośnieński; 26 – rzeszowski; 27 – tarnobrzeski; 28 – nyski; 29 – pilski; 30 – kaliski; 31 – radomski; 32 – m. Warszawa; 33 – leszczyński; 34 – poznański; 35 – opolski; 36 – suwalski; 37 – sandomiersko-jędrzejowski; 38 – koniński; 39 – łomżyński; 40 – białostocki; 41 – kielecki; 42 – m. Poznań; 43 – gdański; 44 – słupski; 45 – chojnicki; 46 – trójmiejski; 47 – starogardzki; 48 – szczecinecko-pyrzycki; 49 – jeleniogórski; 50 – szczeciński; 51 – m. Wrocław; 52 – koszaliński; 53 – elbląski; 54 – elcki; 55 – olsztyński; 56 – wałbrzyski; 57 – legnicko-głogowski; 58 – gliwicki; 59 – bielski; 60 – katowicki; 61 – m. Szczecin; 62 – sosnowiecki; 63 – częstochowski; 64 – tyski; 65 – rybnicki; 66 – bytomski; 67 – wrocławski; 68 – grudziądzki; 69 – inowrocławski; 70 – wrocławski; 71 – bydgosko-toruński; 72 – świecki

Źródło Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

Największa rozpiętość analizowanego wskaźnika cechowała województwo mazowieckie, w którym w wypadkach drogowych straciło życie 97,3 osób na milion mieszkańców. W 2014 roku najbezpieczniejsza okazała się być Warszawa (37,6 osób), zaś średnią zawiązał podregion ciechanowski, ze wskaźnikiem sięgającym aż 185,7 osób. Oznacza to, iż w województwie mazowieckim znalazły się podregiony o niemalże najwyższej i jednej z najniższych wartości tego wskaźnika w Polsce. Z kolei najbardziej

niebezpiecznymi podregionami, oprócz wspomnianego już ciechanowskiego, były także: ostrołęcki (154,1), łomżyński (152,6 osoby), oraz warszawski wschodni (137,1 osób).

W ostatnich dwudziestu latach we wszystkich województwach odnotowano spadek tego wskaźnika, jednakże tempo spadku wykazuje duże zróżnicowanie w poszczególnych regionach. W 1995 roku w Polsce na drogach ginęło średnio 179 osób na każdy milion mieszkańców, zaś w 2014 roku 84 co oznacza spadek ponad o połowę. Najwyższą poprawę poziomu bezpieczeństwa odnotowało województwo lubuskie, w którym spadek wskaźnika sięgnął 67%. W czołówce znalazły się również wielkopolskie oraz śląskie, ograniczając wskaźnik śmiertelności odpowiednio o 62 i 59%. Z kolei najmniejsza poprawa poziomu bezpieczeństwa miała miejsce w podlaskim, gdzie wyniosła zaledwie 36%.

2.4. Charakterystyka wybranych czynników wpływających na poziom zdarzeń drogowych w Polsce

Rozwój gospodarczy a co za tym idzie, rozwój motoryzacji determinuje liczbę zdarzeń drogowych oraz liczbę ofiar śmiertelnych oraz rannych. Niestety z problemami komunikacyjnymi mierzą się praktycznie wszystkie regiony Polski. Taki stan rzeczy wynika z kilku istotnych czynników, wśród których wymienić można m.in. wzrost natężenia ruchu drogowego, złą jakość sieci drogowej, sytuację ekonomiczną regionu, poziom wydatków na transport, niebezpieczne zachowania kierowców, a nawet wiek i płeć uczestników ruchu drogowego. Mimo stale rosnących wydatków w dziale 600 – Transport i łączność, systematyczny wzrost wskaźnika motoryzacji wyprzedza inwestycje realizowane w zakresie poprawy sieci drogowej. Wiele odcinków dróg nie jest dostosowanych do potrzeb ruchu, co prowadzi do przeciążenia sieci. Stały wzrost liczby pojazdów przy niewspółmiernym rozwoju sieci drogowej często prowadzi do łączenia ruchu lokalnego z tranzytowym. Niewłaściwa hierarchizacja dróg i ulic, zwłaszcza pod względem ich funkcji, dostępności oraz dozwolonych prędkości, co w połączeniu z intensywnym ruchem pieszych oraz niewystarczającą długością ścieżek rowerowych, przyczynia się do powstawania komunikacyjnych sytuacji konfliktowych.

W opinii J. Unarskiego [2012, s. 41] osobowe czynniki degradacji bezpieczeństwa ruchu drogowego to dziedzina, gdzie możliwości poprawy są największe. Ocenia się, że człowiek jest w około 50% przyczyną wypadków drogowych (gdy oceniamy to w kategoriach ryzyka, jakie stwarza układ człowiek–droga–środowisko) i w 95%, gdy oceniamy człowieka wyłącznie jako operatora maszyny (czyli dla celów oceny sądowej).

2.4.1. Produkt Krajowy Brutto *per capita*

Zgodnie z szacunkami Instytutu Badawczego Dróg i Mostów koszty zdarzeń drogowych w Polsce w 2014 roku sięgnęły 3% PKB. Jak głosi R. Czapski [2011, s. 21] zauważalna jest pewna korelacja pomiędzy wielkością PKB, a udziałem strat ponoszonych przez gospodarkę z powodu wypadków drogowych. W dużym uproszczeniu, kraje o relatywnie wysokim PKB mają zwykle niższy udział tych kosztów niż kraje rozwijające się. Są to straty materialne, koszty hospitalizacji i leczenia ale przede wszystkim koszty utraconego dochodu, jaki mógłby zostać wypracowany przez ofiary wypadków. Powoduje to konieczność prowadzenia działań podnoszących poziom bezpieczeństwa. ONZ stoi na stanowisku, iż przy wydatkach ponoszonych na finansowanie działań skierowanych na poprawę BRD, należy uwzględniać bilans zysków widziany w szerszej perspektywie. Dodatkowo, ONZ podkreśla, że środki pieniężne wydane na ten cel w rachunku ekonomicznym zwracają się 50-krotnie.

Polsce w 2014 roku koszt jednej ofiary śmiertelnej został wyceniony na 2,05 mln PLN. Odnosząc to do potencjalnych korzyści, łatwo wyliczyć, iż jeśli dzięki wydatkowi rzędu 1 miliona PLN uda się uratować życie 2 osób to wydatek ten został zwrócony z nawiązką, gdyż społeczne koszty tychże ofiar wyniosły 4 mln PLN. Na całym świecie od lat następuje wzrost wydatków nie tylko na budowę nowych bezpiecznych dróg oraz poprawę istniejącej infrastruktury ale także na liczne kampanie społeczne oraz edukację dzieci. Wielkość tych wydatków jest silnie uzależniona od bogactwa i rozwoju gospodarczego danego regionu, a zatem od poziomu Produktu Krajowego Brutto. Ze względu na różną wielkość regionów rolę jednego z wyznaczników dobrobytu pełni nie poziom Produktu Krajowego Brutto w ujęciu bezwzględny lecz w przeliczeniu na statystycznego mieszkańca. Z jednej strony wysoki poziom rozwoju gospodarczego przyczynia się do zwiększonego zapotrzebowania na transport, co z kolei implikuje wzrost zagęszczenia dróg, a w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia poziomu bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Z drugiej strony należy jednak pamiętać o tym, że bogatsze społeczeństwa są coraz bardziej świadome faktu, iż nie można traktować wypadków jako nieodłącznego elementu rozwoju transportu i gospodarki, i podejmują działania ukierunkowane na jego poprawę.

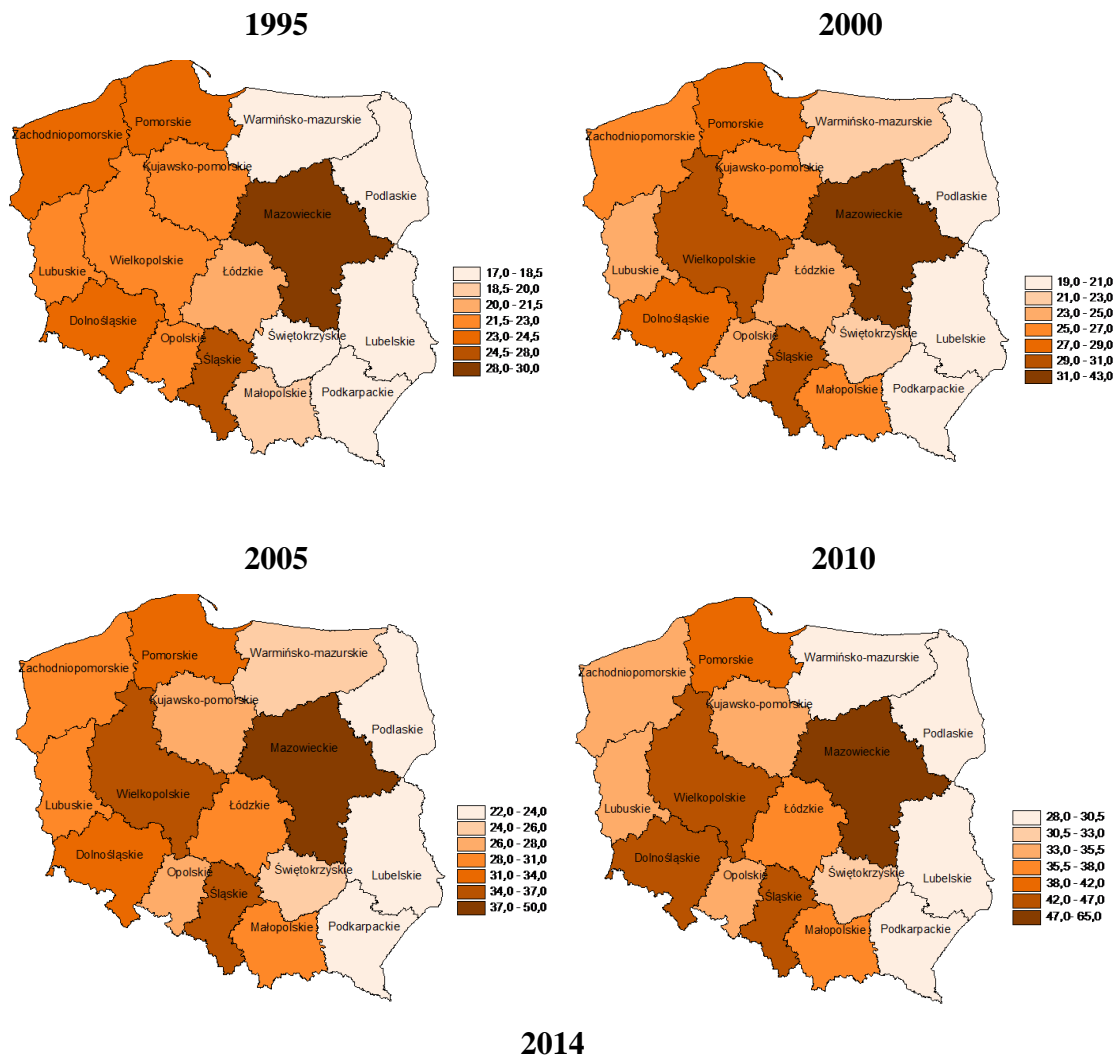
W miejscu tym należy zaznaczyć, iż PKB nie jest idealnym miernikiem dobrobytu społeczno-gospodarczego, gdyż nie uwzględnia wartości niefinansowych, w postaci m.in. poziomu edukacji, oczekiwanej długości życia czy poziomu zanieczyszczenia

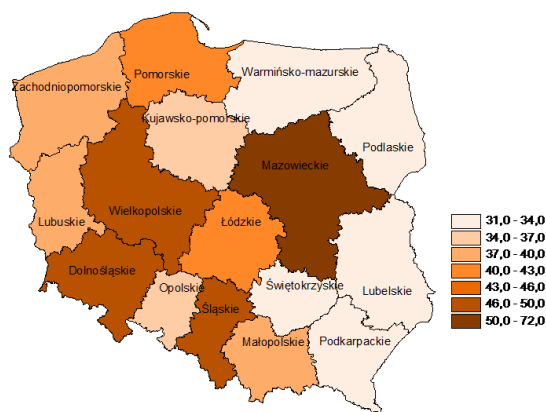
środowiska naturalnego. W rzeczywistości gospodarczej wykorzystuje się zatem różne alternatywne wskaźniki rozwoju.

Przestrzenne zróżnicowanie poziomu wartości Produktu Krajowego Brutto *per capita* w Polsce jest bardzo duże, co zostało zobrazowane na rys. 2.7. Od lat województwa: lubelskie, podkarpackie, warmińsko-mazurskie, podlaskie oraz świętokrzyskie charakteryzują się najniższymi wartościami PKB przypadającymi na statystycznego mieszkańca.

Z kolei województwo mazowieckie nieodmiennie piastuje pozycję lidera z poziomem PKB znacznie odstającym od średniej krajowej. Bogatymi regionami, wyróżniającymi się na tle kraju, są również województwa dolnośląskie, wielkopolskie a także śląskie.

Rysunek 2.7. Przestrzenne zróżnicowanie Produktu Krajowego Brutto *per capita* w wybranych latach w cenach z 2014 roku





Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

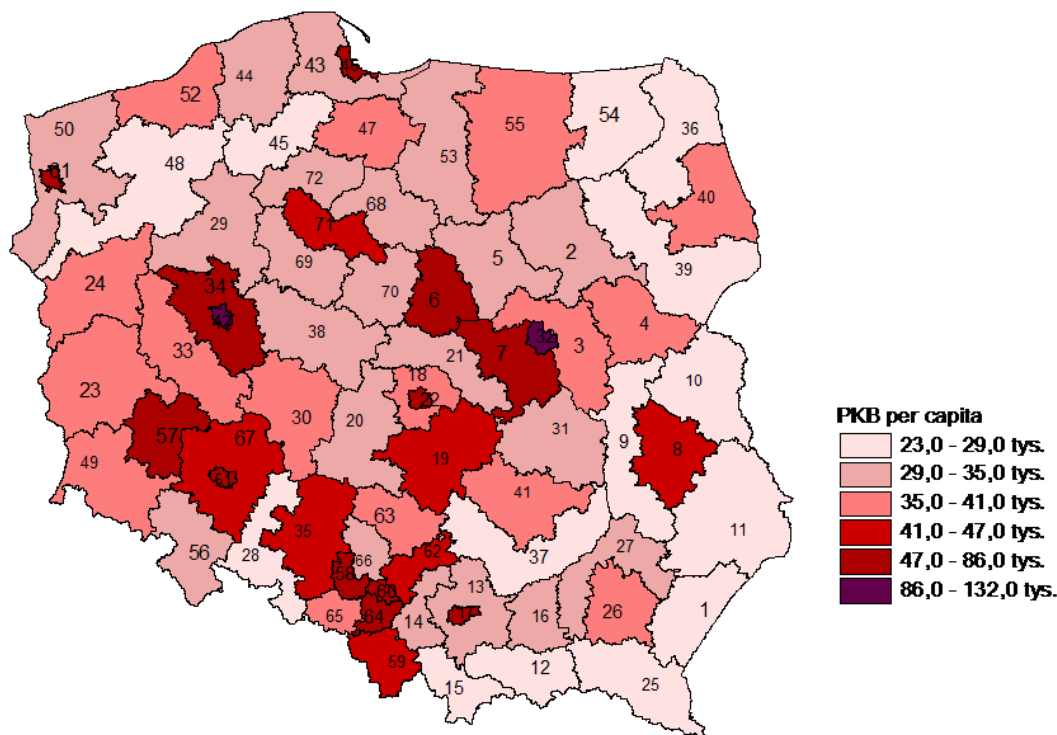
Analizując przestrzenne rozmieszczenie bogatych i biednych województw można zauważyć wyraźny podział na Polskę A i B. Wschodnia część, umownie nazywana Polską B, charakteryzuje się znacznie niższym poziomem rozwoju gospodarczego niż pozostała część kraju, tzw. Polska A.

Niestety dysproporcje w rozwoju regionalnym nie tylko nie zanikają na przestrzeni lat, lecz ulegają znacznemu pogłębieniu. Jeszcze w 1995 roku różnica między najbogatszym a najbiedniejszym województwem wynosiła rocznie 11,7 tys. PLN *per capita*. W 2014 roku różnica wzrosła do 40,2 tys. PLN co oznacza, iż w najmniej rozwiniętym województwie lubelskim Produkt Krajowy Brutto w przeliczeniu na mieszkańca był niemalże 2,5 krotnie niższy niż statystycznej osoby zamieszkującej na terenie województwa mazowieckiego.

Rozpiętość jest duża nie tylko między poszczególnymi województwami ale także w ramach jednego podregionu, co można zauważyć na podstawie rys. 2.8. Zwykle wskaźnik w stolicach województw jest wyższy niż w pozostałej części regionu. Największe dysproporcje występują w województwie mazowieckim, gdzie różnica między poziomem PKB statystycznego mieszkańca Radomia (32,8 tys. PLN) i Warszawy (130,9 tys. PLN) w 2014 roku była niemalże czterokrotna.

Duże zróżnicowanie występuje również w województwie wielkopolskim, w którym przeciętny mieszkaniec Poznania w 2014 roku wypracował 89,0 tys. PLN, podczas gdy na osoby zamieszkujące podregion pilski zaledwie 33,5 tys. PLN. Podobna sytuacja występuje w małopolskim, gdzie rozpiętość PKB *per capita* wynosiła 47,2 tys. PLN. Najwyższy poziom wypracowany został w Krakowie (72,3 tys. PLN) zaś najniższy w podregionie nowotarskim (25,2 tys. PLN).

Rysunek 2.8. Przestrzenne zróżnicowanie Produktu Krajowego Brutto *per capita* w 2014 roku według podregionów



Wyjaśnienie oznaczeń regionów: 1 – przemyski; 2 – ostrołęcki; 3 – warszawski wschodni; 4 – siedlecki; 5 – ciechanowski; 6 – plocki; 7 – warszawski zachodni; 8 – lubelski; 9 – puławski; 10 – bialski; 11 – chełmsko-zamojski; 12 – nowosądecki; 13 – krakowski; 14 – oświęcimski; 15 – nowotarski; 16 – tarnowski; 17 – m. Kraków; 18 – łódzki; 19 – piotrkowski; 20 – sieradzki; 21 – skierniewicki; 22 – m. Łódź; 23 – zielonogórski; 24 – gorzowski; 25 – krośnieński; 26 – rzeszowski; 27 – tarnobrzeski; 28 – nyski; 29 – pilski; 30 – kaliski; 31 – radomski; 32 – m. Warszawa; 33 – leszczyński; 34 – poznański; 35 – opolski; 36 – suwalski; 37 – sandomiersko-jędrzejowski; 38 – koniński; 39 – łomżyński; 40 – białostocki; 41 – kielecki; 42 – m. Poznań; 43 – gdański; 44 – śląski; 45 – chojnicki; 46 – trójmiejski; 47 – starogardzki; 48 – szczecinecko-pyrzycki; 49 – jeleniogórski; 50 – szczeciński; 51 – m. Wrocław; 52 – koszaliński; 53 – elbląski; 54 – elcki; 55 – olsztyński; 56 – wałbrzyski; 57 – legnicko-głogowski; 58 - gliwicki; 59 - bielski; 60 - katowicki; 61 - m. Szczecin; 62 - sosnowiecki; 63 - częstochowski; 64 – tyski; 65 – rybnicki; 66 – bytomski; 67 – wrocławski; 68 – grudziądzki; 69 – inowrocławski; 70 – wrocławski; 71 – bydgosko-toruński; 72 – świecki

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

Różnica między Polską A i B stale się powiększa. W opinii ekspertów, niski poziom rozwoju gospodarczego Polski wschodniej wynika między innymi ze złej infrastruktury, która zniechęca inwestorów do prowadzenia działalności na tych terenach. Należy też pamiętać, iż w tych regionach dominującą formą działalności jest mało dochodowe rolnictwo. Niewielkie perspektywy na znalezienie pracy w miejscu zamieszkania przyczyniają się do tego, że mieszkańcy najsłabiej rozwiniętych terenów poszukują pracy w bogatszych rejonach bądź poza granicami kraju. Osoby te nie zmieniają miejsca zameldowania, co przekłada się na pomniejszenie poziomu PKB *per*

capita w miejscowościach rodzimych, gdyż w statystykach uwzględniani są jako osoby pracujące na miejscu. Z drugiej strony, w wyniku migracji wewnątrz kraju zyskują bogate województwa, co jeszcze bardziej pogłębia dysproporcje w poziomie zamożności ludności.

Na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat najbardziej rozwinęło się województwo mazowieckie, które wypracowało wzrost PKB *per capita* aż o 146% w porównaniu do 1995 roku. Wysokim, choć nie tak spektakularnym, przyrostem tego wskaźnika może poszczycić się także wielkopolskie (115%) oraz dolnośląskie (109%), łódzkie (102%) oraz małopolskie (100%). Najwolniej, z kolei rozwijały się województwa kujawsko-pomorskie oraz zachodniopomorskie, w których przyrost PKB *per capita* wyniósł zaledwie 60%.

2.4.2. Długość sieci drogowej w Polsce

W Polsce kompetencje i odpowiedzialność za rozwój i utrzymanie infrastruktury drogowej są rozdzielone między organami państwowymi, samorządowymi a także zarządcami infrastruktury. Centralnym organem administracji państwowej zarządzającym drogami krajowymi jest Generalny Dyrektor Dróg Krajowych i Autostrad, który na mocy ustawy jest zobowiązany m.in. do:

- ✓ wykonywania zadań zarządcy dróg krajowych,
- ✓ realizacji budżetu państwa w zakresie dróg krajowych,
- ✓ współudziału w realizacji polityki transportowej w zakresie dróg,
- ✓ współpracy z administracjami drogowymi innych państw i organizacjami międzynarodowymi,
- ✓ współpracy z organami samorządu terytorialnego w zakresie rozbudowy i utrzymania infrastruktury drogowej,
- ✓ zarządzania ruchem na drogach krajowych,
- ✓ wykonywania zadań związanych z przygotowaniem i koordynowaniem budowy i eksploatacji albo wyłącznie eksploatacji autostrad płatnych,
- ✓ podejmowania działań mających na celu wprowadzenie systemów elektronicznego poboru opłat i szerokiego zastosowania tych systemów oraz współpracy w tym zakresie z innymi podmiotami, w szczególności ze spółkami eksploatującymi autostrady płatne.

Generalny Dyrektor Dróg Krajowych i Autostrad zarządza ponadto autostradami i drogami ekspresowymi, z wyłączeniem autostrad, na mocy umowy koncesyjnej zarządzanych przez koncesjonariusza.

Tablica 2.3. Długość sieci drogowej w poszczególnych województwach Polski w wybranych latach

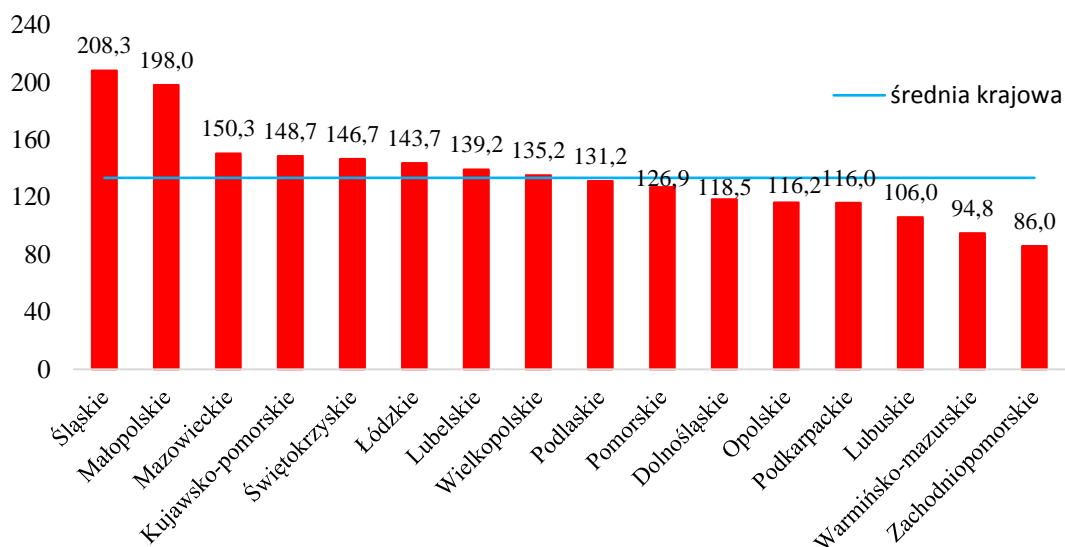
województwa	1995	2000	2005	2010	2014
Dolnośląskie	22 705	28 783	33 390	46 131	49 972
Kujawsko-pomorskie	22 705	25 063	27 907	33 958	36 389
Lubelskie	17 809	19 974	22 612	28 275	31 292
Lubuskie	22 300	24 979	29 240	34 590	37 602
Łódzkie	20 737	24 798	29 871	37 972	41 866
Małopolskie	19 918	25 028	28 545	35 847	39 818
Mazowieckie	29 088	42 683	49 557	64 999	71 527
Opolskie	22 293	23 348	26 966	33 665	36 258
Podkarpackie	17 354	20 324	23 259	28 488	31 653
Podlaskie	17 561	20 523	23 903	29 896	32 342
Pomorskie	23 091	27 593	31 885	39 216	42 519
Śląskie	27 071	29 756	34 841	43 883	46 490
Świętokrzyskie	17 889	21 797	24 755	31 666	32 595
Warmińsko-mazurskie	18 234	21 641	24 323	29 680	32 010
Wielkopolskie	22 359	29 838	34 765	42 982	47 970
Zachodniopomorskie	23 426	26 223	29 280	34 983	37 494

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

W Polsce w 2014 roku łączna długość dróg publicznych wynosiła 417 026 km (tab. 2.3). W całym badanym okresie udział poszczególnych regionów w całkowitej liczbie kilometrów dróg utrzymywał się na niezmiennym poziomie. Województwami o najdłuższej sieci drogowej były mazowieckie, wielkopolskie oraz lubelskie, na terenie których znajdowało się odpowiednio 12,8%, 9,7% oraz 8,4% łącznej długości dróg publicznych.

Biorąc pod uwagę, iż poszczególne województwa są zróżnicowane pod względem wielkości powierzchni, w celach porównawczych bardziej zasadne jest rozpatrywanie długości sieci drogowej na 100 km² powierzchni. Zgodnie z tym podejściem (rys. 2.9), największą gęstością dróg odznacza się województwo śląskie, w którym wskaźnik ten w 2014 roku osiągnął poziom 208,3 km na 100 km² powierzchni regionu. Wysokimi wskaźnikami charakteryzowały się również województwa małopolskie (198,0 km), mazowieckie (150,3 km) oraz kujawsko-pomorskie (148,7 km). Najmniej rozwinięta sieć drogowa występuje z kolei w województwie zachodniopomorskim oraz warmińsko-mazurskim. W tych regionach jej długość nie przekracza 100 km na 100 km² powierzchni, a zatem jest dwukrotnie mniejsza niż w regionie o najbardziej rozwiniętej sieci drogowej.

Rysunek 2.9. Przestrzenne zróżnicowanie gęstości sieci drogowej na 100 km² powierzchni w układzie wojewódzkim w 2014 roku



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

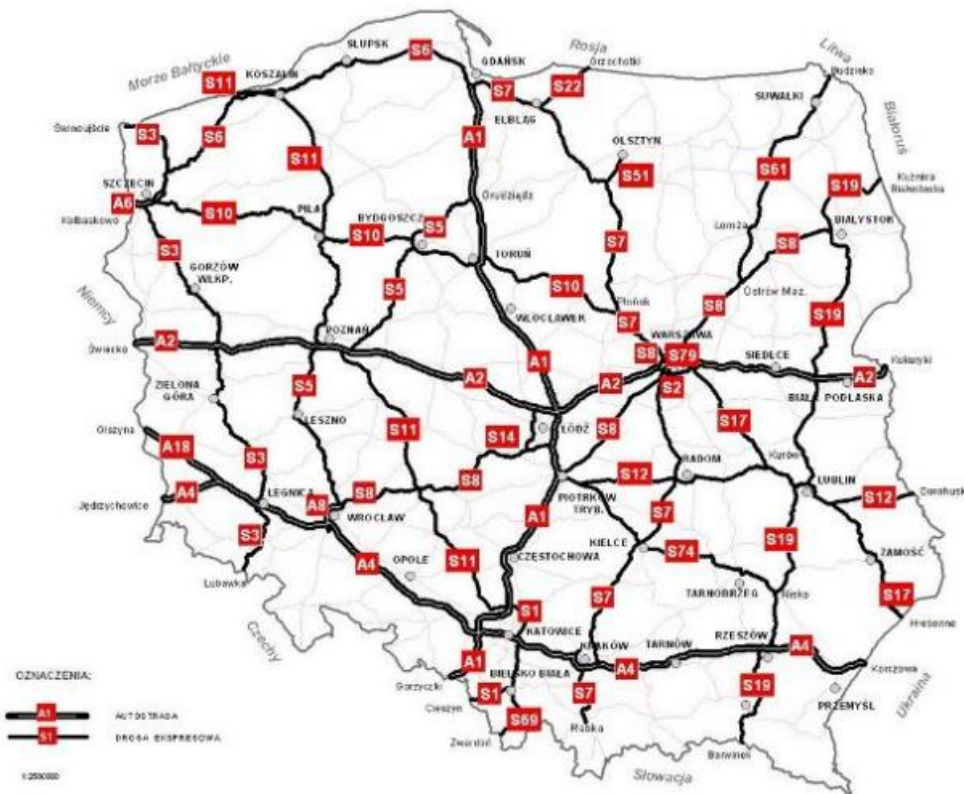
Polska infrastruktura drogowa charakteryzuje się niewielkim udziałem dróg ekspresowych i autostrad. Ich łączna długość wynosiła w 2014 roku zaledwie 3 004 km, a zatem zaledwie 0,96 km na 100 km² powierzchni Polski. Zdecydowanymi liderami w długości tego typu dróg są województwa śląskie oraz łódzkie, w których analizowany wskaźnik osiągnął odpowiednio poziom 2,37 km i 2,23 km na 100 km² powierzchni. Pozytywnie na tle średniej krajowej wyglądają też województwa dolnośląskie (1,66 km) oraz wielkopolskie (1,20 km). Najgorsza sytuacja charakteryzuje z kolei wschodnie województwa: podlaskie (0,16), lubelskie (po 0,32 km) oraz podkarpackie (0,49 km).

W *Programie Budowy Dróg Krajowych na lata 2014 – 2023* opracowanym przez Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju [2014, s. 7] można znaleźć stwierdzenie, iż mimo dużej skali podjętych inwestycji, polska sieć dróg krajowych, w tym autostrad oraz dróg ekspresowych, pozostaje niespójna i niewystarczająco drożna. Kontynuowanie działań inwestycyjnych na głównych ciągach dróg krajowych, w szczególności zapewnienie połączeń pomiędzy dużymi ośrodkami aglomeracyjnymi, jak również punktami styku z innymi formami transportu, w tym portami, lotniskami, terminalami intermodalnymi, jest wyzwaniem na najbliższe lata.

Bardzo istotne znaczenie dla zwiększenia spójności międzyregionalnej oraz podniesienia poziomu bezpieczeństwa w ruchu drogowym ma też wdrożenie inwestycji ukierunkowanych na modernizację i rozbudowę sieci drogowej w Polsce Wschodniej

odejmującej województwa podkarpackie, świętokrzyskie, lubelskie, podlaskie oraz warmińsko-mazurskie.

Rysunek 2.10. Sieć autostrad i dróg ekspresowych zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z 15.05.2004 roku



Źródło: Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju, 2014, s. 6.

Mimo, iż sieć dróg krajowych stanowi zaledwie 4,7% to obsługuje pod 60% ruchu drogowego. Jej docelowy układ został określony w *Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 15 maja 2004 w sprawie sieci autostrad i dróg ekspresowych* [Dz. U. nr 128, poz. 1334, z późn. zm.] co zostało przedstawione na rys. 2.10.

Inwestycje podejmowane w celu rozbudowy sieci drogowej muszą wyprzedzać obserwowany w ostatnich latach dynamiczny przyrost liczby pojazdów. Nie ulega wątpliwości, iż zwiększenie potrzeby przemieszczania się osób oraz ładunków przy niezmienionej wielkości sieci przekłada się nie tylko na wydłużenie czasów przejazdów, kongestię ale także na zwiększenie ryzyka wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych.

2.4.3. Wydatki ponoszone na budowę oraz modernizację infrastruktury drogowej

Jak podkreśla K. Wojewódzka-Król [2017, s. 96] wybór strategii rozwoju jest ograniczony znacząco przez środki, jakie można przeznaczyć na rozwój infrastruktury transportu, co zmusza do wyboru priorytetów. Nakłady finansowe na rozwój infrastruktury transportu w Polsce co prawda znacząco wzrosły z 0,3% PKB w 1999 r. do 2,4% PKB w 2011 r., jednak w ostatnich latach odnotowano ponownie ich spadek, do 0,7% PKB w 2013 r. i 2014 r., co oznaczać będzie konieczność selekcji projektów i wyboru takich, które najskuteczniej oddziaływać będą na zrównoważony rozwój transportu. Dopóki inwestycje drogowe musiały być finansowane głównie ze środków krajowych, drogi przegrywały z wydatkami socjalnymi [Kantorowicz, Rzońca, Jutkiewicz, Kołos, Stokłosa, Kiwił, Koźmińska, Patorska, Lewandowski, Radwan-Röhrenscheff, 2009, s. 31].

Środki na finansowanie budowy, rozbudowy, modernizacji, utrzymania oraz remontu infrastruktury drogowej mogą pochodzić z:

- ✓ budżetu państwa,
- ✓ budżetów jednostek samorządu terytorialnego,
- ✓ środków unijnych (funduszy pomocowych, programów rozwojowych),
- ✓ środków od prywatnych inwestorów (również w formie współpracy prywatno-publicznej),
- ✓ środków pobieranych od użytkowników dróg,
- ✓ pożyczek i kredytów.

M. Karolewska [2012, s. 79 – 124] zwraca uwagę, że finansowanie infrastruktury transportu lądowego z pożyczek, środków unijnych oraz opłat uzyskanych od użytkowników odbywa się w dużej mierze za pośrednictwem Krajowego Funduszu Drogowego oraz Funduszu Kolejowego. KFD został powołany w celu usprawnienia działań związanych z inwestycjami z zakresu budowy dróg a także w celu podniesienia efektywności wykorzystania środków publicznych. Obecnie stanowi on źródło finansowania polskich dróg krajowych i jest zasilany przez środki pochodzące z:

- ✓ 80% wpływów z opłaty paliwowej od paliw silnikowych i gazu do napędu pojazdów,
- ✓ środków od Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad pochodzących od operatorów płatnych autostrad oraz opłaty za dokumentację przetargową,

- ✓ oprocentowania depozytów Funduszu,
- ✓ innych wpływów z opłat drogowych.

Zarządzanie środkami KFD opiera się na rocznych planach finansowych Funduszu opracowanych przez Bank Gospodarstwa Krajowego oraz podlegających uzgodnieniu i zaopiniowaniu przez ministra ds. transportu, ministra ds. finansów publicznych oraz przez ministra ds. rozwoju regionalnego w zakresie środków przeznaczonych na realizację inwestycji finansowanych z programów współfinansowanych z funduszy Unii Europejskiej. Wydatki ponoszone na zadania drogowe dokonywane są na podstawie wniosków kierowanych do BGK przez Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad.

Aktualnie realizowany jest kolejny Plan Budowy Dróg Krajowych obejmujący lata 2014 – 2023, który swoim zasięgiem dotyczy zarówno działań inwestycyjnych jak i utrzymania istniejącej sieci drogowej na właściwym poziomie. Łączną kwotę wydatków inwestycyjnych w ramach Krajowego Funduszu Drogowego określono na poziomie około 92,8 mld PLN.

Tablica 2.4. Wydatki na drogi krajowe w latach 2014 – 2023

Lata finansowania	Wydatki na drogi krajowe w latach 2014 – 2023 (w tys. PLN)			
	Budżet państwa	KFD zadania kontynuowane	KFD perspektywa 2014 – 2023	Razem
2014	2 930 854,0	6 137 800,0	980 828,9	10 049 482,9
2015	2 933 370,0	3 764 800,0	9 596 509,0	16 294 679,0
2016	5 000 000,0	3 118 700,0	19 177 412,2	27 296 112,2
2017	5 100 000,0	1 159 000,0	22 802 072,1	29 061 072,1
2018	5 200 000,0	293 100,0	20 601 055,1	26 094 155,1
2019	5 300 000,0	-	13 162 451,2	18 462 451,2
2020	5 400 000,0	-	5 809 609,9	11 209 609,9
2021	5 500 000,0	-	557 346,7	6 057 346,7
2022	5 600 000,0	-	60 050,0	5 660 050,0
2023	5 700 000,0	-	-	5 700 000,0
Wydatki w latach 2014-2023	48 664 224,0	14 473 400,0	92 747 335,3	155 884 959,3

Zródło: Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju, 2014 , s. 43.

Drugim elementem Programu są wydatki ponoszone na utrzymanie odpowiednich standardów technicznych istniejącej sieci drogowej, przygotowanie zadań do realizacji oraz zarządzanie. Dodatkowe 14,5 mld PLN ma być przeznaczony na realizację zadań z

poprzedniego Programu obejmującego lata 2011 – 2015. Z kolei z budżetu państwa sfinansowane zostaną działania o wartości 48,7 mld PLN (tab. 2.4.)

Zgodnie z analizą przeprowadzoną przez M. Wołka [2010, s. 1359] wydatki na transport stanowią jedną z najważniejszych kategorii wydatków polskich jednostek samorządu terytorialnego. Wynika to z zakresu ich kompetencji, które w tym zakresie wzrosły, szczególnie w odniesieniu do samorządu województwa. Wydatki w ramach działu 600 – Transport i łączność charakteryzują się systematycznym wzrostem. W 2014 roku łączne wydatki województw, powiatów i gmin sięgnęły 34,8 mld PLN (tabl. 2.5.). W latach 2010 – 2011, ze względu na konieczność przygotowania polskich dróg do EURO 2012, ich poziom był jeszcze wyższy i wynosił odpowiednio 31,9 mld PLN i 32,6 mld PLN.

Województwami wydatkującymi największe kwoty w dziale 600 są mazowieckie (7,5 mld PLN), śląskie (4,0 mld PLN), małopolskie (2,5 mld PLN) oraz wielkopolskie i dolnośląskie (po 2,4 mld PLN). Zdecydowanie gorzej sytuacja przedstawia się w województwach lubuskim i opolskim (po 0,5 mld PLN), świętokrzyskim (1,0 mld PLN) oraz podlaskim (1,1 mld PLN).

Tablica 2.5. Wydatki jednostek samorządu terytorialnego w dziale 600 – Transport i łączność w poszczególnych województwach w 2014 roku

Województwa	Wydatki w dziale 600 – Transport i łączność w mln PLN			
	gminne	powiatowe	wojewódzkie	suma
Dolnośląskie	1 488	265	653	2 405
Kujawsko-pomorskie	1 313	213	301	1 827
Lubelskie	1 131	233	639	2 003
Lubuskie	290	65	206	560
Łódzkie	1 629	164	218	2 010
Małopolskie	1 740	336	454	2 531
Mazowieckie	6 281	461	800	7 542
Opolskie	228	97	177	501
Podkarpackie	910	237	551	1 698
Podlaskie	670	140	359	1 170
Pomorskie	1 610	165	351	2 126
Śląskie	2 807	305	936	4 048
Świętokrzyskie	484	163	303	950
Warmińsko-mazurskie	521	181	802	1 504
Wielkopolskie	1 647	277	503	2 427
Zachodniopomorskie	870	188	465	1 453
Polska	23 618	3 419	7 719	34 756

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

Najwięcej wydatków związanych z transportem i łącznością pokrywanych jest z budżetów gmin, których udział w łącznej kwocie wydatków sięgał 70%. Ponad połowa

tych środków była przeznaczona na pokrycie wydatków ponoszonych na drogi publiczne (krajowe, powiatowe i gminne).

2.4.4. Jakość infrastruktury drogowej

Według wniosków formułowanych w badaniach naukowych jakość infrastruktury drogowej w Polsce należy do niskich. Jak zauważają M. Sobolewski oraz A. Migąła-Warchoł [2015] wskazują, iż tego typu oceny są formułowane w oparciu o dane statystyczne, dotyczące długości i jakości sieci dróg (ze szczególnym podkreśleniem niskiego udziału autostrad i dróg ekspresowych) oraz na podstawie wskaźników mających charakter pośredni jak m.in. natężenia wypadków drogowych. Podkreślają także, iż subiektywne opinie użytkowników dróg w kwestii jakości infrastruktury są negatywne.

Zgodnie z ustawą o drogach publicznych z dnia 21 marca 1985 r. obowiązek utrzymania nawierzchni drogi, chodników, drogowych obiektów inżynierskich spoczywa na zarządcy drogi. Środki przeznaczane na infrastrukturę drogową są duże, jednak wciąż nie są wystarczające by utrzymać ją na odpowiednim poziomie. W ostatnich latach stan polskich dróg uległ zdecydowanej poprawie jednak wciąż nie jest zadowalający. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad każdego roku publikuje raport o stanie technicznym sieci dróg krajowych. Zamieszczone w dokumencie dane zbierane są dzięki prowadzonym systematycznie pomiarom cech techniczno-eksploatacyjnych nawierzchni w ramach Systemu Oceny Stanu Nawierzchni /SOSN/ (ocena nawierzchni asfaltowych), Systemu Oceny Nawierzchni Betonowych /SOSN-B/ oraz Systemu Oceny Stanu Poboczy i Odwodnienia Dróg /SOPO/ [GDDKiA, 2013, s.3].

Systematycznej ocenie podlega stan spękań nawierzchni, równości podłużnych, głębokości kolein, stan powierzchni, właściwości poślizgowe oraz ugięcia nawierzchni. Są to informacje gromadzone w ramach systemów SOSN oraz SOSN-B. Dodatkowo, w systemie SOPO pozyskuje się ocenę odwodnień powierzchniowych z wyłączeniem zbiorników retencyjnych i odparowujących, rowów stokowych a także diagnozę widocznych na jezdni elementów urządzeń wchodzących w skład odwodnienia podziemnego, czyli tzw. studzienek wpustowych z nasadą. Poszczególne parametry jezdni, poboczy oraz odwodnienia oceniane są według czterostopniowej skali – A, B, C oraz D. Jako A zostały sklasyfikowane drogi, których stan należy uznać za pożądany; kod B odnosi się do stanu zadowalającego; C do stanu niezadowalającego; zaś D oznacza, iż droga jest w bardzo złym stanie i kwalifikowana jest do natychmiastowego remontu.

Powyższe klasy stanu technicznego wykorzystywane są do przypisania danej nawierzchni ogólnej oceny (poziomu decyzyjnego):

- **poziom pożądaný (stan dobry)**, który obejmuje dwie pierwsze klasy nawierzchni, A i B, będące odpowiednikiem nawierzchni w stanie dobrym i zadowolającym. Oznacza to, iż nawierzchnie są nowe, odnowione i eksploatowane. Nawierzchnie te nie wymagają zabiegów, dopuszcza się jednakże występowanie sporadycznych uszkodzeń;

- **poziom ostrzegawczy (stan niezadowolający)** obejmujący klasę C przypisaną do nawierzchni z uszkodzeniami wymagającymi zaplanowania zabiegów naprawczych;

- **poziom krytyczny (stan zły)**, który odnosi się do klasy D, czyli nawierzchni z uszkodzeniami wymagającymi niezwłocznych zabiegów naprawczych.

Zabiegi naprawcze są skatalogowane w trzy podstawowe grupy działań, w zależności od celu, na którym są skoncentrowane:

- **zabiegi powierzchniowe**, które dotyczą polepszenia stanu nawierzchni i właściwości przeciwpoślizgowych,

- **zabiegi wyrównujące**, obejmujące zabiegi ukierunkowane na likwidowanie kolein, poprawę równości podłużnych, polepszanie nawierzchni i właściwości przeciwpoślizgowych,

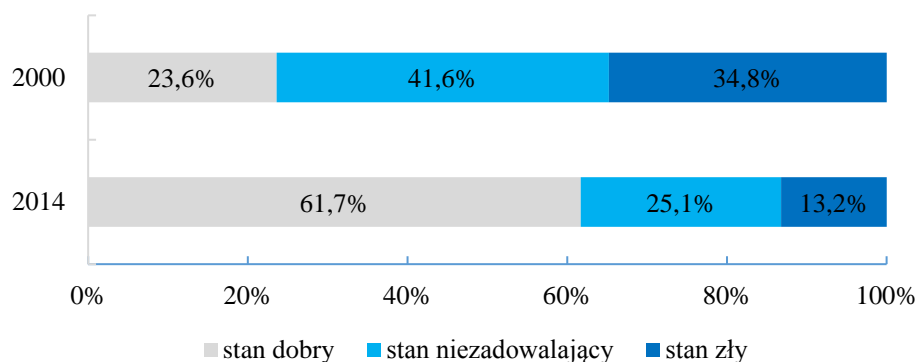
- **zabiegi modernizujące**, które odnoszą się do zabiegów poprawiających wszystkie podlegające ocenie parametry techniczno-eksploatacyjne.

Zgodnie z raportem o stanie nawierzchni w 2014 roku zaledwie 61,7% dróg krajowych posiada dobry stan nawierzchni (rys. 2.11.). 25,1% ma stan niezadowolający zaś pozostałe 13,2% stan zły. W ostatnim dziesięcioleciu stan nawierzchni tych dróg uległ zdecydowanej poprawie. W 2000 roku aż 34,8% dróg krajowych zostało sklasyfikowane jako drogi o złym stanie technicznym nawierzchni a zaledwie 23,6% dróg oceniono za dobre.

Na poprawę stanu technicznego dróg w 2014 roku przyczyniły się głównie inwestycje oddane do użytkowania w ciągu tego roku a nie poprawa standardów istniejącej sieci. Należy pamiętać, iż zapewnienie pożądanego poziomu infrastruktury drogowej może być osiągnięte jedynie dzięki równoczesnej kontynuacji rozbudowy sieci oraz utrzymywaniu istniejącej we właściwym stanie technicznym. Niezbędne jest

wykonywanie zabiegów interwencyjnych w postaci okresowych remontów nawierzchni czy przebudowy niektórych odcinków dróg.⁹

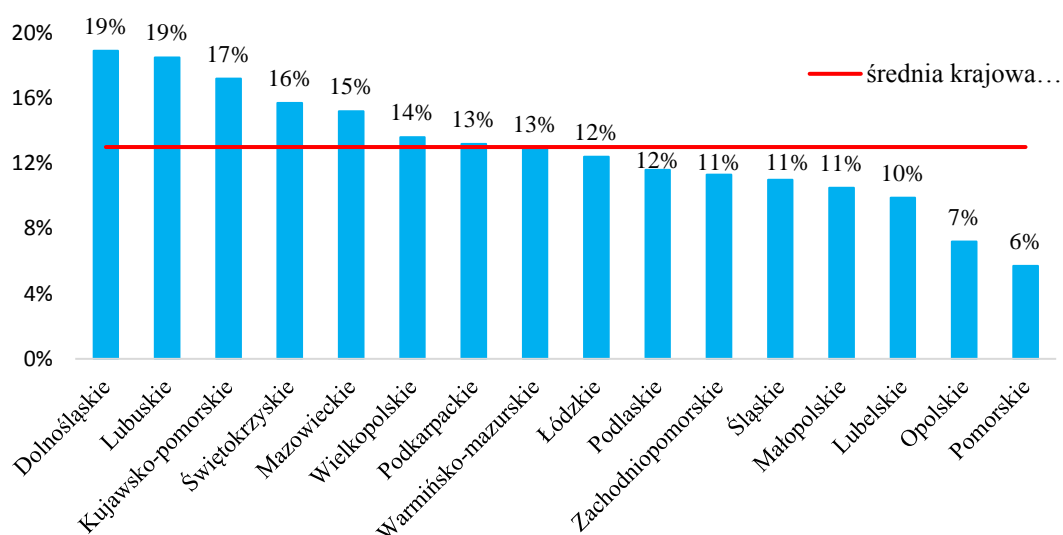
Rysunek 2.11. Ocena stanu technicznego nawierzchni na drogach krajowych w Polsce w latach 2000 i 2014



Źródło: GDDKiA, 2016, s. 6.

Stan nawierzchni dróg w poszczególnych regionach Polski jest bardzo zróżnicowany. Na rysunku 2.12. przedstawiono przestrzenny układ wskaźnika natychmiastowych potrzeb remontowych liczonego jako stosunek długości sieci dróg w stanie złym do całej sieci drogowej danego regionu.

Rysunek 2.12. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika natychmiastowych potrzeb remontowych w 2014 roku



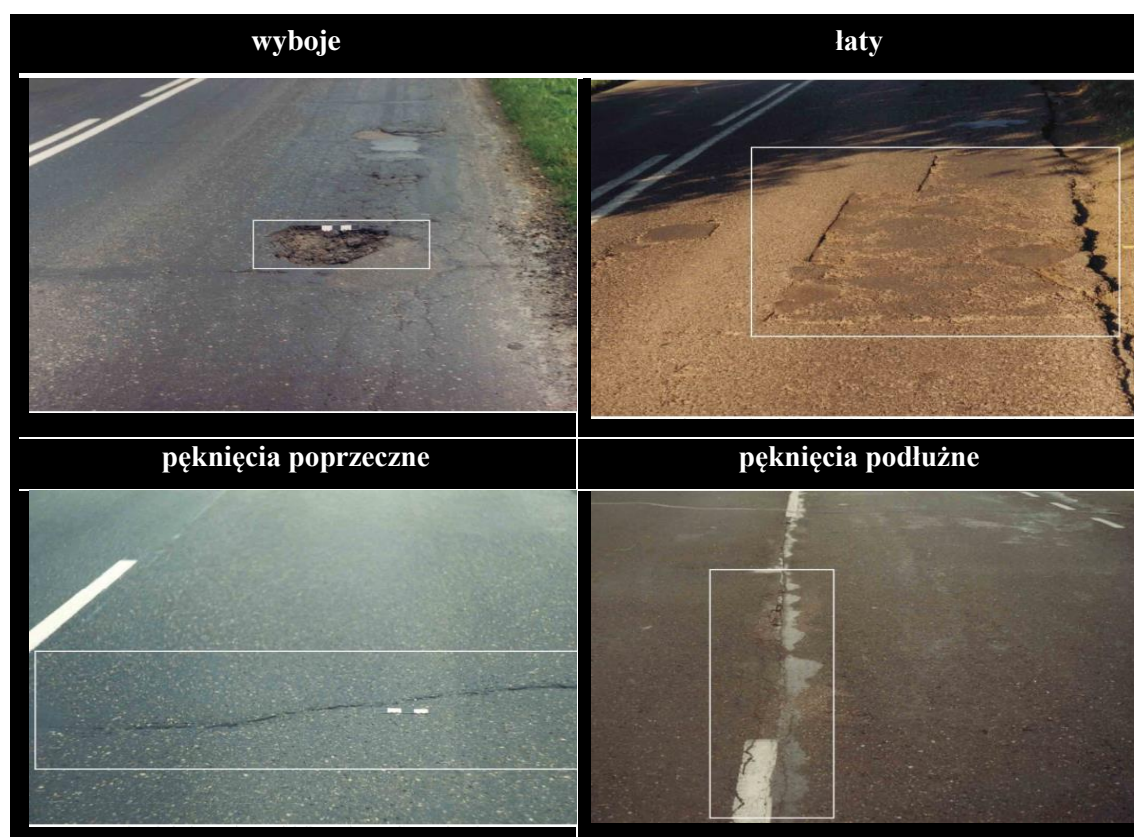
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GDDKiA.

⁹ Szerzej na temat typowych wad infrastruktury drogowej oraz efektów przebudowy elementów sieci drogowej ukierunkowanej na podniesienie poziomu BRD w T. Szczuraszek [2005].

Można zauważyć, iż połowa województw odznacza się wskaźnikiem niższym od średniej krajowej (13%), zaś najlepszą infrastrukturą drogową może poszczycić się województwo pomorskie, w którym zaledwie 6% dróg wymaga natychmiastowego remontu. Stosunkowo dobra sytuacja występuje także w województwach opolskim i lubelskim, w których analizowany wskaźnik ukształtował się odpowiednio na poziomie 7% i 10%.

Najgorszy stan techniczny dróg występuje z kolei w województwach dolnośląskim i lubuskim, gdzie 19% sieci drogowej wymaga natychmiastowego zabiegu remontowego. Jak głosi raport GDDKiA [2016, s. 12] w większości województw dominują problemy z odcinkami wymagającymi natychmiastowego wyrównania, wynikające z faktu występowania kolein w nawierzchni jezdni. W części województw na pierwszy plan wysuwają się pozostałe typy zabiegów, jak m.in. wzmocnianie, polepszanie stanu nawierzchni, właściwości przeciwpoślizgowych.

Rysunek 2.13. Przykładowe uszkodzenia nawierzchni



Źródło: GDDP, 2002, s. 94, 92, 86, 80.

W ciągu ostatniego dziesięciolecia stan dróg w poszczególnych województwach ulegał na przemian pogorszeniu i polepszeniu. Jedne odcinki były remontowane jednak inne ulegały uszkodzeniu. Dość długo negatywny stan utrzymywał się w województwach

małopolskim i świętokrzyskim, w których jeszcze w 2004 roku niemalże połowa infrastruktury drogowej została oznaczona kategorią D, a zatem wymagającą natychmiastowego remontu. Podjęcie inwestycji w tych regionach umożliwiło znaczną poprawę jakości dróg i uzyskanie analizowanego wskaźnika na poziomie nie przekraczającym 15%.

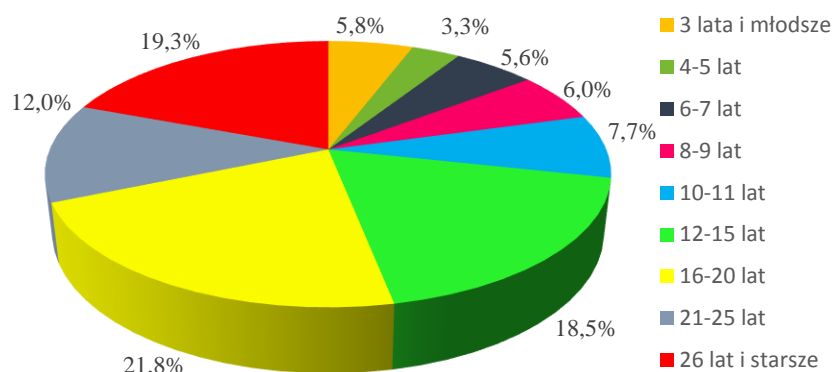
2.4.5. Stopień zmotoryzowania mieszkańców

Poprawa jakości dróg jest szczególnie ważna z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego, zwłaszcza w obliczu dynamicznie rosnącego stopnia zmotoryzowania ludności. Pod względem liczby samochodów osobowych Polska osiągnęła już średnią europejską. W 2014 roku było zarejestrowanych 26,5 mln pojazdów, z czego 20,0 mln to samochody osobowe. W przeliczeniu na 1000 mieszkańców daje to 688 pojazdów ogółem i 520 pojazdów osobowych. Według danych Eurostatu, Polska może poszczycić się jednym z najszybszych wzrostów zmotoryzowania społeczeństwa. Na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat, liczba pojazdów samochodowych w Polsce wzrosła ponad dwukrotnie. Negatywnym zjawiskiem jest fakt, iż wzrost wskaźnika zmotoryzowania społeczeństwa nie jest powiązany ze sprzedażą nowych samochodów, co byłoby pozytywne z punktu widzenia rozwoju gospodarczego.

Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej umożliwiło nabywanie za granicą używanych samochodów. Szacuje się, iż każdego roku do Polski sprowadzane jest około 800 tys. pojazdów, z czego mniej więcej połowa to samochody mocno wyeksploatowane, często mające powyżej 10 lat. W 2003 roku, przed przystąpieniem do UE, mniej więcej co drugie auto miało mniej niż 10 lat. W 2014 roku, zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego zaledwie co piąty samochód mieścił się w tej kategorii wiekowej (rys. 2.14.).

Jedynie 2,6% wszystkich pojazdów osobowych nie przekracza jednego roku, zaś 12% ma ponad 31 lat. Jeszcze dziesięć lat temu po polskich drogach jeździło 21,5% pojazdów, których wiek przekraczał 21 lat. Aktualnie do tej kategorii wiekowej można zaliczyć niemalże co trzeci pojazd. Przeciętny wiek motocykli jest jeszcze dłuższy, ponad jedna czwarta z nich jest eksploatowana przez dłużej niż 21 lat. Tak stare pojazdy są zagrożeniem dla bezpieczeństwa ruchu drogowego. Należy zaznaczyć, iż przeciętny wiek samochodu w krajach UE wynosi 8 lat, w Polsce zaś 13 – 14 lat.

Rysunek 2.14. Struktura wieku samochodów osobowych w Polsce w 2014 roku



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS, 2015.

Współczynnik zmotoryzowania społeczeństwa znacząco różni się w poszczególnych regionach (tab. 2.6.). Zdecydowanym liderem w ilości samochodów osobowych przypadających na 1000 mieszkańców jest województwo wielkopolskie, w którym omawiany współczynnik w 2014 roku sięgnął 581 pojazdów. Na nieco niższym, choć również bardzo wysokim poziomie uplasowały się województwa mazowieckie, opolskie oraz lubuskie ze stopą zmotoryzowania wynoszącą odpowiednio 570, 565 oraz 547 pojazdów. Z kolei województwa: podlaskie podkarpackie oraz warmińsko-mazurskie są regionami cechującymi się najniższymi wartościami analizowanego współczynnika oscylującymi wokół poziomu 470 samochodów osobowych na 1000 mieszkańców.

Należy pamiętać, iż samochody osobowe nie są jedynymi pojazdami poruszającymi się po polskich drogach. W analizie stopnia zmotoryzowania regionu można uwzględnić pełną liczbę pojazdów, a zatem uwzględniającą również samochody ciężarowe, samochody specjalne, autobusy, autokary, przyczepy, naczepy oraz motocykle o pojemności silnika powyżej 50 cm³.

Rozszerzenie analizy o dodatkowe grupy pojazdów nie zmieniło znacząco rankingu stopnia wyposażenia mieszkańców danego regionu w samochody. Również w tym ujęciu województwo wielkopolskie przewyższa pozostałe regiony (774). Wysoko uplasowały się również województwa: mazowieckie (764), opolskie (717) oraz łódzkie (714). Najmniejsza liczba pojazdów na 1000 mieszkańców zarejestrowana jest z kolei w województwach warmińsko-mazurskim (620), śląskim (625), podkarpackim (638) oraz zachodniopomorskim (639).

Tablica 2.6. Zróźnicowanie współczynnika zmotoryzowania w poszczególnych województwach w 2014 roku

Województwa	pojazdy na 1000 mieszkańców regionu			
	samochody osobowe		pojazdy ogółem	
	1995	2014	1995	2014
Dolnośląskie	183,8	533,9	259,9	668,3
Kujawsko-pomorskie	187,1	510,3	288,6	681,7
Lubelskie	159,4	493,5	262,6	708,4
Lubuskie	172,8	547,1	252,6	703,6
Łódzkie	193,3	524,7	275,0	714,0
Małopolskie	187,0	493,8	255,7	649,0
Mazowieckie	254,9	570,3	357,4	763,6
Opolskie	189,9	564,5	251,0	717,4
Podkarpackie	163,7	461,9	244,3	637,8
Podlaskie	147,1	447,3	210,0	656,9
Pomorskie	178,6	518,6	254,5	665,0
Śląskie	199,6	508,1	248,5	625,1
Świętokrzyskie	161,8	482,7	248,3	695,1
Warmińsko-mazurskie	153,2	466,1	241,8	620,4
Wielkopolskie	240,6	580,8	338,3	774,5
Zachodniopomorskie	173,8	490,4	262,9	639,4
Polska	194,7	519,9	276,3	688,0

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

2.4.6. Obciążenie sieci drogowej

Poziom współczynnika zmotoryzowania przekłada się na stopień zatłoczenia dróg, a tym samym na powstawanie kongestii. Jest to szczególnie widoczne w regionach, w których infrastruktura drogowa nie jest dostosowana do systematycznie zwiększających się potrzeb transportowych. Informacje dotyczące średniego dobowego pomiaru ruchu są gromadzone i publikowane przez GDDKiA. Pierwszy Generalny Pomiar Ruchu został przeprowadzony już w 1965 roku i dotyczył całej długości dróg państwowych o twardej nawierzchni. Pomiary GPR są wykonywane co 5 lat a ich wyniki są zgodne z wymaganiami Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ (ang. UNECE). Zgodnie z informacjami umieszczonymi na stronie GDDKiA [www.gddkia.gov.pl] głównym celem Generalnego Pomiaru Ruchu jest uzyskanie, na podstawie przeprowadzonych pomiarów bezpośrednich, podstawowych parametrów i charakterystyk ruchu dla wszystkich odcinków sieci dróg krajowych administrowanych przez Generalną Dyрекję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), w tym Średniego Dobowego Ruchu w roku.

Wyniki otrzymane dzięki przeprowadzeniu pomiaru ruchu stanowią podstawę do ustalania wskaźników ekonomicznych, na podstawie których podejmowane są decyzje o realizacji lub zaniechaniu inwestycji infrastrukturalnych. Są przesłanką do rozstrzygnięcia o konieczności budowy nowych dróg, w tym określenia ich przekroju, geometrii, lokalizacji skrzyżowań. Na ich podstawie podejmowane są postanowienia w kwestii klasyfikacji dróg, ustalenia ciągów dróg a także priorytetów w sieci drogowej zarówno na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym.

Analiza danych uzyskanych w Generalnych Pomiarach Ruchu pozwala zauważyć jak silnie w ciągu ostatnich piętnastu lat wzrosło obciążenie sieci drogowej. Największy przyrost, z 11 448 na 20 067 pojazdów na dobę, odnotowano na sieci dróg międzynarodowych. Pamiętać jednak należy, iż bezpośrednie porównywanie średniego dobowego ruchu drogowego (SDR) może być niemiarodajne ze względu na zmiany zachodzące w długości oraz układzie sieci drogowej. Wybudowanie i oddanie do eksploatacji nowych odcinków autostrad, dróg ekspresowych oraz obwodnic implikuje istotne zmiany w rozkładzie ruchu. Również prowadzenie prac remontowych powoduje przesunięcie ruchu na inne odcinki dróg.

SDR wykazuje duże zróżnicowanie przestrzenne (tab. 2.7.). Zdecydowanie największe obciążenie ruchem na drogach krajowych, znacznie przekraczające średnią krajową wynoszącą 11 178 pojazdów na dobę odnotowano w województwie śląskim. Zmierzone dobowe obciążenie sieci w 2015 roku sięgało tam niemalże 20 017 pojazdów. Duży ruch odnotowano również w województwach małopolskim (14 580), łódzkim, mazowieckim, dolnośląskim (po ponad 13 000). Najmniejsze obciążenie dróg występowało z kolei w województwach warmińsko-mazurskim, podlaskim i zachodniopomorskim. Ruch w tych regionach nie przekraczał 8 000 pojazdów na dobę. Na podstawie wyników SDR można zauważyć, iż województwo śląskie charakteryzowało się największym obciążeniem na wszystkich typach dróg. Średni ruch dobowy również na drogach międzynarodowych, sięgający niemalże 39 tys. pojazdów, znacznie przewyższał ruch odnotowany w innych regionach.

Tablica 2.7. Zróżnicowanie średniego dobowego ruchu pojazdów silnikowych w poszczególnych województwach w 2015 roku

Województwa	Drogi krajowe					
	międzynarodowe		pozostałe krajowe		krajowe ogółem	
	SDR 2015 (poj./dobę)	Wsk. wzrostu ruchu 2005- 2015	SDR 2015 (poj./dobę)	Wsk. wzrostu ruchu 2005- 2015	SDR 2015 (poj./dobę)	Wsk. wzrostu ruchu 2005- 2015
Dolnośląskie	20 065	2,16	7 029	1,39	13 098	1,85
Kujawsko- pomorskie	16 877	1,71	8 198	1,44	10 531	1,52
Lubelskie	10 660	1,40	6 833	1,66	8 100	1,54
Lubuskie	14 509	1,71	5 769	1,39	8 840	1,52
Łódzkie	25 240	1,72	7 211	1,21	13 415	1,48
Małopolskie	25 280	1,76	10 099	1,45	14 580	1,60
Mazowieckie	26 704	1,72	7 616	1,56	13 208	1,64
Opolskie	30 155	2,30	6 506	1,35	9 269	1,61
Podkarpackie	11 296	1,31	8 025	1,58	9 226	1,41
Podlaskie	10 981	1,75	5 897	1,66	7 082	1,69
Pomorskie	23 269	1,86	7 519	1,57	12 352	1,65
Śląskie	38 848	1,83	13 409	1,45	20 017	1,65
Świętokrzyskie	13 467	1,64	7 354	1,57	8 844	1,59
Warmińsko- mazurskie	13 607	1,40	5 142	1,60	6 133	1,53
Wielkopolskie	20 835	1,60	9 501	1,45	12 171	1,44
Zachodniopomorskie	13 160	1,64	5 534	1,39	7 954	1,51
Razem	20 067	1,75	7 614	1,23	11 178	1,59

Zródło: Opczyński K., 2011 i 2016.

2.4.7. Czynniki ludzkie w kształtowaniu poziomu BRD

Zgodnie z opinią J. Bąk i D. Bąk-Gajdy [2008, s. 22] w systemie bezpieczeństwa ruchu drogowego decydującym czynnikiem sprawczym jest człowiek, który z jednej strony występuje jako współtwórca ruchu drogowego, a z drugiej strony jako użytkownik drogi. Bezpieczeństwo kierowcy jest silnie powiązane z jego cechami psychofizycznymi, kultury jazdy, opanowania, umiejętnościami radzenia sobie w sytuacjach stresujących, szybkiego podejmowania decyzji i reagowania na bodźce. Rozproszenie koncentracji, zaśnięcie, korzystanie z urządzeń mobilnych, lekceważenie obowiązujących przepisów prawa drogowego, prowadzenie pojazdu pod wpływem środków odurzających, nadmierna wiara we własne umiejętności czy brawura to tylko niektóre z czynników natury ludzkiej, które implikują powstawanie sytuacji niebezpiecznych. Jak zauważa R. Kałużny [2012, s. 189] śledząc statystyki wypadków drogowych, ale także obserwując

sposób zachowania się kierowców, odnosi się wrażenie, że w polskich warunkach życia i zdrowie mają bardzo niską wartość.

Bardzo dużym problemem jest prowadzenie pojazdu przez kierowców znajdujących się pod wpływem alkoholu. Zdolność prowadzenia pojazdu pogarsza się już przy względnie niskich stężeniach alkoholu we krwi. Pierwsze zaburzenia występują przy stężeniu 0,3g/L(‰); pojawiają się wówczas błędy w wykonywaniu takich manewrów, jak hamowanie, skręcanie, zawracanie, parkowanie, przejazd między dwoma samochodami [www.obserwatorium.brd.pl]. Prowadzenie pojazdu pod wpływem alkoholu przekłada się nie tylko na zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia wypadku ale także na zwiększenie jego ciężkości. Zgodnie z opinią Polskiego Obserwatorium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego stężenie sięgające 1,5 g/L (‰) aż 200-krotnie podnosi ryzyko poniesienia śmierci w wyniku wypadku w porównaniu do kierowcy trzeźwego.

We wszystkich krajach Unii Europejskiej obowiązuje zakaz prowadzenia pojazdu po spożyciu alkoholu, zróżnicowana jest jednak jego dopuszczalna ilość we krwi. Przykładowo w Czechach, Rumunii, na Słowacji i Węgrzech obowiązuje limit zerowy, zaś na Malcie i w Wielkiej Brytanii limit ten jest dość wysoki i wynosi 0,8 g/L (‰). W Polsce obowiązuje limit 0,2 g/L (‰) a jego przekroczenie do poziomu 0,5 g/L (‰) traktowane jest jako wykroczenie. Z przestępstwem mamy z kolei do czynienia, gdy badanie na obecność alkoholu wykazało wartość przekraczającą 0,5 g/L (‰). Dodatkowo, w niektórych państwach wprowadzone są niższe dopuszczalne limity zawartości alkoholu we krwi dla młodych, początkujących oraz zawodowych kierowców.

Okazuje się, że w 2014 roku w Polsce aż 10,1% wypadków było zawinionych przez osoby nietrzeźwe a poziom tego wskaźnika od kilku lat utrzymuje się na zbliżonym poziomie ulegając tylko nieznacznemu obniżeniu. Województwami charakteryzującymi się najwyższym udziałem wypadków, w których uczestniczyły osoby znajdujące się pod wpływem alkoholu były: podlaskie, lubelskie, świętokrzyskie oraz warmińsko-mazurskie (tab. 2.8).

Nietrzeźwi w tych regionach uczestniczyli w 13 – 15% wszystkich wypadków odnotowanych w danym regionie. Dla odmiany w województwach wielkopolskim, lubuskim oraz pomorskim udział pijanych uczestników wypadków drogowych kształtował się na poziomie 7 – 8%. Łączna liczba wypadków spowodowanych przez nietrzeźwych kierowców wyniosła w 2014 roku 3 522 i jest o 12,6% niższa w stosunku

do roku poprzedniego. Odnotowano również niemalże 15% spadek liczby osób rannych oraz 10% spadek liczby zabitych w tych wypadkach.

Tablica 2.8. Przestrzenne zróżnicowanie liczby wypadków oraz ich skutków z uczestnictwem osób nietrzeźwych w 2014

Województwa	Liczba wypadków	Liczba zabitych	Liczba rannych
Dolnośląskie	225	27	295
Kujawsko-pomorskie	98	30	96
Lubelskie	210	23	260
Lubuskie	56	10	70
Łódzkie	360	62	393
Małopolskie	405	34	458
Mazowieckie	435	67	473
Opolskie	67	13	70
Podkarpackie	168	25	194
Podlaskie	105	31	110
Pomorskie	226	24	284
Śląskie	452	22	517
Świętokrzyskie	187	18	203
Warmińsko-mazurskie	215	29	258
Wielkopolskie	173	29	189
Zachodniopomorskie	140	26	176
Razem	3 522	470	4 046

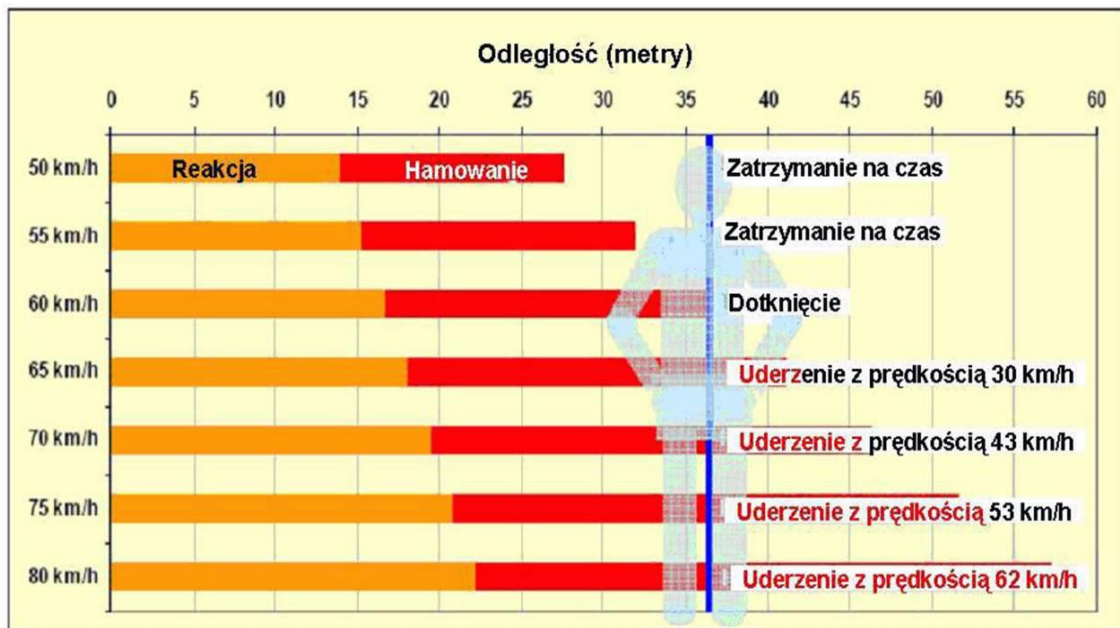
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych KGP.

Kolejnym destrukcyjnym, lecz nagminnym zachowaniem kierowców jest jazda z nadmierną prędkością co nie tylko przyczynia się do powstawania wypadków ale także przekłada się na zwiększenie ich ciężkości. Należy uświadomić sobie, iż pojęcie nadmiernej prędkości odnosi się zarówno do przekraczania obowiązujących ograniczeń ale również jazda z prędkością dozwoloną lecz nieadekwatną do panujących na drodze warunków atmosferycznych bądź umiejętności prowadzącego pojazd. Szczególnie ciężkie konsekwencje szybkiej jazdy zachodzą na obszarach zabudowanych. Dzieje się tak gdyż:

- jazda w obszarze zabudowanym wiąże się z dostarczaniem kierowcy jednocześnie wielu bodźców. Przekroczenie pewnego progu powoduje, iż nie będzie on w stanie utrzymać koncentracji i przetworzyć wszystkich informacji, co w konsekwencji doprowadzi do wystąpienia zdarzenia drogowego;

- przy wyższej prędkości trudniej uniknąć zderzenia, gdyż dłuższy jest zarówno czas reakcji kierowcy jak również droga hamowania. Oznacza to, że w przypadku uderzenia, również jego siła jest znacznie większa. Zależności te zostały przedstawione na rys. 2.15.

Rysunek 2.15. Zależność między prędkością jazdy a drogą zatrzymania



Źródło: Bohatkiewicz J., 2008, s. 8.

- większa prędkość jazdy skraca czas kierowcy na przetworzenie bodźców docierających z otoczenia, a tym samym skraca czas niezbędny do podjęcia decyzji i przystąpienia do działania. Przetworzenie informacji i reakcja wymaga co najmniej 1 sekundy, w czasie której im większa prędkość pojazdu tym większą pokonuje odległość;

- im wyższa prędkość, tym dłuższa jest droga hamowania. Do czasu reakcji kierowcy dochodzi czas hamowania, a ponieważ droga hamowania jest proporcjonalna do kwadratu prędkości, odległość, jaką pokonuje pojazd od momentu rozpoczęcia hamowania do zatrzymania bardzo się wydłuża, jeżeli samochód porusza się z większą prędkością. Droga hamowania znacznie się wydłuża przy mokrej i śliskiej nawierzchni [Bohatkiewicz, 2008, s. 8].

- im większa prędkość jazdy, tym bardziej zawęża się pole widzenia prowadzącego pojazd co przekłada się na ograniczenie odbierania informacji z otoczenia;

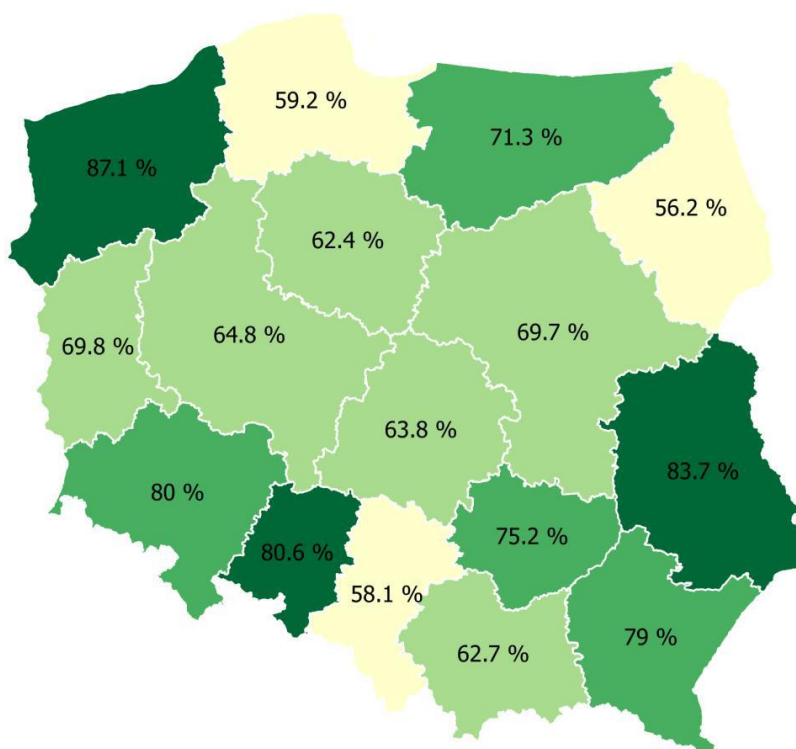
- wraz ze wzrostem prędkości zwiększa się ranga obrażeń u ofiar wypadków. Ludzkie ciało jest w stanie przetrwać stosunkowo bez szkody uderzenie z prędkością nie przekraczającą 30 km/h. Dotyczy to zwłaszcza niechronionych uczestników ruchu drogowego, którzy nie są zabezpieczeni żadnymi poduszkami powietrznymi czy karoserią pojazdu.

Zgodnie z raportem KRBRD [2015a] dotyczącym prędkości pojazdów w 2015 roku około 66,75% kierowców objętych pomiarem dopuściło się przekroczenia

dopuszczalnych limitów (rys. 2.16). Najgorzej pod tym względem przedstawiała się sytuacja w województwach zachodniopomorskim, lubelskim oraz opolskim, gdzie ponad 80% kierowców objętych badaniem poruszało się po drogach bez respektowania obowiązujących przepisów ruchu drogowego.¹⁰

W maju 2015 roku wprowadzono zaostrzone przepisy dotyczące przekraczania dopuszczalnej prędkości na obszarze zabudowanym. Zgodnie z aktualnymi regulacjami w sytuacji, gdy kierujący pojazdem przekroczył dozwoloną prędkość o więcej niż 50 km/h na terenie zabudowanym policjant może odebrać prawo jazdy. Przeprowadzone badanie ujawniło, iż nowe obostrzenia przyczyniły się do zmniejszenia udziału kierujących przekraczających dozwoloną prędkość o więcej niż 20 km/h przy jednoczesnym zwiększeniu odsetka osób przekraczających prędkość do 20 km/h.

Rysunek 2.16. Udziały pojazdów przekraczających prędkość dopuszczalną w poszczególnych województwach



Źródło: KRBRD, 2015, s. 28.

¹⁰ Są to pomiary przekroczeń prędkości dopuszczalnej bez uwzględnienia średnich prędkości pojazdów na autostradach, drogach ekspresowych oraz drogach powiatowych na obszarze niezabudowanym, na których prowadzono pomiary tylko w wybranych województwach.

Statystyki prowadzone przez Komendę Główną Policji dowodzą, iż wiek kierowcy jest ważnym czynnikiem wpływającym na poziom bezpieczeństwa w ruchu drogowym (tab. 2.9.).

Tablica 2.9. Ofiary wypadków drogowych według grup wiekowych w 2014 roku

Grupy wiekowe	Zabici		Ranni	
	Liczba ofiar	Na mln populacji	Liczba ofiar	Na mln populacji
0 - 6	30	10,7	1 096	389,7
7 - 14	50	16,9	2 413	817,3
15 - 17	71	59,1	2 031	1 690,5
18 - 24	499	144,8	7 885	2 287,9
25 - 39	737	79,6	12 004	1 295,9
40 - 59	892	85,9	9 933	956,1
60+	915	108,7	7 150	849,2
b/d	8	-	33	-

Źródło: Opracowanie własne na podstawie KGP, 2015, s. 38

Najbardziej niebezpiecznymi kierowcami są osoby młode, które nie ukończyły 24 roku życia. W 2014 roku w przypadku tej grupy wiekowej odnotowany został najwyższy wskaźnik śmiertelności sięgający 145 zabitych na 1 mln ludności. Jak podają statystyki KGP głównymi przyczynami było niedostosowanie prędkości jazdy do warunków ruchu, nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu, nieprawidłowe wyprzedzanie. Statystyki z ostatnich lat wskazują, iż osoby młode najczęściej powodowały wypadki w weekendy oraz w okresie wakacyjnym.

Do zdarzeń drogowych z udziałem tej grupy użytkowników dróg najczęściej dochodzi ze względu na brak doświadczenia i umiejętności reagowania na nowe, niestandardowe sytuacje w połączeniu z brawurą, skłonnością do ryzyka, zbyt wysoką wiarą we własne możliwości, brakiem wyobraźni a niekiedy chęcią zaimponowania rówieśnikom czy jazdą pod wpływem alkoholu bądź narkotyków.

Drugą grupą wiekową charakteryzującą się wysokim wskaźnikiem śmiertelności na 1 mln wypadków są osoby, które przekroczyły 65 rok życia. Wynika to z tego, iż wraz z upływem lat sprawność psychofizyczna istotnie się zmienia. Wydłużeniu ulega czas reakcji, może dochodzić do złej oceny odległości bądź sytuacji drogowej, pojawiają się problemy ze zdrowiem.

Niewątpliwie osoby starsze posiadają wieloletnie doświadczenie poparte dużą liczbą przejechanych kilometrów jednak nie zawsze udaje im się ustrzec od błędów. Najczęstszymi przyczynami zdarzeń drogowych, do których doszło z winy seniorów jest nieustąpienie pierwszeństwa, jazda z nadmierną prędkością oraz nieprawidłowe zachowanie wobec niechronionych uczestników ruchu drogowego.

Należy podkreślić, iż ciężkość wypadków z udziałem osób starszych jest znacznie większa niż w przypadku osób młodych ze względu na ogólny stan zdrowia i możliwości organizmu. Dłuży jest proces rekonwalescencji a powrót do pełnej sprawności może okazać się niemożliwy.

Należy pamiętać, iż do wypadków dochodzi nie tylko z winy kierujących pojazdem ale również z winy pieszych. W 2014 piesi byli sprawcami niemalże 9% wszystkich wypadków. Zginęło w nich 565 osób, co stanowiło 17,6% wszystkich zabitych. Piesi najczęściej dopuszczali się wejścia na jezdnię bezpośrednio pod nadjeżdżający pojazd, wejścia na jezdnię zza przeszkody, przekraczania jezdni w niedozwolonym miejscu oraz wejścia na jezdnię na czerwonym świetle.

Duże zagrożenie ze strony pieszych stanowią osoby starsze. Wraz z wiekiem ludziom pogarsza się nie tylko zdolność postrzegania ale także sprawność poruszania się, a pokonanie skrzyżowania podczas jednej zmiany sygnalizacji świetlnej może być bardzo trudne bądź nawet niemożliwe.

Dużym problemem jest również niewłaściwe oświetlenie bądź oznakowanie przejść dla pieszych oraz samych pieszych. Od 31 sierpnia 2014 roku każdy pieszy poruszający się po zmierzchu po drodze poza obszarem zabudowanym ma obowiązek być wyposażonym w odblaski umieszczone w widocznym miejscu. (...) po zmroku pieszy ubrany w ciemny strój jest widziany przez kierującego pojazdem z odległości około 40 metrów. Natomiast osoba piesza, mająca na sobie elementy odblaskowe, staje się widoczna nawet z odległości 150 metrów. Te dodatkowe metry pozwalają kierowcy wyhamować i bezpiecznie ominąć pieszego.¹¹

2.5. Podsumowanie

Niniejszy rozdział zawiera diagnozę stanu bezpieczeństwa drogowego w Polsce w latach 1995 – 2014. Przeprowadzona analiza uwidoczniła duże zróżnicowanie przestrzenne wskaźników zagrożenia zarówno w układzie jednostek terytorialnych na poziomie NUTS 3 i NUTS 2. W celu pokazania jak wygląda Polska na tle innych krajów w rozdziale krótko scharakteryzowano poziom BRD na świecie. Pozwoliło to na wyciągnięcie wniosku, iż Polsce mimo znaczącej poprawy wskaźników zagrożenia nie udało się odnotować tak dużego postępu jaki został wypracowany w innych krajach Unii

¹¹ Zob. <http://www.policja.pl/pol/aktualnosci/102338,Obowiazkowe-odblaski-dla-piesznych.html>

Europejskiej. Polska stała się krajem o jednym z najwyższych wskaźników śmiertelności w wyniku wypadków drogowych. W 2014 roku w UE ginęło średnio 51 osób na 1 mln mieszkańców, podczas gdy w Polsce były to aż 84 osoby.

W drugiej części rozdziału, podjęto próbę wytypowania i przybliżenia czynników mogących mieć istotne znaczenie w kształtowaniu się poziomu bezpieczeństwa drogowego. Za najważniejsze determinanty uznano wartość Produktu Krajowego Brutto *per capita*, stopień zmotoryzowania społeczeństwa, wydatki na Transport i Łączność, udział pojazdów ciężarowych w ogólnej liczbie zarejestrowanych pojazdów, długość oraz jakość sieci drogowej, poziom opieki medycznej. Zwrócono również uwagę na czynnik ludzki, który ze względu na brak odpowiednich statystyk nie zostanie uwzględniony w dalszej części analizy empirycznej. W badaniu ujęte zostaną tylko takie cechy demograficzne jak wiek i płeć mieszkańców poszczególnych regionów. Należy jednak pamiętać, iż do wypadków drogowych dochodzi również na skutek błędów, nieuwagi lub ryzykownego zachowania uczestników ruchu drogowego.

ROZDZIAŁ 3

CHARAKTERYSTYKA I WYKORZYSTANIE WYBRANYCH METOD STATYSTYKI I EKONOMETRII PRZESTRZENNEJ W ANALIZIE BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO

3.1. Wprowadzenie

Wypadki drogowe w Polsce wciąż stanowią poważny problem. Wprawdzie stan bezpieczeństwa drogowego ulega systematycznej poprawie jednak osiągnięte wskaźniki zagrożenia mocno odstają od poziomu innych państw Unii Europejskiej. Polska od lat zajmuje jedno z ostatnich miejsc w rankingach BRD. Liczba ofiar śmiertelnych w przeliczeniu na milion mieszkańców jest niemalże trzykrotnie wyższa niż w przypadku liderów w zakresie bezpieczeństwa drogowego. Również tempo poprawy wskaźników zagrożenia jest niezadowalające biorąc pod uwagę sukcesy innych krajów. Przykładowo Norwegia, która od lat szczyty się niskimi wskaźnikami zagrożenia, wciąż odnotowuje spadki zarówno liczby wypadków jak i liczby zabitych. W 2014 roku było tam o 20% mniej ofiar śmiertelnych niż rok wcześniej i aż 42% mniej niż w 2008 roku. Polsce nie udało się osiągnąć tak pozytywnych wyników mimo podejmowanych działań na rzecz poprawy poziomu bezpieczeństwa.

Jak głosi A. Szymanek [2006] ruch drogowy zasługuje na szczególną uwagę badaczy, gdyż niebezpieczne zdarzenia drogowe pojawiają się często i generują duże straty społeczne. Wynika to ze znacznej ekspozycji zagrożenia uczestników ruchu oraz stosunkowo dużego prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń typu: incydent, konflikt, kolizja lub wypadek drogowy. Składowe ryzyka odznaczają się wysokim poziomem. Zależności zachodzące między poszczególnymi czynnikami determinującymi poziom BRD są wielokierunkowe i zmienne w czasie oraz przestrzeni.

Wypadki drogowe niosą za sobą wiele negatywnych konsekwencji. Należą do nich skutki zdrowotne, psychologiczne, społeczne i ekonomiczne. Skutki te przekładają się na koszty ekonomiczne, które ponoszą nie tylko bezpośrednio poszkodowani w wypadkach, ale wszyscy mieszkańcy kraju [Urbanek, Walińska, 2016, s. 121]. Według Instytutu Badawczego Dróg i Mostów sięgają one 3% rocznego PKB. Polskiego społeczeństwa nie stać na ponoszenie tak wysokich kosztów dlatego bardzo

ważne jest wyznaczenie determinant powstawania wypadków oraz analiza zależności zachodzących między nimi.

Jest to możliwe dzięki zastosowaniu określonych metod ilościowych. Pierwsze próby badań nad zagadnieniem bezpieczeństwa drogowego prowadzone były już 100 lat temu. Z biegiem lat powstawało wiele teorii i modeli wyjaśniających przyczyny powstawania wypadków. Bezpieczeństwo ruchu drogowego jest dziedziną interdyscyplinarną ściśle korzystającą z osiągnięć innych nauk i dyscyplin naukowych. Można w niej znaleźć powiązania m.in. z matematyką, statystyką, ekonometrią, inżynierią drogową, urbanistyką, prawem, psychologią, medycyną, socjologią. Do charakterystyki BRD i oceny podejmowanych działań ukierunkowanych na jego poprawę wykorzystywane zaś są liczne mierniki, modele, wskaźniki i analizy.

Do pomiaru i identyfikacji zależności zachodzących między wybranymi wskaźnikami zagrożenia a czynnikami społecznymi i gospodarczymi w niniejszej pracy zastosowane zostaną modele panelowe oparte na hipotezie klasycznych oraz zmodyfikowanych Środowiskowych Krzywych Kuzneta. Z kolei do diagnozy i pomiaru siły występujących zależności między obiektami sąsiadującymi zostaną wykorzystane modele przestrzenne. W niniejszym rozdziale zostanie także zaprezentowany przegląd wybranych pozycji literatury przedmiotu.

3.2. Teorie powstawania wypadków

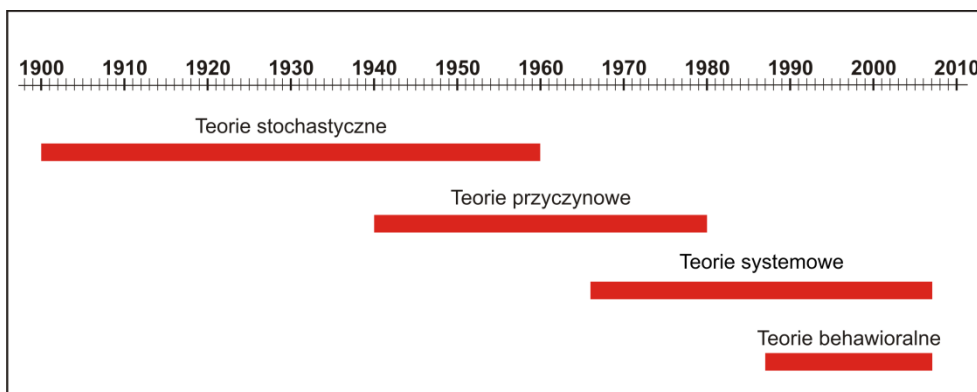
Jak już było wspomniane każdy wypadek drogowy generuje olbrzymie straty dla gospodarki, zatem wyznaczenie czynników determinujących ich powstawanie ma istotne znaczenie. Na przestrzeni lat powstało wiele teorii i modeli opisujących to zagadnienie, zaś pierwsze z nich pojawiły się już na początku ubiegłego stulecia. Wyróżnić można cztery podstawowe grupy teorii: stochastyczne, przyczynowe, systemowe oraz behawioralne (rys. 3.1.).

Jak podaje K. Jamroz [2008, s. 100 – 101] prekursorem pierwszej z nich, **stochastycznej**, dominującej w pierwszej połowie XX wieku był Bortkiewicz, który odkrył, że rozkład liczby ofiar śmiertelnych w ciągu roku jest prawie doskonale losowy, a model Poissona bardzo dobrze opisuje ten proces losowy. Zgodnie z tym ujęciem, wypadki mają charakter czysto losowy, niezależny od woli czy jakichkolwiek działań człowieka. Kolejni eksperci głosili pogląd, iż zdarzenia losowe są kwestią przypadku a nawet, że są zawinione przez osoby cierpiące na jakieś osobiste zaburzenia. Ostatecznie, przekonanie to ewaluowało do twierdzenia, iż za większość wypadków odpowiedzialność

ponoszą zwykli kierowcy, jednak są one uwarunkowane przez wiele czynników, nie tylko związanych z kierowcą.

Od lat czterdziestych ubiegłego wieku zaczęło dominować odmienne podejście do problemu, które dało początek **teorii przyczynowej**. Podstawą tego nurtu wykorzystującego następstwo zdarzeń było przeświadczenie, iż zdarzeniom drogowym można zapobiec jedynie dzięki zrekonstruowaniu przebiegu wypadku i zdefiniowaniu obszarów, które należy objąć działaniami profilaktycznymi. H. W. Heinrich uznał, iż wystąpienie każdego zdarzenia drogowego ma konkretną przyczynę i tylko jej wyeliminowanie doprowadzi do zredukowania liczby wypadków. Są to m.in. przyczyny ekonomiczne, społeczne i drogowe. W teorii tej dużo miejsca poświęcone jest także czynnikom ludzkim oraz błędom popełnianym przez kierowców.

Rysunek 3.1. Chronologia grup teorii bezpieczeństwa ruchu drogowego



Źródło: Jamroz K., 2008, s. 100.

Heinrich niebezpieczne zachowania (*unsafe act*) rozumiał jako jeden z pięciu czynników (elementów, ogniów) w sekwencji domina, która nieuchronnie prowadzi do wypadku i w konsekwencji do uszczerbku na zdrowiu. Uważał też, że interakcja pomiędzy człowiekiem i maszyną, relacje pomiędzy dotkliwością wypadku i jego częstotliwością, rozważania o podejmowaniu niebezpiecznego zachowania oraz roli zarządzania w prewencji wypadkowej, koszty wypadku i skuteczność działań ukierunkowanych na bezpieczeństwo – są z sobą powiązane [Wontorczyk, 2011, s. 18].

W przyczynowych teoriach wykształciły się dwa nurty: deterministyczny i czynnikowy. Pierwszy z nich opiera się na rozpoznaniu i opisanu następstwa zdarzeń powodujących wypadki. W ramach tego podejścia można wyróżnić teorię łańcucha (sekwencji) zdarzeń, teorię sekwencji zdarzeń nieliniowych i teorię bocznego łańcucha zdarzeń. Z kolei nurt czynnikowy opiera się na analizie wykorzystującej dostępne dane statystyczne, które muszą być zbierane w jednolity sposób umożliwiający oszacowanie

wpływu zmiennych na prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku. W podejściu przyczynowym wiele uwagi zostało poświęcone czynnikom ludzkim, które w opinii propagatorów tej teorii, odpowiadają za zdecydowaną większość wypadków. Błędy ludzkie są naturalnym zjawiskiem i mogą być determinowane przez czynniki środowiskowe, indywidualne cechy ludzi (płeć, wiek, doświadczenie), czynniki modyfikujące zachowania kierowców (alkohol, narkotyki, pogoda), wyposażenie pojazdów i wiele innych.

W kolejnych latach, dokonano spostrzeżenia, iż nie wszystkie wypadki powstają z winy nieuważnych kierowców, co podważyło założenia tej teorii. Dało to początek kolejnemu podejściu zwanemu **systemowym**, którego podstawowym założeniem był pogląd, iż wypadki powstają w wyniku niewłaściwych interakcji zachodzących pomiędzy poszczególnymi elementami całego systemu bezpieczeństwa. Zgodnie z tym podejściem, nie jest możliwe wyznaczenie tylko jednego czynnika jako determinanty zdarzenia drogowego. Do zdarzeń drogowych dochodzi nie tylko przez ludzkie zachowanie, ale także przez złe zaprojektowanie systemu, który nie wybacza błędów. Jak zauważa K. Kosmowski [2003] teoria ta pozwala na łączenie teorii z pojedynczych wypadków, celem utworzenia obszaru wiedzy o działaniu danego systemu i jego stabilności, gdyż poszczególne warstwy (poziomy) systemu przyczyniają się do narastania ryzyka wypadku.

Teorie systemowe koncentrują się nie tylko na poszukiwaniu wszystkich czynników mogących doprowadzić do wypadku, ale także na czynnikach oddziałujących w miejscu i czasie zdarzenia. Ma to umożliwić podjęcie działań prewencyjnych, monitorowanie systemu a także scharakteryzowanie występujących zależności i powiązań. Na gruncie teorii systemowych można wyróżnić nurt generalny, epidemiologiczny oraz energetyczny.

Zgodnie z pierwszym z nich, zdarzenie drogowe jest wypadkową zarówno zachowań człowieka, pojazdu jak i otoczenia. Wyeliminowanie wypadków jest możliwe dzięki wprowadzeniu zmian do technicznych elementów systemu drogowego. Za prekursora teorii epidemiologicznej uważa się Haddona, nawiązującego do Gordona, który zaproponował wykorzystanie etiologii do modeli bezpieczeństwa ruchu drogowego. Takie podejście dało początek programowi działań prewencyjnych zwanych macierzą Haddona. Program ten skupia się na trzech grupach czynników wpływających na powstawanie wypadków, a mianowicie na uwarunkowaniach przed, w trakcie i po wypadku.

Rozwinięciem nurtu epidemiologicznego jest teoria przepływu energii opracowana w 1961 roku przez Gippsona, który stwierdził, że wymiana energii powodować może obrażenia, gdy wystąpi niepożądany transfer różnych form energii, od źródła do czułych struktur obiektu (człowieka), przy braku barier [Jamroz, 2011, s. 21]. Również i ta teoria okazała się być niewystarczająca. W 1980 roku Wilde przedstawił nowe podejście do zagadnienia bezpieczeństwa w ruchu drogowym, które dało początek **teoriom behawioralnym**. Podobnie, jak w poprzednich teoriach, także i w tej można wyróżnić kilka nurtów: homeostazy ryzyka, przystosowania behawioralnego, adaptacji ryzyka, zmiany zachowań zdrowotnych.

Teoria homeostazy ryzyka opiera się na twierdzeniu Wilda, iż długotrwała poprawa poziomu bezpieczeństwa może wystąpić tylko w sytuacji, gdy takie jest pragnienie całej społeczności. Stwierdził, że każde społeczeństwo ma taką liczbę wypadków, jaką akceptuje. Podniesienie poziomu bezpieczeństwa jest zatem możliwe jedynie przez obniżenie docelowego poziomu ryzyka. W odniesieniu do pojedynczego człowieka, teoria ta bazuje z kolei na założeniu, iż każdy indywidualny użytkownik drogi określa własny idealny poziom ryzyka i w zależności od niego wykazuje bardziej lub mniej ryzykowane zachowania.

Brak możliwości obniżenia tego poziomu ryzyka oraz wskazówek jak go obniżyć doprowadził do modyfikacji tego nurtu i powstania teorii przystosowania behawioralnego, która zakłada, iż uczestnicy ruchu w pewnym zakresie dostosowują swoje zachowania do czynników ryzyka, jednak nie zawsze w wystarczający sposób. Prekursorem teorii adaptacji ryzyka jest Koornstra, który głosi pogląd, iż ryzyko jest tylko w pewnym stopniu kompensowane przez niższy bądź wyższy poziom obojętności kierowcy a poziom poczucia konsekwencji ryzyka jest zmienny w czasie. Wprowadzenie określonych środków bezpieczeństwa na konkretnej drodze doprowadzi do zredukowania liczby zdarzeń drogowych a w konsekwencji do obniżenia rzeczywistego ryzyka, jednak tylko do niższego poziomu obojętności. Po okresie adaptacji do nowych warunków obniżone ryzyko średnie na tej drodze ustabilizuje się na zbliżonym poziomie.

Zgodnie z założeniami nurtu zmiany zachowań zdrowotnych liczba ofiar lub prawdopodobieństwo bycia ofiarą wypadku drogowego jest determinowane przez zachowanie uczestników ruchu, otoczenie, prowadzone działania prozdrowotne (takie jak edukacja, regulacje prawne, polityka, komunikacja społeczna), indywidualne czynniki ludzkie (np. psychologiczne wybory, uwarunkowania genetyczne, czynniki ryzyka indywidualnego) oraz czynniki społeczne (np. warunki życia, sąsiedztwo, powiązania i

relacje społeczne). Podejście to pozwala wyznaczyć zachowania ludzkie i czynniki środowiskowe determinujące liczbę wypadków drogowych.

Działania prewencyjne podejmowane w celu poprawy poziomu bezpieczeństwa coraz częściej korzystają z naukowego wsparcia, w tym z teorii. K. Jamroz [2008, s. 106] podaje, iż podejście przyczynowe i modele sekwencyjne pozwalają na zbadanie zależności zachodzących między zmiennymi ekonomicznymi, społecznymi, drogowymi a liczbą wypadków, co daje możliwość wyznaczenia najważniejszych czynników powstawania wypadków. Korzystając z teorii i modeli epidemiologicznych prowadzi się analizę „nosicieli” i ukrytych zależności wpływających na konsekwencje wypadków w celu stworzenia barier ochronnych i określenia wskaźników modelu zdrowia publicznego. Za przykład takiego podejścia może posłużyć program działań prewencyjnych określonych od nazwiska jego twórcy mianem macierzy Haddona.

Z kolei w teoriach i modelach systemowych bada się relacje i powiązania, które determinowały wypadki drogowe oraz czynniki występujące w czasie i miejscu zdarzenia. Analiza taka pozwala na wskazanie odpowiednich działań prewencyjnych oraz zbudowanie systemu kontroli i monitorowania występujących zależności. Badanie wpływu zachowań ludzkich na poziom BRD, co jest przedmiotem zainteresowania nurtu behawiorystycznego, pozwala na przekonanie społeczeństwa i decydentów o potrzebie podjęcia działań programowych oraz pomiaru ich efektów.

3.3. Autokorelacja przestrzenna

Zróżnicowanie przestrzenne działalności społeczno-gospodarczej jest niezbędnym warunkiem rozwoju. Jak twierdził Losch [1961, s. 379] życie nie składa się jedynie z rozwoju w czasie, lecz również ze zróżnicowań w przestrzeni. Jeżeli wszystko działałoby się w tym samym czasie, wówczas nie byłoby w ogóle rozwoju. Jeśli wszystko działałoby się w tym samym miejscu, wówczas nie byłoby w ogóle odrębności. Jak dodaje M. Wigier [2012 s. 263 – 272] nie byłoby potrzeby uwzględniania w procesach planowania i sterowania rozwojem społeczno-gospodarczym jego uwarunkowań i następstw. Obiekty przestrzenne, takie jak kraje, regiony, województwa, gminy nie są izolowane w przestrzeni lecz mogą zachodzić między nimi różne zależności.

Prekursorem ekonomii przestrzennej i teorii lokalizacji jest Johann Heinrich Thünen, który już w 1826 roku opracował teorię stref rolniczych, znaną jako teoria kręgów. Podział stref był następujący: pierwszy z kręgów obejmował działalność rolniczą z ogrodnictwem i produkcją mleka, w drugim zlokalizowana była gospodarka leśna i

funkcje rekreacyjne, w trzecim rolnictwo ekstensywne, a w czwartym produkcja zwierzęca. Thünen w oparciu o klasyczną teorię renty gruntowej, kosztów transportu i funkcji odległości sformułował prawo mówiące, że w miarę oddalania się od punktu centralnego (miasta) rosną koszty transportu, a zatem intensywność produkcji rolniczej jest malejącą funkcją odległości gospodarstwa od rynku zbytu (miasta) [Pietrzykowski, 2011, s. 97 – 112]. Mimo, iż teoria ta znacznie upraszcza rzeczywistość uznano ją za pionierską w dziedzinie ekonomii przestrzennej. W kolejnych latach teoria ta była rozwijana przez wielu naukowców m.in. przez Launhardta (matematyczne ujęcie teorii lokalizacji), Webera (modele lokalizacji przemysłu) Hottelina (modele lokalizacji), Löschę, Isarda, Hoovera, Ponsarda.

W 1970 roku amerykańsko-szwajcarski geograf i kartograf Waldo R. Tobler [1970] zauważył, iż w przestrzeni wszystko jest powiązane ze sobą, przy czym siła oddziaływania obiektów zlokalizowanych bliżej siebie jest większa niż w przypadku tych bardziej oddalonych. Teoria ta została nazwana *Pierwszym Prawem Geografii Toblera*. Konsekwencją tego może być występowanie autokorelacji przestrzennej oznaczającej stopień skorelowania obserwowanej wartości zmiennej z wartością tej samej zmiennej w innej lokalizacji. Oznacza to, że wartości badanej zmiennej determinują i jednocześnie są determinowane przez jej realizacje w innych lokalizacjach [Suchecki, 2010, s. 103]. Podobny wariant korelacji stanowi autokorelacja w czasie, gdy wartość obserwacji zmiennej zależy od obserwacji wcześniejszych [Geiffith, 2003]. Autokorelacja ta ma charakter jednokierunkowy, podczas gdy autokorelacja przestrzenna jest wielokierunkowa [Kołodziejczak, Kossowski, 2016]. Konsekwencją pojawienia interakcji przestrzennych między obiektami jest powstawanie klastrów czyli skupisk podobnych wartości. W przypadku, gdy mamy do czynienia z grupowaniem się podobnych wartości zmiennych mówimy o występowaniu autokorelacji dodatniej zaś gdy między zmiennymi zachodzi dyspersja to jest to autokorelacja ujemna.

Według R. Bivanda [1980] autokorelacja ma miejsce wówczas, gdy występowanie jednego zjawiska w jednej jednostce przestrzennej powoduje zwiększenie się albo zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia tego zjawiska w sąsiednich jednostkach. Występowanie autokorelacji przestrzennej należy tłumaczyć:

- silnymi zależnościami zachodzącymi między jednostkami terytorialnymi, regionami, województwami, powiatami, gminami. Takie przyporządkowanie nie oddaje jednakże rzeczywistości, gdyż granice administracyjne nie stanowią przeszkody dla aktywności społeczno-gospodarczej ludności;

- wymiar społeczno-ekonomiczny ludzkiej aktywności jest determinowany przez lokalizację i odległości. Przejawem tego są takie teorie i koncepcje jak: bieguny wzrostu, hierarchia miejsc, dyfuzja innowacji i postaw [Le Sage, 1999]. Przykładem może być odległość od cieków wodnych czy ukształtowanie terenu, które wywierają wpływ na umiejscowienie niektórych gałęzi przemysłu.

Większość analiz uwzględniających interakcje przestrzenne wymaga ustalenia zachodzących między nimi relacji przestrzennych. Aby zdefiniować strukturę przestrzenną sąsiedztwa należy stworzyć macierz wag przestrzennych, która jest kluczowym elementem analizy przestrzennej [Woźniak, Sikora, 2007, s. 315 – 329]. Ujmowane w niej są relacje między jej elementami, siła wzajemnego oddziaływania obiektów oraz odległości między nimi. Sąsiedztwo może być definiowane na wiele sposobów. Przestrzenna macierz wag **W** najczęściej jest tablicą o wymiarach $n \times n$. Z reguły stosuje się macierz binarną sąsiedztwa pierwszego rzędu, w której wartość „1” oznacza występowanie wspólnej granicy dla regionów oraz „0”, gdy obiekty z sobą nie sąsiadują.

$$\begin{cases} w_{ij} = 1, & \text{gdy obiekty } i \text{ oraz } j \text{ sąsiadują z sobą} \\ w_{ij} = 0, & \text{gdzie obiekty } i \text{ oraz } j \text{ nie sąsiadują z sobą} \\ w_{ij} = 0, & \text{elementy diagonalne macierzy} \end{cases}$$

Z kolei binarną macierzą odległości **D** jest macierz o ustalonej granicy, w której elementy d_{ij} przyjmują wartość „1”, gdy odległość między *i*-tym i *j*-tym obiektem jest mniejsza od pewnej ustalonej granicy „g” oraz wartość „0”, gdy odległość między tymi obiektami jest większa od „g”. W zależności od celu i charakteru badania stosuje się także macierze odległości ekonomicznej i społecznej, macierze odległości geograficznej pomiędzy środkami geograficznymi czy stolicami [Cliff, Ord, 1981]. Sąsiedztwo może być pierwszego rzędu, bądź gdy uwzględnia się sąsiedztwo kilku sąsiadów, drugiego lub dalszego rzędu. Macierze wag najczęściej uzyskuje się poprzez standaryzację wierszami do jedności. Oznacza to, że dla każdego wiersza *i* zachodzi $\sum_j w_{ij} = 1$. Powszechnie stosuje się standaryzację polegającą na przyjęciu, że element w_{ij} wynosi $1/n$, gdy region ma *n* sąsiadów. Dla y_1 (wartość zmiennej *y* w lokalizacji 1) oznacza to, że wyrażenie Wy_1 (operator opóźnienia przestrzennego, *spatial lag*) jest średnią ważoną sąsiadujących obserwacji [Kopaczewska, 2007, s. 56].

Nie ma ogólnie przyjętych zaleceń dotyczących stosowania poszczególnych rodzajów wag. Getis i Alstadt [2004] przedstawiają jednakże kilka wskazówek pomocnych przy konstruowaniu macierzy wag. Przede wszystkim, im mniej

skomplikowane są wagi tym lepiej (np. zaleca się stosowanie macierzy sąsiedztwa pierwszego rzędu zamiast wyższych rzędów). Ponadto, bardziej korzystne jest stosowanie macierzy niedoszacowanej, czyli uwzględniającej mniejszą liczbę sąsiadów, niż przeszacowanej, gdy występują dodatkowi sąsiedzi. Analiza interakcji przestrzennych powinna opierać się na stosunkowo dużej liczbie obiektów (powyżej 60).

Zmienna X obserwowana w lokalizacji (i, j) może być „opóźniona przestrzennie” na kilka sposobów [Suchecki, 2010, s. 34]. Może występować w:

- schemacie wieży, co oznacza, iż za sąsiadów uznaje się jedynie obiekty zlokalizowane w układzie poziomym i pionowym $(x_{i-1,j}, x_{i+1,j}, x_{i,j-1}, x_{i,j+1})$,
- schemacie skoczka, zgodnie z którym sąsiadami są jedynie obiekty po skosach $(x_{i-1,j+1}, x_{i+1,j-1}, x_{i+1,j+1}, x_{i-1,j-1})$,
- schemacie królowej, który stanowi połączenie obu powyższych konfiguracji i za sąsiadów uznaje obiekty zlokalizowane we wszystkich możliwych kierunkach $(x_{i-1,j}, x_{i+1,j}, x_{i,j-1}, x_{i,j+1}, x_{i-1,j+1}, x_{i+1,j-1}, x_{i+1,j+1}, x_{i-1,j-1})$. Ten schemat jest najczęściej stosowany w praktyce.

Miary autokorelacji przestrzennej mogą mieć zarówno charakter globalny (określające siłę i charakter autokorelacji przestrzennej dla całego zbioru jednostek), jak i lokalny [Cellmer, 2012, s. 51 – 63].

3.4. Statystyka Morana I

Jedną z powszechnie wykorzystywanych miar służących do określania charakteru i siły autokorelacji przestrzennej jest statystyka Morana I .¹² Twórcą statystyki jest australijski matematyk Patrick Moran [1950], który zaproponował statystykę służącą do oceny stopnia skorelowania przestrzennego obiektów sąsiadujących. W 1973 roku Cliff i Ord dostosowali ją do potrzeb ekonometrii przestrzennej. Statystyka Morana I stosowana jest do testowania obecności globalnej autokorelacji przestrzennej i obliczana jest za pomocą iloczynów krzyżowych odchyleń według formuły:

$$I = \frac{n}{W} * \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.1.)$$

¹² Innymi statystykami wykorzystywanymi do określania globalnej autokorelacji przestrzennej są statystyka *joint-count*, statystyka *c* Geary’ego, statystyki G i G^* . Więcej na ten temat w: B. Suchecki, *Ekonometria przestrzenna ...*, op. cit.; K. Kopczevska, *Ekonometria i statystyka ...*, op.cit., W. Ratajczak, *Analiza i modele wpływu czynników społeczno-gospodarczych na kształtowanie się sieci transportowej*, PWN, Poznań 1980; R.J.G.M. Florax, P. Nijkamp, *Misspecification in linear spatial regressions models*, *Tinbergen Institute Discussion Paper*, No. 81, Amsterdam 2003; Ludwiczak B., *Korelacja przestrzenna*, (w:) Zeliaś A. (red.), *Ekonometria przestrzenna*, PWE, Warszawa 1991.

gdzie:

w_{ij} – waga połączeń między obiektami i oraz j , W – macierz wag (suma wszystkich jej elementów), x_i, x_j – wartości zmiennych w jednostkach przestrzennych i oraz j , \bar{x} – średnia wartość zmiennej dla wszystkich jednostek.

Globalna korelacja wynika z występowania korelacji w obrębie całego obszaru objętego badaniem. Wartości statystyki odpowiadają na pytanie czy sąsiadujące z sobą obiekty są do siebie bardziej podobne pod względem obserwowanej zmiennej x niż wynikałoby to ze stochastycznego charakteru badanego zjawiska.

Wartości statystyki mieszczą się w przedziale $[-1; 1]$. Istotne statystycznie wartości dodatnie statystyki Morana I oznaczają występowanie klastrów o podobnych wysokich lub niskich wartościach obserwowanej zmiennej (autokorelacja dodatnia). Z kolei ujemne wartości należy interpretować jako występowanie autokorelacji ujemnej czyli zróżnicowanie zlokalizowanych koło siebie obiektów. Wartość statystyki oscylująca wokół zera występuje w sytuacji, gdy wartości obserwacji są rozłożone losowo.

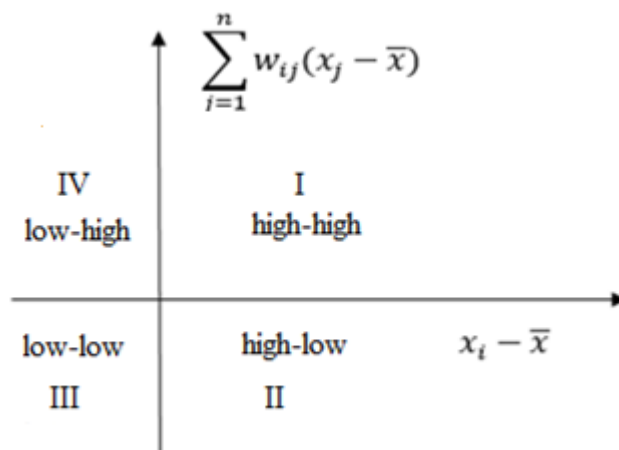
Testowanie istotności statystyk Morana I może opierać się na podejściu permutacyjnym lub na momentach teoretycznych statystyki. Wartość oczekiwana (średnia teoretyczna) statystyki w przybliżeniu wynosi zero, co można interpretować jako losowość. Wariancja teoretyczna może być wyznaczana za pomocą normalnego lub randomizowanego wzorca rozkładu.¹³ W przypadku zastosowania rozkładu normalnego na wariancję i wartość oczekiwaną mają wpływ jedynie wagi przestrzenne. Randomizacja oznacza z kolei, iż momenty te zależą także od wartości badanej zmiennej. Ponadto, należy wyznaczyć wariancję empiryczną. W tym celu korzysta się z rozkładu permutacyjnego w oparciu o symulację Monte Carlo z około 10 tys. permutacji. Weryfikacji zostaje poddana hipoteza zerowa, zgodnie z którą każda obserwowana wartość może z jednakowym prawdopodobieństwem wystąpić w dowolnej lokalizacji. Istotność standaryzowanej statystyki I Morana testuje się testem U, opartym na dystrybucie rozkładu normalnego, w którym hipoteza zerowa zakłada brak autokorelacji przestrzennej czyli losowy rozkład wartości [Kopczewska, 2007, s. 73].

Graficzną prezentacją globalnej statystyki Morana I jest Moranowski wykres rozproszenia (rys. 3.2.). Na osi odciętych znajdują się wartości standaryzowane zmiennej

¹³ Więcej na ten temat w: Cliff A.D., Ord J.K. (1981), *Spatial proces: Model and Applications*. Pion, London 1983, oraz Goodchild M.F., *Spatial autocorrelation*, Norwich, UK, Geobooks 1986.

X, zaś na osi rzędnych jej przestrzennie opóźnione wartości. „Opóźnienie” to otrzymuje się przez wprowadzenie standaryzowanej wierszami macierzy wag. Wykres składa się z czterech ćwiartek układu współrzędnych względem punktu (0,0). Klastrowanie się wartości w pierwszej i trzeciej ćwiartce (wysoka-wysoka, H-H oraz niska-niska, L-L) świadczy o występowaniu autokorelacji dodatniej. Z kolei w drugiej i czwartej ćwiartce, gdzie niskim wartościom zmiennych odpowiadają wysokie wartości zmiennych w lokalizacjach sąsiadujących, występuje autokorelacja ujemna. Jeżeli obserwacje rozłożone są stosunkowo równomiernie we wszystkich ćwiartkach układu to można uznać, iż w analizowanej zbiorowości autokorelacja przestrzenna nie występuje.

Rysunek 3.2. Moranowski wykres rozproszenia



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne na podstawie Suhecki B., 2010, s. 118.

Dla uzyskania szczegółowego obrazu badanego zjawiska niezbędna jest analiza nie tylko globalnej ale także lokalnej autokorelacji przestrzennej. W tym celu stosuje się zaproponowane przez Anselina [1995] statystyki LISA (*Local Indicator of Spatial Association*). Proponuje on, aby mianem LISA określano każdą statystykę spełniającą następujące kryteria: LISA dla każdej obserwacji wskazują na stopień znaczenia przestrzennej koncentracji podobnych wartości wokół analizowanej obserwacji (jednostki przestrzennej); suma LISA dla wszystkich obserwacji jest proporcjonalna do globalnego wskaźnika przestrzennej zależności. LISA umożliwiają więc określenie podobieństwa jednostki przestrzennej względem sąsiadów oraz istotność statystyczną tego związku. [Janc, 2006, s. 76 – 82]. Lokalnymi miernikami zależności przestrzennych mogą być lokalne wersje statystyk Morana I ,¹⁴ wyrażone wzorem:

¹⁴ Lokalnymi statystykami LISA mogą też być statystyki C Geary’ego, G^* . więcej o nich [w:] A. Getis, J.K. Ord, *Local spatial autocorrelation statistics: Distributional issues and an application*, Geographical

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.2.)$$

gdzie:

oznaczenia jak wyżej; n – liczba obserwacji;

LISA umożliwiają identyfikację skupień małych bądź dużych wartości obserwowanej zmiennej oraz obserwacji nietypowych. Mogą przyjmować następujące rozwiązania:

- wyspy wysokich wartości (*hot spots*) – jednostki z wysoką wartością zmiennej otoczone wysokimi wartościami;
- wyspy niskich wartości (*cold spots*) – jednostki z niską wartością zmiennej otoczone niskimi wartościami;
- obiekt nietypowy/odstający (*outlier*) – jednostki z wysoką wartością zmiennej sąsiadujące z jednostkami o niskich wartościach;
- obiekt nietypowy/odstający (*outlier*) – jednostki z niską wartością zmiennej sąsiadujące z jednostkami o wysokich wartościach;
- jednostki, w których nie stwierdzono istotności statystycznej autokorelacji przestrzennej.

Należy zauważyć, iż mimo, że istnienie autokorelacji globalnej zawsze wiąże się z istnieniem autokorelacji lokalnej to może zachodzić sytuacja występowania lokalnej autokorelacji przestrzennej przy braku autokorelacji globalnej.

Ujemny wynik statystyki LISA oznacza autokorelację ujemną, a zatem obserwowany obiekt otoczony jest przez regiony o znacząco różnych wartościach analizowanej zmiennej. Wartości dodatnie interpretowane są z kolei jako autokorelacja dodania, co oznacza iż analizowany region otoczony jest przez sąsiadów o podobnych cechach diagnostycznych.

3.5. Modele przestrzenne

Ekonometryczne modelowanie zagadnień regionalnych umożliwia analizę i ocenę procesów rozwojowych zachodzących w regionach. Modele ekonometryczne stanowią użyteczne narzędzie ilościowych analiz międzyregionalnych i intraregionalnych prowadzonych w przekroju przestrzennym, czasowym lub przestrzenno-czasowym

Analysis, vol. 27, 1995, ss. 287-306; A. Getis A., J.K. Ord, *Testing for local spatial autocorrelation in the presence of global autocorrelation*, Journal of Regional Science, vol. 41, 2001, ss. 411 – 432.

[Markowska, Sobczak, 2002, s. 34]. Z kolei wykrycie występowania interakcji przestrzennych między obserwowanymi obiektami ogranicza przydatność klasycznych modeli regresji (KMNK) do wnioskowania ekonometrycznego. W literaturze przedmiotu opisywany jest szeroki wachlarz modeli przestrzennych,¹⁵ które stanowią alternatywę dla modeli klasycznych. Prawidłowe uwzględnienie przestrzennego oddziaływania obiektów sąsiadujących jest konieczne do zbadania korelacji między zmienną endogeniczną i zmiennymi egzogenicznymi. W niniejszej rozprawie, do analizy zależności zachodzących między poziomem bezpieczeństwa ruchu drogowego a wybranymi czynnikami społecznymi i ekonomicznymi wykorzystano modele SEM (modele błędu przestrzennego), SLM (modele opóźnienia przestrzennego) oraz SCM (modele regresji krzyżowej).

Modele opóźnienia przestrzennego SLM (ang. *Spatial Lag Models*) nazywane także modelami autoregresji przestrzennej SAR (*Spatial Autoregressive Models*) stosowane są, gdy wartość zmiennej endogenicznej z analizowanego regionu determinowana jest przez wartość tej samej zmiennej z lokalizacjach sąsiadujących [Arbia, 2006]. Można je zapisać wzorem:

$$\mathbf{y} = \rho \mathbf{W}_y + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\mu} \quad (3.3.)$$

gdzie: \mathbf{X} – macierz zmiennych egzogenicznych, $\boldsymbol{\beta}$ – wektor parametrów strukturalnych, \mathbf{W} – macierz wag przestrzennych, ρ – współczynnik autokorelacji przestrzennej, $\boldsymbol{\mu}$ – błąd losowy, $\mu: N(\sigma^2 I)$, \mathbf{W}_y określa się jako opóźnioną przestrzennie zmienną endogeniczną.

Z uwagi na fakt, iż metoda najmniejszych kwadratów (MNK) obciąża estymatory, do szacowania modeli SLM wykorzystywana jest metoda największej wiarygodności (MNW). Opóźnienie przestrzenne \mathbf{W}_y interpretowane jest jako poziom zmiennej objaśnianej w regionach sąsiadujących. Jego istotność oznacza, że poziom zmiennej y w regionie i jest determinowany poziomem zjawiska w regionach sąsiedzkich j oraz innymi czynnikami społecznymi i ekonomicznymi.

Z kolei modele błędu przestrzennego SEM (ang. *Spatial Error Model*) określane także modelami z autokorelacją przestrzenną składnika losowego przybierają postać:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\mu} \quad (3.4.)$$

¹⁵ Więcej na temat modeli przestrzennych i metod ich estymacji w: B. Suchecki (red.), *Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2010.

gdzie:

$\mu = \lambda W\mu + e$ oraz $e \sim IID N(0,1)$, W_μ – opóźniony przestrzennie błąd, a zatem błąd z lokalizacji sąsiednich, e – niezależny błąd modelu, λ – parametr autokorelacji przestrzennego. Reszta oznaczeń jak wyżej.

W modelach SEM współczynniki β szacowane są uogólnioną metodą najmniejszych kwadratów (UMNK), zaś λ poprzez optymalizację. Przedmiotem badania jest przestrzenna zależność reszt. Przyczyną wystąpienia autokorelacji przestrzennej w składniku resztowym modelu może być pominięcie pewnych nieobserwowalnych przestrzennie skorelowanych zmiennych, przy czym może ono wywierać wpływ na kształtowanie się analizowanego zjawiska nie tylko w danym regionie ale także w regionach otaczających. W modelu SEM testujemy $\lambda=0$ czyli brak autokorelacji przestrzennej.

Modele regresji krzyżowej SCM (ang. Spatial Cross-Regressive models) znane także pod nazwą modeli z przestrzenną filtracją zmiennych objaśniających są modelami, w których interakcje przestrzenne uwzględniane są wyłącznie na zbiorze zmiennych niezależnych. Do estymacji modeli SCM wykorzystuje się metodę najmniejszych kwadratów (MNK), uzupełniając tradycyjny model postaci [Lowenberg-DeBoer, Griffin, Florax 2006]:

$$y = X\beta + \mu \quad (3.5.)$$

do postaci:

$$y = X\beta + WZ\gamma + \mu \quad (3.6.)$$

gdzie:

γ – wektor parametrów strukturalnych, Z – macierz zmiennych objaśniających, przy czym zmienne X i Z mogą być te same. Reszta oznaczeń jak wyżej.

W modelach SCM zakłada się występowanie interakcji przestrzennych jedynie po stronie zmiennych egzogenicznych, przy czym można zakładać występowanie wpływu zarówno zmiennych opóźnionych jak i nieopóźnionych.

Do diagnozowania zależności przestrzennych stosuje się testy LM (*Lagrange Multiplier*). Test *LMerr* bada zależność przestrzenną błędu zaś test *LMlag* odpowiada na pytanie czy przestrzennie opóźniona zmienna zależna jest istotna statystycznie. Oba te testy mają swoje wersje odporne na złą specyfikację modelu (*robust LR*), czyli istnienia opóźnienia przestrzennego, gdy testowane jest występowanie błędu przestrzennego [Anselin, 1999]. Wszystkie cztery testy stosowane są do zwykłego modelu regresji

liniowej szacowanej KMNK. Ich wyniki stanowią podstawę do podjęcia decyzji, która forma przestrzennych interakcji jest poprawna. Anselin i Florax [1995] zaproponowali zasadę decyzyjną, zgodnie z którą wybierany jest ten model, którego testy, *LMlag* czy *LMerr*, są bardziej istotne. Ponadto, testy *robust* muszą być istotne dla właściwej specyfikacji i nieistotne dla odrzucanego modelu. Może zdarzyć się jednakże tak, iż wszystkie cztery testy dają wyniki istotne statystycznie. W takiej sytuacji, zgodnie z podejściem klasycznym, zaleca się wybór modelu z najbardziej istotnym testem. Haining, Getis, Griffith oraz Tiefelsdorf zalecają odfiltrowanie zmiennych w celu uwolnienia od efektów przestrzennych a następnie estymację takiego modelu klasyczną metodą najmniejszych kwadratów. Z kolei Hedry proponuje przeprowadzenie pierwszej estymacji na bardzo ogólnym modelu z interakcjami przestrzennymi a następnie stopniową redukcję modelu na podstawie kryterium istotności.

Do porównywania modeli z efektami przestrzennymi z modelami oszacowanymi KMNK nie wykorzystuje się współczynnika determinacji (R^2) lecz kryteria informacyjne: Akaike [1974, 1981] (*Akaike Information Criterion, AIC*) lub bayesowskie (*Bayesian Information Criterion, BIC*) [Schwarz, 1978] oraz iloraz największej wiarygodności (*maximised log likelihood*). Najlepszym modelem jest taki, w którym AIC/BIC ma najniższą wartość a logLik najwyższą.

3.6. Charakterystyka Krzywej Kuznetsa

W 1955 roku Simon Kuznets amerykański ekonomista urodzony na Białorusi opublikował artykuł, w którym dowiódł występowania nieliniowej zależności pomiędzy zamożnością a nierównością dochodową. Na przykładzie trzech wysoko rozwiniętych krajów, USA, Niemiec i Wielkiej Brytanii udowodnił, iż początkowo zależność ta jest niewielka, jednak systematycznie rośnie, aż do osiągnięcia określonego poziomu zamożności, po przekroczeniu którego zaczyna maleć. Graficzna prezentacja tych interakcji jest zbliżona do kształtu odwróconej litery „U”. Za swoje badania nad wzrostem gospodarczym w 1971 roku Kuznets otrzymał Nagrodę Nobla.

Kilkadziesiąt lat później ekonomiści zauważyli, iż podobne relacje zachodzą między poziomem rozwoju gospodarczego a stopniem dewastacji środowiska. Jest to tzw. Środowiskowa Krzywa Kuznetsa (ang. *Environmental Kuznets Curve, EKC*). Pionierami w wykorzystaniu hipotezy EKC do badań ekologicznych byli analitycy Banku Światowego Grossman G.M. i Krueger A.M. [1991] oraz Selden T.M. i Song D. [1994]. Zgodnie z założeniami EKC w początkowych etapach wzrostu gospodarczego występuje

wzrost poziomu zanieczyszczeń, związany z eksploatacją środowiska, w celu tworzenia dobrobytu. Tendencja ta odwraca się po przekroczeniu pewnego poziomu dochodów (ang. Income Turning Point – ITP). Wówczas sytuacja się odmienia i zaczynają rosnać nakłady na ochronę środowiska [Jankowska, 2016, s. 54]. Niektórzy ekonomiści odnoszą się dość sceptycznie do hipotezy EKC. Wynika to z faktu, iż niekiedy wyciągany jest wniosek, że prowadzenie polityki ekologicznej jest zbyt kosztowne, gdyż ludzie sami zaczną dbać o środowisko gdy się wzbogacą. Wnioski takie byłyby jednakże nadmiernym uproszczeniem zależności zachodzącej między poszczególnymi czynnikami wywierającymi wpływ na środowisko.

Dostępność narzędzi obliczeniowych oraz rozwój metod statystycznych umożliwiają aktualnie prowadzenie zaawansowanych badań, które wcześniej były niemożliwe. Można analizować związek wszystkiego ze wszystkim. Również Środowiskowe Krzywe Kuznetsa doczekały się licznych wersji alternatywnych. Nie tylko bada się korelację wszystkich możliwych determinant degradacji środowiska z Produktem Krajowym Brutto *per capita* ale także zaczęto je wykorzystywać w innych naukach. Z biegiem lat założenia Środowiskowej Krzywej Kuznetsa zaczęły być wykorzystywane również w badaniach nad stanem bezpieczeństwa ruchu drogowego. Empirycy udowodnili, iż kraje słabo i średnio rozwinięte są najbardziej zagrożone wypadkami drogowymi.

W prowadzonych analizach opartych na hipotezie EKC niekiedy pojawia się problem interpretacji otrzymanych rezultatów. W wielu przypadkach wyniki wskazują, iż wyznaczony punkt zwrotny, po przekroczeniu którego następują spadki analizowanych zmiennych objaśnianych są tylko antycypowane, ale faktycznie jeszcze nie wystąpiły. Przydatność takich wyników do dalszej analizy może budzić uzasadnione wątpliwości, zwłaszcza jeśli aktualny poziom rozwoju gospodarczego znacznie odbiega od punktu zwrotnego otrzymanego w badaniu.

Do estymacji modeli ekonometrycznych opartych na hipotezie Środowiskowej Krzywej Kuznetsa stosowane są określone metody estymacji parametrów. Ponadto, funkcja musi być wielomianem drugiego stopnia. Początkowo rozwój gospodarczy ma negatywny wpływ na poziom bezpieczeństwa drogowego, gdyż prowadzi do zwiększonego zapotrzebowania na transport, dostępności coraz szybszych samochodów, większego tempa życia społeczeństwa. Po pewnym czasie społeczeństwo zaczyna jednak zauważać problem wysokiej śmiertelności w wyniku wypadków, co skłania do podejmowania działań prewencyjnych, prowadzenia kampanii społecznych, budowy

bezpieczniejszej infrastruktury drogowej zaprojektowanej w taki sposób, aby „wybaczała” ludzkie błędy. W efekcie, zostaje osiągnięty tzw. punkt zwrotny (ang. *Turning Point*, TP), od którego wzrost Produktu Krajowego Brutto przypadający na statystycznego mieszkańca implikować będzie poprawę bezpieczeństwa drogowego. Powyższe zależności można opisać wzorem:

$$lBRD_t = \alpha_0 + \alpha_1 lPKB \text{ per capita}_t + \alpha_2 l(PKB \text{ per capita})_t^2 + \sum_{i=1}^k lX_{i,t} + \varepsilon_t \quad (3.7.)$$

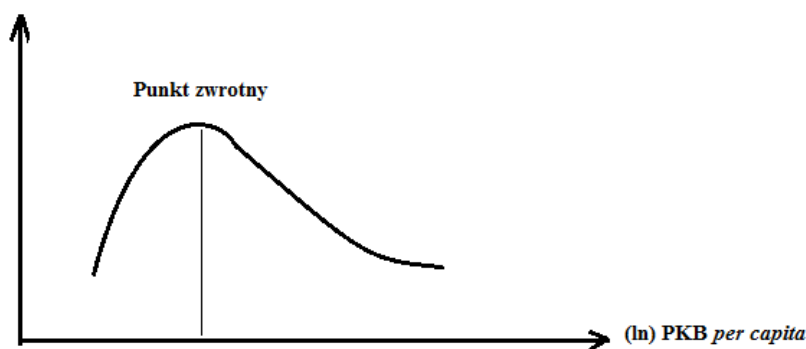
gdzie:

BRD_t – wskaźnik bezpieczeństwa ruchu drogowego w danym regionie w okresie t , $PKB \text{ per capita}$ – Produkt Krajowy Brutto przypadający na osobę w danym regionie w okresie t , $X_{i,t}$ – inne czynniki społeczne i gospodarcze mogące mieć wpływ na kształtowanie się BRD w danym regionie w okresie t , ε_t – składnik losowy, $\alpha_0 - \alpha_i$ – parametry strukturalne, l – logarytm naturalny.

Graficzne przedstawienie relacji między $PKB \text{ per capita}$ a poziomem bezpieczeństwa obrazuje rys. 3.3.

Rysunek 3.3. Środowiskowa Krzywa Kuznetsa

(ln) wskaźnik zagrożenia



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Stern D.I. 2004, s. 1419-1439.

Wartość punktu zwrotnego liczona jest według wzoru: $\exp\left(\frac{-\alpha_1}{2\alpha_2}\right)$, oznaczenia jak we wzorze 3.1.

Zależności między poziomem rozwoju gospodarczego a wskaźnikami zagrożenia przybierają kształt odwróconej litery „U”, gdy wyraz wolny i parametr stojący przy zmiennej podniesionej do kwadratu mają wartość ujemną. Ponadto, samo $PKB \text{ per capita}$ oraz zmienne odnoszące się do poziomu bezpieczeństwa zawsze są wartościami dodatnimi. Z kolei zlogarytmowanie obu stron równania umożliwia osiągnięcie lepszego

dopasowania do danych rzeczywistych, co zostało potwierdzone w badaniach empirycznych.

Za przyjęciem hipotezy EKC przemawiają również przesłanki ekonomiczne. Rozwój gospodarczy nieuchronnie prowadzi do wzrostu zapotrzebowania na transport, nie ma żadnej dziedziny gospodarki, która mogłaby funkcjonować bez jego mniejszego czy większego udziału. Jak podkreśla M. Mindur [2005] zależności między transportem a gospodarką mają charakter sprzężenia zwrotnego i pełnej, wzajemnej współzależności. Rozwój transportu jest *condicio sine qua non*¹⁶ rozwoju gospodarki, a z kolei rozwój gospodarki kreuje rozwój transportu. Rosnące zapotrzebowanie na transport wynika z realizowania potrzeb bytowych, kulturowych, społecznych, oświatowych, zawodowych, wymiany handlowej i konieczności przewozu towarów i usług. Zwiększony popyt na transport z biegiem czasu przedkłada się na powstawanie coraz większej liczby zdarzeń drogowych.

Wreszcie zostaje osiągnięty taki poziom rozwoju społeczno-gospodarczego, iż społeczeństwa nie są skłonne do akceptowania niskiego stanu BRD. Osoby, które uczestniczyły w wypadku drogowym, bądź których bliscy stracili życie lub zdrowie w wyniku zdarzenia drogowego a także bogatsze społeczeństwa wraz ze wzrostem dochodów są gotowe do ponoszenia opłaty w zamian za możliwość bezpiecznego poruszania się po drogach (ang. *Willingness to Pay, WTP*).¹⁷ Podejmowane są także działania ze strony władz państwowych i samorządowych oraz licznych instytucji ukierunkowane na wyeliminowanie ofiar śmiertelnych na skutek wypadków. Prowadzone są kampanie społeczne promujące bezpieczną jazdę, wdrażane coraz bezpieczniejsze rozwiązania w pojazdach, podejmowane inwestycje infrastrukturalne, tworzone akty prawne i strategie działań na rzecz BRD. Pozwala to na odwrócenie tendencji wzrostowej wskaźników zagrożenia i sukcesywne podnoszenie poziomu bezpieczeństwa wraz ze wzrostem zamożności regionu. Występuje tu prawidłowość, iż kraje rozwijające się szybciej wchodzą na ścieżkę zrównoważonego rozwoju transportu

¹⁶ *Condicio sine qua non* (łac.) – niezbędny, konieczny warunek.

¹⁷ Badania takie prowadzili m.in. przez M.M. Haddak, N. Havet, M. Lefèvre [2014], *Willingness-to-pay for road safety improvement*, GATE Groupe d'Analyse et de Théorie Économique Lyon St Étienne, WP 1406, Ecully; J. De Dios Ortúzar, L.L. Rizzi [2006], *Estimating the Willingness-to-pay for road safety improvement*, *Transport Reviews*, Vol. 26, No 4; M.M Haddak [2007], *Estimating the Willingness-to-pay for road safety improvement*, *Transportation Research Procedia* 14; Alberini, A., Chiabai A., *Urban environmental health and sensitive populations: How much are the Italians willing to pay to reduce their risks?*, *Regional Science and Urban Economics* 37.

dzięki temu, że mogą korzystać z doświadczeń krajów rozwiniętych, które zdążyły już wypracować pozytywne rozwiązania.

Nie zawsze jednak tendencja spadkowa liczby zdarzeń drogowych zostaje utrzymana w dłuższym horyzoncie czasowym. Zdarza się również tak, że na skutek intensywnego rozwoju gospodarczego zostaje osiągnięty tzw. drugi punkt zwrotny, po którym ponownie obserwuje się pogorszenie poziomu bezpieczeństwa. Ma to miejsce wtedy, gdy wzrost gospodarczy przyspiesza tak bardzo, iż podejmowane działania wspierające BRD nie są w stanie za nim nadążyć. Stale zwiększający się stopień zmotoryzowania społeczeństwa oraz potrzeb mobilności ludności przekłada się na większą liczbę wypadków i ofiar śmiertelnych. Mamy wtedy do czynienia z kubiczną formą EKC, co może być opisane wzorem:

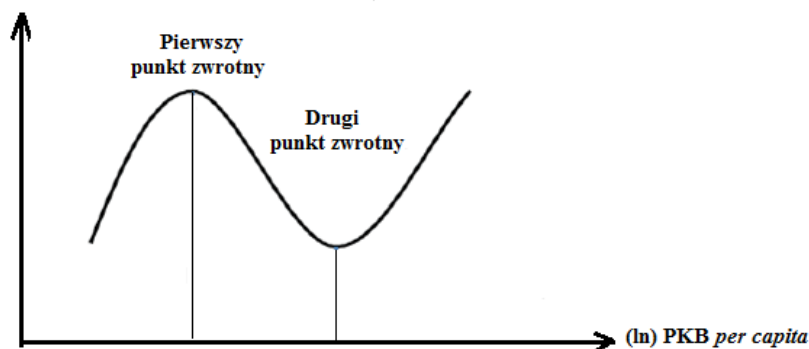
$$lBRD_t = \alpha_0 + \alpha_1 lPKB \text{ per capita}_t + \alpha_2 l(PKB \text{ per capita})_t^2 + \alpha_3 l(PKB \text{ per capita})_t^3 + \sum_{i=1}^k lX_{i,t} + \varepsilon_t \quad (3.8.)$$

gdzie: oznaczenia jak we wcześniejszym wzorze.

Postać graficzna powyższych zależności została przedstawiona na rys. 3.4.

Rysunek 3.4. Zmodyfikowana Środowiskowa Krzywa Kuznetsa

(ln) wskaźnik zagrożenia



Źródło: Opracowanie własne.

Dotychczas hipoteza Środowiskowej Krzywej Kuznetsa nie była wykorzystywana w badaniach dotyczących sytuacji bezpieczeństwa drogowego w Polsce. Dlatego wyniki uzyskane w niniejszej rozprawie stanowią wsparcie dla działań ukierunkowanych na poprawę BRD oraz uzupełnią zbiory publikacji z tej dziedziny.

Przykładowe badania prowadzone na arenie międzynarodowej zostaną przedstawione w dalszej części dysertacji.

3.7. Modele panelowe

Współczesne potrzeby poznawcze wymuszają konieczność prowadzenia badań na wielu płaszczyznach. Takie możliwości stwarzają modele panelowe, które pozwalają na połączenie w jednym badaniu wymiaru czasowego i przekrojowego. Ich konstrukcja opiera się na założeniu o niezmienności parametrów stojących przy zmiennych objaśniających względem obiektów i czasu. Heterogeniczność obiektów lub zróżnicowanie modelowanego zjawiska w czasie uwzględnia się w tego typu modelach poprzez zróżnicowanie względem obiektów (i/lub czasu) składnika losowego albo, w zależności od założeń, wyrazu wolnego [Dańska-Borsiak, 2011].

Budowa modelu opiera się na założeniu, iż występowanie heterogeniczności jest uwarunkowane przez pominięcie w modelu zmiennych mogących mieć istotny wpływ na kształtowanie się estymowanego zjawiska. Ich wpływ może być specyficzny dla poszczególnych obiektów i stały w czasie bądź stały w czasie, lecz ulegający zmianom w obiektach. Zakłada się, iż łączne oddziaływanie czynników nie uwzględnionych w modelu jest istotne, w przeciwieństwie do ich wpływu indywidualnego. Ponadto, efekty te są zawarte w składniku losowym i nie są skorelowane ze zmiennymi egzogenicznymi [Weszcak, 2016, s. 15].

Do estymacji modeli panelowych stosowane są metody oparte na klasycznej lub uogólnionej metodzie najmniejszych kwadratów (KMNK lub UMNK). Statyczny model z efektami grupowymi można opisać wzorem:

$$y_{it} = x_{it}^T \beta + (\alpha_i + \varepsilon_{it}), \quad (3.9.)$$

gdzie:

i – numer obiektu np. regionu, przedsiębiorstwa ($i=1$),

t – numer okresu;

$x_{it}^T = [x_{1it}, \dots, x_{kit}]$ wektor zmiennych objaśniających,

$\beta = [\beta_1, \dots, \beta_k]^T$ wektor parametrów strukturalnych,

$u_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}$ składnik losowy składający się z właściwej dla danego obiektu stałej

w czasie części zwanej efektem grupowym (α_i) oraz właściwego składnika losowego (ε_{it}),

Efekty grupowe mogą wynikać ze zróżnicowania wyrazu wolnego względem obiektów bądź stanowić część składową składnika losowego. Do estymacji tych pierwszych służą modele z dekompozycją wyrazu wolnego zwane także modelami z efektami stałymi, nielosowymi, ustalonymi, (ang. *fixed effect models*, FEM). Modele te przybierają następującą postać:

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it}^T \beta + \varepsilon_{it}, \quad (3.10)$$

Wyraz wolny α_i , który jest zróżnicowany w poszczególnych obiektach, odnosi się do nieobserwowalnego oraz nieuwzględnionego w równaniu regresji efektu właściwego dla i -tego obiektu. Z kolei we wszystkich okresach t i obiektach obserwuje się jednakowe parametry stojące przy zmiennych egzogenicznych. Efekty zmian zmiennych niezależnych x_{it} są zatem identyczne we wszystkich okresach t i dla wszystkich obiektów, jednak przeciętny poziom zjawiska może być zróżnicowany dla różnych obiektów.

Drugą grupą modeli są modele z dekompozycją składnika losowego znane także pod nazwą modeli z efektami losowymi (ang. *random effect models*, REM). Można je wyrazić wzorem:

$$y_{it} = \alpha + x_{it}^T \beta + (\alpha_i + \varepsilon_{it}) = \alpha + x_{it}^T \beta + u_{it}, \quad (3.11)$$

Konstrukcja modeli REM opiera się na założeniu, iż składnik losowy u_{it} składa się ze stałego w czasie efektu grupowego α_i oraz ze zmiennego w czasie i po obiektach tzw. właściwego składnika losowego ε_{it} . Oba te elementy są niezależne zarówno od zmiennych x_{it} jak i od siebie wzajemnie.

Wybór pomiędzy modelami FEM i REM dokonywany się zwykle na podstawie testu zaproponowanego przez J. A. Hausmana. Na jego podstawie weryfikowana jest hipoteza zerowa, zgodnie z którą (...) estymator UMNK jest zgodny i najefektywniejszy.

Z drugiej strony, estymator wewnątrzgrupowy $\hat{\beta}_w$ jest zgodny niezależnie od tego, czy H_0 jest prawdziwa, czy też nie, ponieważ wszystkie stałe w czasie efekty są

wyeliminowane z modelu. Zatem możemy skonstruować $q = \hat{\beta}_w - \hat{\beta}_{UMNK}$, dla którego

$V(q) = V(\hat{\beta}_w) - V(\hat{\beta}_{UMNK})$. Wynika z tego możliwość zastosowania $m = \hat{q}'[\hat{V}(\hat{q})]^{-1}\hat{q}$

jako statystyki, która przy prawdziwości H_0 ma rozkład χ^2 z k stopniami swobody, gdzie k określa wymiar β [Maddala, 2008, s. 649].

3.8. Analiza skupień

Analiza skupień (ang. *cluster analysis*) jest jedną z metod wielowymiarowej analizy porównawczej (WAP), służących wyodrębnieniu jednorodnych podzbiorów obiektów badanego zjawiska. Jej celem jest opis zjawisk społeczno-ekonomicznych poprzez porównanie obiektów pod względem wielu cech diagnostycznych,¹⁸ jednakże bez uwzględnienia zmiennych objaśnianych. Metody te są stosowane do charakterystyki zjawisk złożonych jak np. jakość życia (opisywana m.in. wielkością dochodów, dostępem do opieki zdrowotnej, szkolnictwa, stopą bezrobocia), rynek pracy¹⁹ oraz bezpieczeństwo w ruchu drogowym, które jest tematem niniejszej dysertacji.

Podział zbioru obiektów na rozłączne podzbiory może być przeprowadzony dopiero po uprzednim określeniu charakteru zmiennych, normalizacji zmiennych, określeniu odległości pomiędzy badanymi jednostkami, zbudowaniu macierzy odległości, stanowiącej podstawę tworzenia skupień i wyborze metody grupowania.

Podstawowym założeniem dotyczącym podziału jest homogeniczność obiektów wchodzących w skład jednej grupy oraz heterogeniczność przestrzenna samych grup – oznacza to, że wektory stanowiące jedną grupę powinny być bardziej podobne do siebie niż do wektorów pochodzących z pozostałych grup [Suchecka, 2014, s. 136]. W wyniku takiego grupowania powstaje macierz, której elementy b_{ik} oznaczają stopień przynależności do klastru. Wartość 1 oznacza całkowitą przynależność, zaś 0 całkowity brak przynależności.

Analizy skupień umożliwiają m.in. dokonywanie uogólnień, wyodrębnianie podstawowych cech badanych obiektów, porównywanie obiektów wielocechowych oraz zredukowanie liczby danych pierwotnych do kilku zasadniczych kategorii, co ułatwia prowadzenie analizy.

Można wyróżnić:

¹⁸ Liczba cech diagnostycznych powinna być większa od dwóch.

¹⁹ Identyfikację różnicowania struktury pracujących w państwie członkowskim UE przy zastosowaniu analizy skupień przeprowadziła Sobczak E. [2013].

- **hierarchiczne metody grupowania**, które łączą obiekty w coraz mniejsze lub coraz większe skupienia w sposób hierarchiczny (iteracyjny), w zależności od odległości między nimi,

- **niehierarchiczne metody grupowania**, które polegają na przesuwaniu obiektów między skupieniami w celu odnalezienia klastru najlepszego pod względem przyjętego kryterium.

Ogólny schemat hierarchicznej analizy skupień przedstawia się następująco:

1. Przeprowadzenie weryfikacji czy wszystkie zmiennebrane pod uwagę są wskaźnikami natężenia.
2. Określenie charakteru zmiennych diagnostycznych, które mogą być:
 - **stymulantami** – czyli zmiennymi, których wysokie wartości są korzystne i pożądane z punktu widzenia diagnozowanego zjawiska,
 - **destymulantami** - czyli zmiennymi, których wysokie wartości nie są korzystne i nie są pożądane z punktu widzenia diagnozowanego zjawiska,
 - **nominantami** – czyli zmiennymi, których wszelkie odchylenia od poziomu normlanego są niepożądane.

Częstą praktyką w badaniach taksonomicznych jest ujednoczenie charakteru zmiennych diagnostycznych przez przekształcenie destymulant i nominant w stymulanty lub odwrotnie (postulat jednolitej preferencji) [Suchecki, 2010, s. 57].

3. Zdiagnozowanie czy zmienne odznaczają się zmiennością na poziomie przekraczającym graniczne 10%.
4. Sprawdzenie czy zmienne nie są z sobą za bardzo skorelowane.
5. Dokonanie normalizacji zmiennych. Konstrukcja syntetycznej miary rozwoju wymaga doprowadzenia wartości zmiennych do wzajemnej porównywalności. Oznacza to pozbawienie jednostek ich miana oraz ujednoczenie charakteru oddziaływania zmiennych na badane zjawisko złożone [Malina A., 2008, s. 12]. W wyniku normalizacji otrzymuje się macierz zero-jedynkową. Najczęściej stosowanymi sposobami normalizacji są:

Standaryzacja:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}, (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m) \quad (3.12.)$$

gdzie:

\bar{x}_j - średnia arytmetyczna; s_j – odchylenie standardowe zmiennej X_j .

Unitaryzacja:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - a}{\max_i \{x_{ij}\} - \min_i \{x_{ij}\}}, \quad (3.13)$$

gdzie: a – pewna stała mogąca przyjmować wartości: $a=0$, $a = \bar{x}_j$, $a = \min\{x_{ij}\}$.

6. Ustalenie stopnia podobieństwa obiektów, które wyrażane jest za pomocą odległości, będących funkcją obu rozważanych obiektów. Większa odległość $d(o_i, o_j)$ oznacza większy stopień ich zróżnicowania. Najczęściej wykorzystywanymi miarami są:

Odległość euklidesowa, będąca odległością w przestrzeni wielowymiarowej:

$$d(o_i, o_k) = \left[\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_{ik})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.14.)$$

gdzie:

x_{ik}, x_{jk} – wartości znormalizowanej k -tej zmiennej dla obiektów o_i oraz o_j .

Odległość miejska (*Hamminga, city-block, Manhattan distance*) będąca sumą odległości odcinków mierzonych wzdłuż osi wymiarów:

$$d(o_i, o_k) = \sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}|, \quad (3.15.)$$

Odległość Czebyszewa, zgodnie z którą dwa obiekty uznawane są za różne, gdy nie są jednakowe w jednym dowolnym wymiarze:

$$d(o_i, o_k) = \max_i |x_{ik} - x_{jk}|, \quad (3.15.)$$

7. Grupowanie zmiennych, do czego najczęściej stosuje się metody aglomeracyjne. Przyjmuje się w nich założenie, że każda jednostka zbioru (każdy obiekt, np. region czy województwo) stanowi odrębną klasę. Następnie klasy te łączy się stopniowo w sposób sekwencyjny w coraz większe grupy. W efekcie uzyskuje się hierarchiczny system skupień rozłączny na każdym z poziomów. Proces kwalifikacji kończy się w momencie uzyskania jednej grupy, zawierającej wszystkie badane obiekty [Malina, 2004].

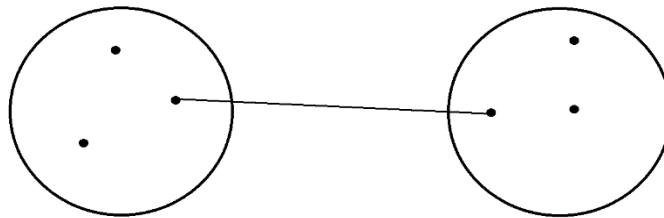
Zasady kwalifikowania obiektów do poszczególnych skupień określają metody taksonomii numerycznej, wśród których można wyróżnić metody hierarchiczne i optymalizacyjno-iteracyjne. Algorytm aglomeracyjny jest szybki i uniwersalny,

ponieważ może być stosowany do danych ilościowych oraz jakościowych. Należy jednak podkreślić jego wrażliwość na rodzaj wybranej miary podobieństwa oraz metody wiązania skupień [Suchecka, 2014, s. 144].

Podstawowymi metodami hierarchicznymi są:

- **Metoda najbliższego sąsiada** (*ang. single linkage method*), zwana również **metodą pojedynczego wiązania**, która polega na tym, iż odległość między dwoma skupieniami wyznaczana jest przez odległość między dwoma najbliższymi sąsiadami (obiektami) należącymi do różnych skupień. W efekcie prowadzi to do tworzenia się wydłużonych skupień.

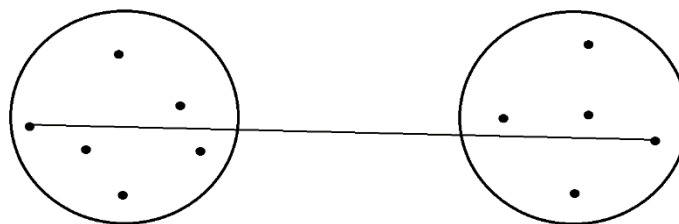
Rysunek 3.5. Odległości międzygrupowe w metodzie najbliższego sąsiada



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Ostasiewicz W., 1999 s. 91.

- **Metoda najdalszego sąsiada** (*ang. complete linkage method*), zwana również **metodą pełnego wiązania** będąca przeciwieństwem metody pojedynczego wiązania. W metodzie tej odległość pomiędzy skupieniami określana jest na podstawie największej odległości między dwoma sąsiadami (obiektami) należącymi do różnych skupień.

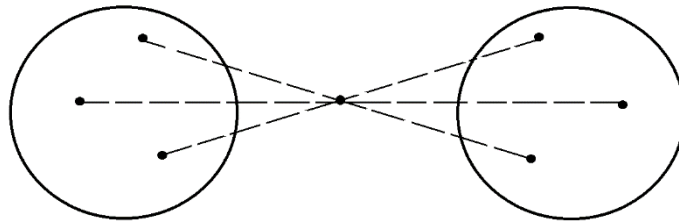
Rysunek 3.6. Odległości międzygrupowe w metodzie najdalszego sąsiada



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Walesiak M., Gatnar E., 2009, s. 414.

- **Metoda minimalnych wariacji Warda**, w której odległość między skupieniami obliczana jest jako moduł różnicy między sumami kwadratów odległości punktów od środków grup, do których te punkty należą. Jest to najczęściej wykorzystywana metoda w badaniach ekonomicznych.

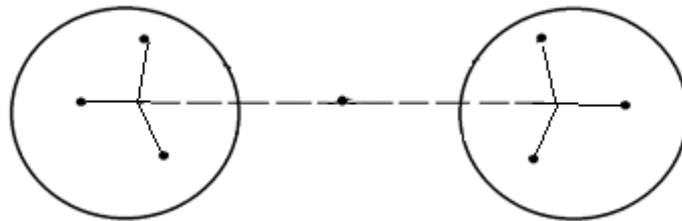
Rysunek 3.7. Odległości międzygrupowe w metodzie Warda



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Balicki A., 2009, s. 276–279.

- **Metoda środków ciężkości** (*centroid method, unweighted pair-group centroid*), w której odległość między skupieniami określana jest różnicą między środkami ciężkości. Środkiem ciężkości skupienia jest zaś średni punkt w przestrzeni wielowymiarowej zdefiniowanej przez te wymiary.

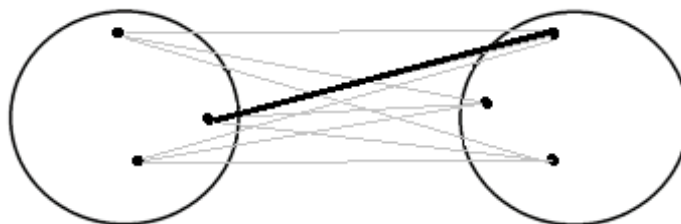
Rysunek 3.8. Odległości międzygrupowe w metodzie środków ciężkości



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Ostasiewicz W., 1999, s. 91.

- **Metoda mediany** (*weighted pair-group centroid*), która stanowi pewną modyfikację poprzedniej metody. Różnica polega na tym, iż w metodzie mediany stosuje się wagi, umożliwiające uwzględnienie różnic między wielkościami skupień.

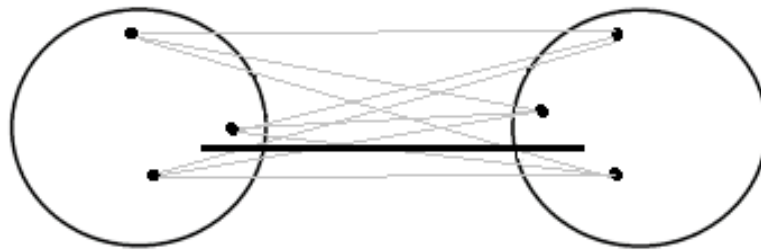
Rysunek 3.9. Odległości międzygrupowe w metodzie mediany



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Ostasiewicz W., 1999, s. 91.

- **Metoda średnich wiązań** (*unweighted group average method*), w której odległość między skupieniami determinowana jest średnią odległością między wszystkimi parami obiektów wchodzących w skład dwóch różnych skupień.

Rysunek 3.10. Odległości międzygrupowe w metodzie średnich wiązań



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Ostasiewicz W., 1999, s. 91.

Najczęściej spotykaną formą prezentacji wyników grupowania hierarchicznego jest **dendrogram** (zwany również dendrytem), graficzny zapis w postaci drzewa binarnego. Skupienia są na nim przedstawione jako węzły zaś obiekty odpowiadają liściom. Wybór metody łączenia skupień przekłada się na rezultaty grupowania. Analizując poszczególne elementy odcina się te ramiona dendrytu, które znajdują się powyżej arbitralnie ustalonej wartości progowej. Połączenia najbliższej określonej wartości, ale nie przekraczające jej, wyznaczają szukane skupienia optymalne [Młodak, 2006, s. 72].

Dendryt pozwala uzyskać informacje o:

- kolejności łączenia obiektów,
- skupieniach, które były łączone w n -tym grupowaniu,
- liczebności i składzie poszczególnych grup,
- w zależności od wybranej odległości, dendryt daje możliwość ustalenia dowolnej liczby grup.

Z kolei najczęściej stosowane metody optymalizacyjno-iteracyjne to:

- **Metoda k-średnich**, w której tworzy się z góry określoną liczbę k możliwie jak najbardziej różniących się od siebie skupień. Odległość między skupieniami oblicza się minimalizując błąd kwadratowy dla wyodrębnionych klastrów. Jest to najczęściej stosowana metoda grupowania obiektów.

- **Metoda rozmytych średnich** (*fuzzy C-Means*), która umożliwia przypisanie jednego obiektu do różnych klas (grup) z odpowiednimi dla nich stopniami przynależności. Metoda opiera się na założeniu (...) minimalizacji odległości kolejnego elementu zbioru danych od centrum danego klastra, przy czym adaptacji podlegają: centrum oraz funkcja rozmyta danego klastra [Kamiński, Pawlak, 2011, s. 200 – 210].

3.8. Podsumowanie

Ocena rzeczywistego poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz zależności zachodzących pomiędzy poszczególnymi determinantami jest niezbędna do diagnozy i prognozowania efektywności działań podejmowanych na rzecz jego poprawy. Wymaga to stosowania odpowiednich technik i metod badawczych. Podstawowym narzędziem wykorzystywanym do analiz zjawisk społeczno-ekonomicznych jest model ekonometryczny przedstawiający stochastyczne relacje zachodzące między podstawowymi zmiennymi charakteryzującymi analizowane zjawisko. W literaturze przedmiotu można znaleźć dużą wybór modeli. Ich celem jest opis mechanizmu kształtowania się wskaźników zagrożenia oraz poszukiwanie optymalnej postaci funkcyjnej, tendencji rozwojowej, dynamiki w czasie. Prowadząc badania nad zagadnieniem bezpieczeństwa w ruchu drogowym należy mieć również na uwadze, iż jego poziom determinowany jest także przez interakcje zachodzące pomiędzy poszczególnymi regionami. Podsumowując, zjawiska kształtujące poziom BRD podlegają nie tylko zmianom w czasie ale także w przestrzeni.

W niniejszej pracy wykorzystane zostały klasyczne i przestrzenne metody z dziedziny ekonometrii i statystyki. Wyniki przeprowadzonych analiz zostaną zaprezentowane w rozdziale czwartym.

ROZDZIAŁ 4

REZULTATY MODELOWANIA EKONOMETRYCZNEGO

4.1. Wprowadzenie

Zagadnienia związane z bezpieczeństwem ruchu drogowego od lat stanowią przedmiot wielu badań i analiz. Problem przyciąga zainteresowanie specjalistów z różnorodnych dziedzin nauki, takich jak m.in.: ekonomiści, lekarze, transportowcy, socjologowie, psychologowie, matematycy, drogowcy, co pozwala przekonać się zarówno o randze jak i stopniu złożoności zagadnienia. Autorzy podejmują się prób wytypowania społecznych i ekonomicznych czynników wywierających największy wpływ na liczbę wypadków komunikacyjnych i liczbę ofiar śmiertelnych na skutek tych wypadków. Złożoność zagadnienia nieuchronnie prowadzi do wielotorowego podejścia do problemu. Dodatkowe utrudnienie w badaniach stanowi fakt, iż na poziom BRD wpływ mają nie tylko czynniki deterministyczne ale również losowe czy atmosferyczne. Ponadto większość tych czynników ulega zmianom w czasie, co czyni zjawisko zagrożenia w ruchu drogowym jeszcze bardziej skomplikowanym [Szczuraszek, 2009, s. 9]. Ich zmiany w czasie mogą mieć charakter:

- **systematycznych zmian**, które mogą być wynikiem np. nieustannego zwiększania się natężenia ruchu, wprowadzania bezpiecznych rozwiązań w pojazdach przekładających się na zmniejszenie ciężkości wypadków bądź stopniowej zmiany zachowania kierowców z powodu większego egzekwowania prawa, prowadzonych kampanii społecznych,

- **cyklicznych zmian**, które zachodzą na skutek np. zmian pór roku, miesięcy, dnia co znajduje odzwierciedlenie w zmianach natężenia ruchu, różnych warunkach pogodowych, odmiennej widoczności,

- **przypadkowych zmian**, które związane są z krótkotrwałymi zdarzeniami jak np. zdarzeniami występującymi na sieci drogowej, chwilowymi zmianami organizacji ruchu drogowego na skutek prowadzonych remontów lub przebudowy sieci drogowej,

- **nagłych zmian**, będących następstwem np. zmiany przepisów ruchu drogowego, rozbudowy sieci drogowej co przyczynia się do rozładowania natężenia ruchu, poprawy jakości sieci drogowej.

4.2. Przegląd międzynarodowych badań z zakresu bezpieczeństwa ruchu drogowego

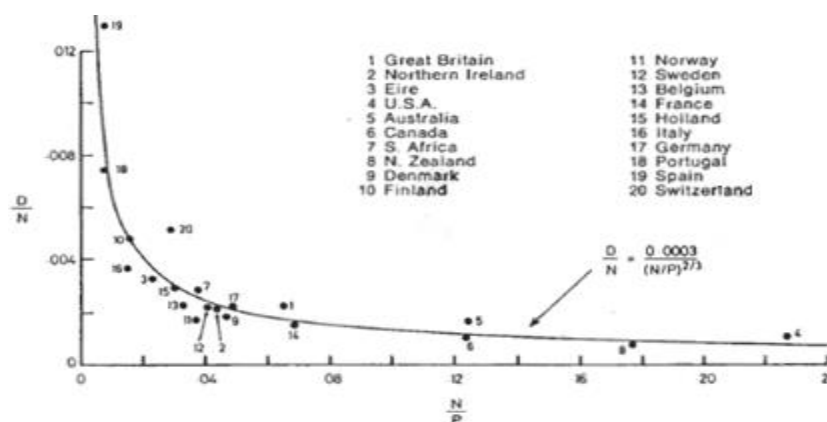
Pierwsze prace nad zagadnieniem BRD zostały podjęte przez R.J. Smeeda, który w 1949 roku opublikował badanie przeprowadzone na danych liczbowych z 1938 roku zebranych z 20 krajów. W zaproponowanym przez niego makromodelu badane były zależności zachodzące między liczbą ofiar śmiertelnych a liczbą mieszkańców oraz liczbą pojazdów zarejestrowanych w danym regionie, co opisują wzory:

$$D/N = 0,0003(N/P)^{-0,67}, \quad (4.1)$$

$$D = 0,0003(N \cdot P^2)^{0,333}, \quad (4.2)$$

gdzie: **D** – liczba osób, które w danym roku poniosły śmierć w następstwie wypadku drogowego (w tys.); **N** – liczba pojazdów zarejestrowanych w danym roku w analizowanym regionie (w tys.); **P** – liczba mieszkańców danego regionu (w tys.).

Rysunek 4.1. Zależności między liczbą ofiar śmiertelnych przypadających na 10 000 zarejestrowanych pojazdów a liczbą pojazdów przypadającą na 1 000 mieszkańców danego regionu w 1938 roku



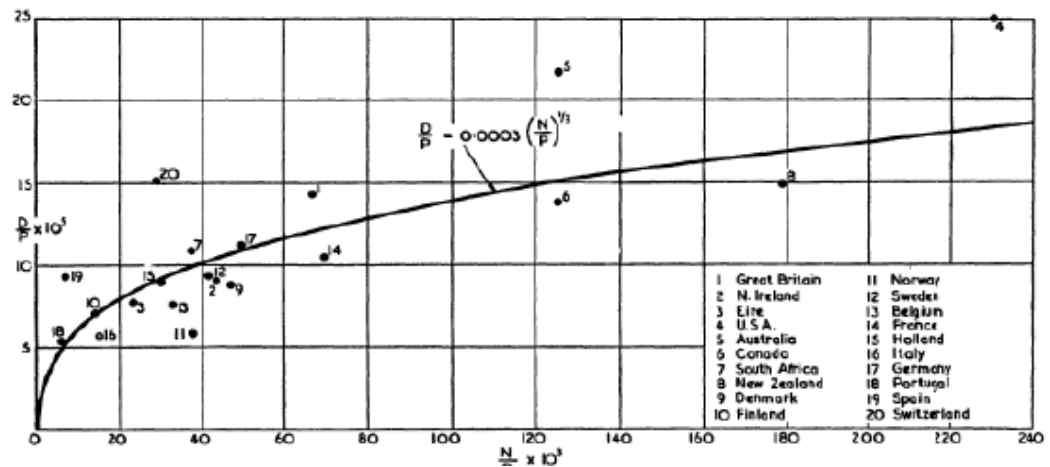
Źródło: Smeed R.J., 1949.

Smeed opiera się na założeniu, iż zwiększenie liczby pojazdów poruszających się po drogach przekłada się na zmniejszenie liczby ofiar śmiertelnych przypadających na pojazd (rys. 4.1).

Zwiększenie stopnia zmotoryzowania mieszkańców analizowanego regionu zgodnie z formułą Smeeda (4.3.) nieuchronnie prowadzi do wzrostu liczby zabitych w wypadkach na 1 000 mieszkańców (rys. 4.2.).

$$D/P = 0,0003(N/P)^{0,333}, \quad (4.3)$$

Rysunek 4.2. Zależności między liczbą ofiar śmiertelnych a liczbą pojazdów przypadającą na 1 000 mieszkańców danego regionu w 1938 roku



Źródło: Smeed R.J., 1949.

Formuły przedstawione przez Smeeda spotkały się z zarzutami, iż po obu stronach równania występuje zmienna w postaci liczby zarejestrowanych pojazdów. Dodatkowo, model dotyczy danych tylko dla jednego roku. D. Andreassen [1985 oraz 1991] wskazał, iż ze względu na odmienne warunki społeczno-gospodarcze charakteryzujące poszczególne regiony model zaproponowany przez Smeeda nie znajduje uniwersalnego zastosowania w przypadku wszystkich krajów. Niezbędne jest wprowadzenie zróżnicowanych współczynników i wykładników potęgi (M_1 , M_2), które poprawnie oddadzą rzeczywistość analizowanego kraju. Zaproponował formułę, która miała zapewnić większą uniwersalność zastosowania modelu:

$$D = const * (N)^{M_1} * (P)^{M_2}, \quad (4.4.)$$

W następnych latach powyższe modele były wykorzystywane na szeroką skalę. Przykładowo C. Koren i A. Borsos [2010] podjęli próbę weryfikacji formuły Smeeda opierając się na danych dla 139 państw z 2007 roku. Na podstawie wielkości PKB *per capita*, stopnia zmotoryzowania mieszkańców oraz śmiertelności w wyniku wypadków w odniesieniu do liczby mieszkańców dokonali grupowania krajów w klastry o podobnych uwarunkowaniach społeczno-gospodarczych. Ostatecznie wyodrębniono 6 klastrów o podobnych wartościach oraz siódmy zawierający państwa, których nie udało się przypisać do żadnej z grup. Przeprowadzone badanie wykazało, iż formuła Smeeda sprawdza się w przypadku państw, w których współczynnik zmotoryzowania nie przekracza 0,2 – 0,3 pojazdów na statystycznego mieszkańca. Dla regionów o wyższym

współczynniku okazuje się jednakże, iż otrzymane wyniki są nadmiernie pesymistyczne. Analiza przeprowadzona w ramach poszczególnych klastrów umożliwiła potwierdzenie założenia, iż państwa o podobnym poziomie rozwoju gospodarczego powinny stosować zbliżone strategie BRD w celu ograniczenia poziomu wypadkowości drogowej.

E.S.C. Sharmin, R. Ashiqur, S.H. Quazi oraz A.A. Syed [2015] wykorzystali formuły Smeeda i Andreassena do estymacji modelu bezpieczeństwa dla jednej z większych metropolii Bangladeshu, Khulny. Badanie dotyczyło lat 2000 – 2010. Autorzy policzyli niezależne modele dla wypadków drogowych oraz zabitych i rannych w wyniku zdarzeń komunikacyjnych. Otrzymane wyniki wykazały, iż modele estymowane na podstawie formuły zaproponowanej przez Andreassena nie przeszły weryfikacji poprawności merytorycznej, zaś otrzymany współczynnik determinacji był bardzo niski. Z kolei w modelach opartych na formule Smeeda wystąpiła dość duża rozbieżność między wartościami teoretycznymi otrzymanymi w modelu a danymi rzeczywistymi. Osiągnięte wyniki skłoniły autorów do zastosowania nowego modelu, który został opisany wzorem:

$$A/N = \beta_0 + \beta_1 / (N/P), \quad (4.5)$$

gdzie:

A/N – liczba wypadków na 1 000 zarejestrowanych pojazdów; N/P – liczba zarejestrowanych pojazdów przypadająca na 1 000 mieszkańców; β_0 i β_1 – parametry modelu.

Również to podejście nie dało w pełni satysfakcjonujących wyników ze względu na dość wysokie reszty modelu. Przyczyny tego stanu rzeczy autorzy upatrywali w brakach w bazach danych prowadzonych przez komisariaty policji.

I.M. Abdalla [2014] dla odmiany poszukiwał najlepszej postaci modelu do estymacji i prognozy poziomu bezpieczeństwa dla Zjednoczonych Emiratów Arabskich. Weryfikował 5 modeli czasowych, które można opisać wzorami:

Tablica 4.1. Zestawienie modeli z wzorami wykorzystanymi przez I. M. Abdalla w modelowaniu BRD w Zjednoczonych Emiratach Arabskich

nr	model	wzór
4.6.	nieliniowy model Smeeda	$F/V = \alpha(N/P)^\beta + \varepsilon,$
4.7.	logarytmicznie transformowany model Smeeda	$\log(F_t/V_t) = \alpha + \beta \log(V_t/P_t) + \varepsilon_t,$
4.8.	model autoregresyjny AR	$(F/V)_t = \varphi (F/V)_{t-1} + \alpha (V/P)_t^\beta - \varphi \alpha (V/P)_{t-1}^\beta + \varepsilon_t,$
4.9.	logarytmicznie transformowany model autoregresyjny AR	$\log(F/V)_t = \varphi \log(F/V)_{t-1} + (1 - \varphi)\alpha + \beta \log(V/P)_t - \varphi \beta \log(V/P)_{t-1} + \varepsilon_t,$
4.10.	negative exponential model	$\log((F/V)_t) = \alpha + \beta t + \beta \log((F/V)_{t-1}),$

Źródło: Abdalla I. M., 2014, s. 82 – 84.

gdzie:

F – liczba ofiar śmiertelnych, **V** – liczba pojazdów.

Otrzymane wyniki wskazały, iż dwa pierwsze modele nie przeszły weryfikacji merytorycznej, zaś trzy pozostałe mogą być z powodzeniem stosowane do modelowania BRD. Podobne rezultaty otrzymali G. Yannis, C. Antoniou oraz E. Papadimitriou [2011], którzy przeprowadzili badanie dla krajów UE w latach 1970 – 2002.

Z kolei badania przeprowadzone przez R.V. Ponnaluri’ego [2012] oraz R.B. Vijaya [2013] wykazały poprawność formuły Smeeda do szacowania poziomu bezpieczeństwa w Indiach. Do podobnych wniosków doszedł P.P. Valli [2004], który ocenił, iż zarówno propozycja Smeeda jak i Andreassena może zostać wykorzystana do szacowania liczby wypadków komunikacyjnych, ofiar śmiertelnych oraz rannych w metropoliach indyjskich. Parametry modelu zaproponowane w oryginalnych formułach muszą jednakże zostać dostosowane do warunków panujących w poszczególnych miastach.

Na modelach tych oparli się także A.P. Akgüngör i E. Doğan [2009], którzy ponadto wykorzystali sztuczne sieci neuronowe (ANN – ang. *artificial neural network*) do modelowania bezpieczeństwa w trzech dużych metropoliach tureckich, Ankarze, Istambule i Izmirze, w latach 1986 – 2005. Przeprowadzona analiza wykazała, iż najlepsze oszacowanie uzyskano przy pomocy ANN. Dla odmiany B. Agyemang, G.K. Abledu i R. Semevoh [2013] do estymacji liczby wypadków drogowych w Ghanie

zastosowali zwykły model liniowy z jedną zmienną niezależną, za którą przyjęli wielkość populacji.

Kolejną interesującą pozycją w literaturze przedmiotu jest opracowanie J. Al-Matawaha i K. Jadaana [2009], w którym autorzy testują przydatność formuły Smeeda do modelowania wypadkowości w krajach rozwijających się. Badanie przeprowadzone na danych dla Emiratów Arabskich, Jordanii oraz Kataru w latach 1990 – 2004 wykazało, iż formuła Smeeda nie może być zastosowana w oryginalnej formie, gdyż modele nie spełniają wymogów stabilności i homogeniczności. Zdecydowanie lepsze oszacowanie uzyskano przekształcając wzór do postaci:

$$\ln(D) = \ln c + a \ln N + b \ln P , \quad (4.11.)$$

gdzie:

a, b, c – to parametry równania.

W kolejnym kroku badania autorzy, podążając śladem P. McCullagha i J.A. Nelder [1983], zaproponowali wykorzystanie Uogólnionych Modeli Liniowych (GLM – ang. *Generalized Linear Model*). W badaniu poszukiwano czynników mających największy wpływ na poziom bezpieczeństwa w Kuwejcie w ciągu ostatnich 10 lat. Otrzymane wyniki potwierdziły hipotezę o dodatniej korelacji zachodzącej między poziomem wypadkowości a młodym wiekiem kierowców, jazdą z nadmierną prędkością, agresywnym zachowaniem kierujących pojazdami. Śmiertelność w wyniku wypadków maleje z kolei wraz ze wzrostem długości posiadania uprawnień do prowadzenia pojazdu. Dodatkowo mniej wypadków występuje z udziałem osób pozostających w związkach małżeńskich, nie będących mieszkańcami Kuwejtu oraz przeświadczonych o efektywnym egzekwowaniu przepisów prawa.

Z kolei M.J. Koornstra [1997] na przykładzie 35 krajów latynoamerykańskich i basenu morza karaibskiego skoncentrował się na zbadaniu zależności zachodzących między poziomem śmiertelności a wielkością ruchu drogowego mierzoną liczbą pojazdów (bez motocykli). Krzywa Gomperta została uznana za funkcję najlepiej obrazującą rzeczywistość. Prognoza wykazała, iż jeśli kraje te nie podejmą w porę działań ukierunkowanych na poprawę bezpieczeństwa drogowego, w kolejnych 20 latach może zginąć niemalże 2 miliony osób.

Dla odmiany A. Borsos [2012] podjął się wyznaczenia długoterminowych trendów dla 26 krajów, dla których udało się pozyskać wystarczająco długie szeregi

czasowe obejmujące okres od 1965 do 2009 roku. Do estymacji wykorzystano następujący wzór:

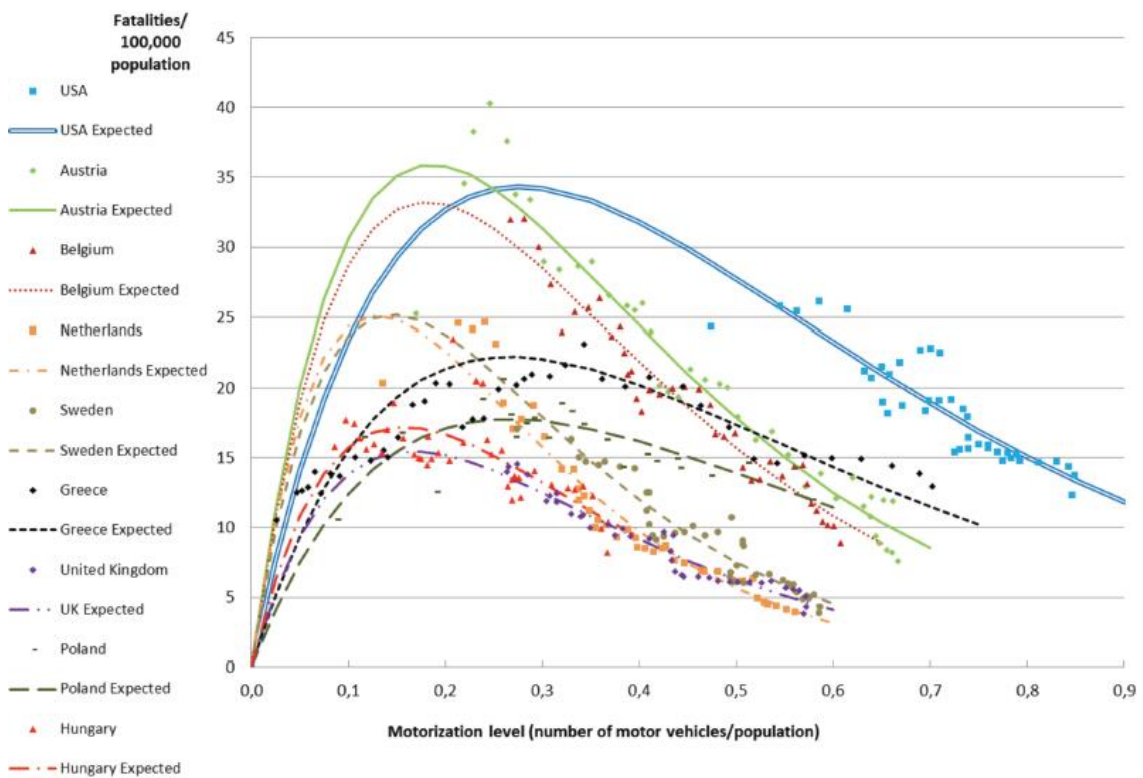
$$D/P = a * N/P * e^{-b*N/P}, \quad (4.12.)$$

gdzie:

D, N, P – oznaczenia jak w powyższych wzorach; **a, b** – parametry modelu.

Analiza przeprowadzona na poziomie poszczególnych państw wykazała, iż powyższa formuła poprawnie oddaje rzeczywistość w większości krajów (rys. 4.3.). Kształt krzywej ulega zmianom w czasie, najpierw obserwuje się wzrost śmiertelności a po przekroczeniu określonego poziomu zmotoryzowania społeczeństwa, następuje spadek. W niektórych krajach pozytywne tendencje występują wcześniej, w innych zaś potrzeba więcej czasu by osiągnąć oczekiwany punkt przełamania na krzywej.

Rysunek 4.3. Krzywe korelacji wskaźnika śmiertelności oraz stopnia zmotoryzowania w wybranych krajach



Źródło: Borsos A., 2012, s. 6.

Przy systematycznym wzroście liczby pojazdów przypadającej na przeciętnego mieszkańca przyczyn poprawy poziomu bezpieczeństwa należy upatrywać w stale wdrażanych udoskonaleniach w zakresie bezpieczeństwa infrastruktury i pojazdów,

większej świadomości uczestników ruchu drogowego, większych umiejętnościach kierowców dzięki właściwym szkoleniom i wzroście doświadczenia.

Ponadto, szybszy przepływ informacji między poszczególnymi krajami umożliwia szybsze korzystanie z pozytywnych doświadczeń wypracowanych przez liderów bezpieczeństwa, dzięki czemu dysproporcje w poziomie BRD w poszczególnych regionach ulegają systematycznemu zmniejszeniu.

Otrzymane wyniki stanowiły podwalinę do pogłębienia analizy trendów zachodzących w kształtowaniu się poziomu bezpieczeństwa. C. Koren i A. Borsos [2012] podjęli się próby odpowiedzi na pytanie czy państwa, które do Unii Europejskiej wstąpiły dopiero po 2004 roku osiągają korzyści z bycia tzw. „nowymi członkami”. Niższy poziom rozwoju gospodarczego tych krajów przyczynił się do osiągnięcia wskaźnika zmotoryzowania mieszkańców na poziomie 0,2 pojazdu *per capita* o 15 – 25 lat później niż w porównaniu do wieloletnich członków UE. Punkt, po przekroczeniu którego śmiertelność w wypadkach zaczyna maleć został jednakże osiągnięty z opóźnieniem tylko 5 – 10 letnim. Dowodzi to, iż nowe kraje skorzystały z doświadczeń państw o wyższym poziomie rozwoju gospodarczego. Kontynuację badań autorów stanowi opracowanie z 2013 roku, w którym autorzy udowodnili nieliniowy charakter zależności zachodzących między natężeniem ruchu a stanem BRD w krajach europejskich, Ameryce Północnej, Australii oraz krajach azjatyckich.

Ciekawą propozycję badania przedstawił JI. Castillo-Manzano [2014], który potwierdził, iż państwa dłużej należące do UE odznaczają się niższym wskaźnikiem śmiertelności w następstwie wypadków komunikacyjnych (załącznik 1). W pierwszym kroku badania autor wykorzystał metodę MNK, a następnie zastosował dwuczynnikowy model panelowy z efektami stałymi (ang. *two-way fixed effects model*) dla 27 państw członkowskich Unii Europejskiej w latach 2000 – 2009. Wyniki badania potwierdziły, iż wskaźnik śmiertelności ulega zmniejszeniu wraz ze zwiększeniem wskaźnika zmotoryzowania mieszkańców, gęstości sieci drogowej, okresu przynależności do Unii Europejskiej a także dzięki prowadzonej polityce wspierającej BRD. Z kolei zwiększenie śmiertelności w wyniku wypadków następować będzie wraz ze wzrostem udziału osób powyżej 60 roku życia w całej populacji a także wraz ze wzrostem liczby przejechanych kilometrów. Ponadto, autor badał korelację między wskaźnikiem śmiertelności a PKB *per capita*, udziałem osób z wykształceniem średnim oraz udziałem osób młodych (miedzy 20 – 34 rokiem życia) w ogóle populacji, jednakże zmienne te okazały się nie mieć istotnego wpływu na analizowany wskaźnik. Wprowadzone zostały również dwie

zmienne sztuczne: zmienna przyjmująca wartość 1 dla krajów, w których dopuszczalne stężenie alkoholu we krwi nie może przekraczać 1 promila oraz zmienna o wartości 1 dla państw stosujących system punktów karnych dla kierowców.

Ważnym wkładem w modelowanie bezpieczeństwa w ruchu drogowym jest badanie E. Kopits i M. Cropper [2003] zrealizowane na zlecenie Banku Światowego. Autorki wykorzystały Środowiskową Krzywą Kuznetsa do próby odpowiedzi na pytanie czy stan bezpieczeństwa w ruchu drogowym jest determinowany przez poziom rozwoju gospodarczego badanego regionu. Celem było wyznaczenie poziomu dochodu *per capita*, po przekroczeniu którego wskaźnik śmiertelności zaczyna maleć oraz sporządzenie prognozy do 2020 roku. Analiza została przeprowadzona za pomocą modeli panelowych z dekompozycją wyrazu wolnego FEM (ang. *fixed effect models*) na danych zebranych z 88 krajów w latach 1963 – 1999. W badaniu zastosowano cztery podejścia do wyznaczenia linii trendu: liniową i logarytmiczną linię trendu wspólną dla wszystkich krajów a także regionalne trendy liniowe i logarytmiczne. Ogólne postaci modelu można opisać wzorami:

$$\ln(F / P)_{it} = a_i + G(t) + b \ln Y_{it} + c(\ln Y_{it})^2 + \varepsilon_{it}, \quad (4.13.)$$

$$\ln(F / P)_{it} = a_i + G(t) + b \ln Y_{it} + \sum_s [c_s D_s (\ln Y_{it} - \ln Y_s)] + \varepsilon_{it}, \quad (4.14.)$$

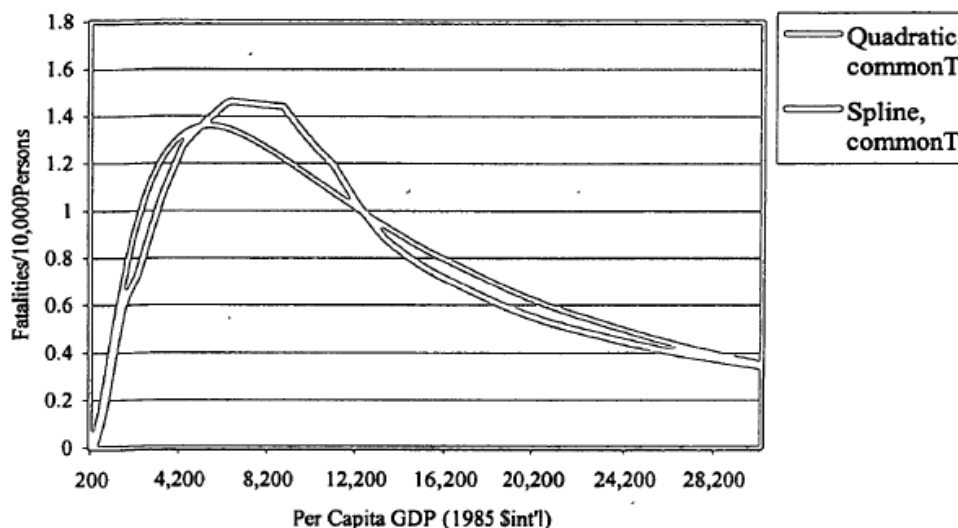
gdzie:

F/P – liczba ofiar śmiertelnych na 10 000 osób; **Y** – realny Produkt Krajowy Brutto *per capita* (w cenach z 1985 roku); **a_i** – efekt grupowy; **D** – zmienne sztuczne przybierające wartość 1, gdy Y_s należy do kategorii dochodu $s+1$ oraz Y_s , dla grupy dochodu pomiędzy s i $s+1$. Kraje zostały podzielone na 10 grup dochodowych; ε_{it} – składnik losowy.

Otrzymane wyniki potwierdziły hipotezę o wpływie dochodu *per capita* na wskaźnik śmiertelności na skutek wypadków komunikacyjnych, który początkowo rośnie wraz ze wzrostem dochodu a następnie, po przekroczeniu pewnego poziomu dochodu, zaczyna spadać (rys. 4.4.). Autorki prognozują 66% wzrost wskaźnika śmiertelności do 2020 roku w stosunku do 2000 roku. Zróżnicowanie przestrzenne omawianego wskaźnika ma być jednakże bardzo duże w zależności od stopnia bogactwa przypadającego na statystycznego mieszkańca. W kolejnych latach sytuacja ma się poprawić w krajach wysoko rozwiniętych, w których spadek śmiertelności w następstwie wypadków drogowych ma wynieść średnio 28%. Z kolei kraje rozwijające się nadal będą

borykać się z niskim poziomem bezpieczeństwa. Przykładowo w Chinach należy oczekiwać 92% wzrostu śmiertelności a w Indiach aż 147%.

Rysunek 4.4. Korelacja zachodząca między poziomem dochodu per capita a wskaźnikiem śmiertelności w wypadkach drogowych



Źródło: Kopits E., Cropper M., 2003, s. 16.

Podobną prawidłowość wykazał także M.J. Koornstra [2007], który potwierdził hipotezę o występowaniu zależności między wskaźnikiem śmiertelności a przeciętną liczbą pojazdów przypadającą na mieszkańca regionu. Przeprowadzona analiza jednoznacznie wskazuje, iż im wcześniej mieszkańcy danego kraju osiągną odpowiedni współczynnik motoryzacji (liczbę pojazdów przypadającą na statystycznego mieszkańca), tym szybciej i tym większy będzie spadek wskaźnika śmiertelności w następstwie wypadków drogowych. Dzieje się tak, gdyż kraje rozwijające się czerpią z doświadczeń i rozwiązań wypracowanych przez kraje znajdujące się na wyższym poziomie rozwoju gospodarczego. Zwiększenie stopnia zmotoryzowania jest z kolei determinowane przez wzrost dochodu *per capita*.

Na Krzywej Kuzneta oparli się także N. Anbarci, M. Escaleras i C. Register [2006], którzy uzupełnili model o dodatkowe zmienne społeczne i ekonomiczne: indeks percepcji korupcji CPI (ang. *Corruption Perception Index*)²⁰, wskaźnik analfabetyzmu

²⁰ U podstaw przyjęcia CTI jako jednego z determinant poziomu bezpieczeństwa leży przeświadczenie, iż w krajach dotkniętych korupcją można otrzymać prawo jazdy bądź przejść okresowe badanie stanu technicznego pojazdu z zamianą za łapówkę, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu wypadkowości. Również możliwość przekupienia funkcjonariusza policji nie skłania kierowców do przestrzegania obowiązujących przepisów ruchu drogowego. Wnioski takie płyną z licznych publikacji przytoczonych przez N. Anbarci, M. Escaleras, C. Register, *Traffic fatalities ...*, op. cit., s. 330.

(jako miernik poziomu wykształcenia)²¹, wskaźnik śmiertelności (jako miernik dostępności do opieki medycznej)²², wskaźnik zmotoryzowania mieszkańców (bez motocykli), udział ludzi młodych (między 15 a 24 rokiem życia) oraz ludzi starszych (powyżej 65 roku życia) w ogólnej populacji. Badanie zostało przeprowadzone na latach 1982 – 2000 dla 77 państw, z czego 23 to państwa afrykańskie, 26 europejskie, 16 azjatyckie a 12 to państwa z obu Ameryk. Ogólną postać zaproponowanego modelu można zapisać wzorem:

$$DEATHS_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 CORRUPT_{it} + \alpha_2 GDPPC_{it} + \alpha_3 GDPPC_{it}^2 + \alpha_4 X_{it} + \alpha_5 V_{it} + \gamma_t + \gamma_i + \varepsilon_{it}, \quad (4.15.)$$

gdzie:

DEATHS – liczba osób, które poniosły śmierć w wyniku wypadków drogowych w roku t i regionie i ; **CORRUPT** – indeks percepcji korupcji w sektorze publicznym w roku t i regionie i ; **GDPPC** – Produkt Krajowy Brutto *per capita* w roku t i regionie i ; **X_{ij}** – wektor pozostałych zmiennych odzwierciedlających stopień rozwoju regionu i w roku t ; **V_{it}** – wektor zmiennych społeczno-demograficznych regionu i w roku t ; γ_t, γ_i – przestrzenne i grupowe efekty składnika losowego; ε_{it} – składnik losowy.

Do oszacowania danych zastosowane zostały modele regresji ujemnej dwumianowej z dwuczynnikowymi efektami stałymi (ang. *two-way fixed effects Negative Binomial*) oraz uogólnionej metody najmniejszych kwadratów z efektami stałymi (ang. *fixed effects Generalized Least Squares models*). Uzyskane wyniki potwierdziły, iż zależność między poziomem śmiertelności w wypadkach drogowych oraz dochodu przypadającego na mieszkańca przybiera kształt odwróconej litery „U” zgodnie z hipotezą Krzywej Kuzneta. Do zmniejszenia stopnia bezpieczeństwa przyczyniają się również występujące w kraju zachowania korupcyjne. Pozostałe czynniki społeczno-demograficzne wytypowane przez autorów badania jako mające istotne znaczenie w kształtowaniu się poziomu BRD okazały się istotne statystycznie i zgodnie z oczekiwaniami negatywnie wpływają na poziom analizowanego zjawiska.

Kolejne obszerne badanie z wykorzystaniem Środowiskowej Krzywej Kuzneta przeprowadzili także M. Grimm i C. Treibich [2010]. Celem modelowania było

²¹ Osoby lepiej wykształcone są bardziej świadome zagrożeń jakie związane są z poruszaniem się po drogach a przez to wykazują się bardziej rozważnym działaniem; źródło: WHO, *World development indicators*, Washington D.C 2012.

²² Kraje charakteryzujące się większą dostępnością do opieki medycznej są lepiej przygotowane do udzielania pierwszej pomocy ofiarom wypadków drogowych; źródło: WHO, *World development indicators*, Washington D.C 2012.

wyznaczenie determinant bezpieczeństwa ruchu drogowego w krajach średnio i słabo rozwiniętych z całego świata. Autorzy podkreślają jednak trudności w modelowaniu ze względu na luki w danych liczbowych oraz odmienną definicję ofiary śmiertelnej obowiązującej w poszczególnych krajach.²³ W przeprowadzonym badaniu nie dokonano jednak korekty w celu ujednoczenia danych. Ogólną postać zaproponowanego modelu opisuje wzór:

$$\ln(\text{fatalities}_i) = \beta_0 + X_i'\beta_1 + \beta_2 \ln \text{GNI}_i + \beta_3 (\ln \text{GNI}_i)^2 + \text{Region}'_i \beta_4 + \varepsilon_i \quad (4.16.)$$

gdzie:

fatalities_i – liczba ofiar śmiertelnych na 100 000 mieszkańców; **GNI_i** – dochód narodowy *per capita* wyrażony parytetem siły nabywczej (PPP); **Region'_i** – zmienne odnoszące się do specyfiki danego regionu; **X'_i** – macierz zmiennych społeczno-ekonomicznych. Szczegółowe zestawienie zmiennych zawarto w tablicy 4.2.

Tablica 4.2. Zestawienie zmiennych endogenicznych wraz z określeniem oczekiwanego kierunku oddziaływania na analizowany wskaźnik śmiertelności

Zmienne szczegółowe	Oczekiwany kierunek oddziaływania na wsk. śmiertelności
dochód narodowy <i>per capita</i>	(-/+) w zależności od stopnia rozwoju kraju między zmiennymi zależnymi a dochodem <i>per capita</i> może zachodzić dodatnia bądź ujemna korelacja;
oczekiwana długość życia	(-) przyjmuje się, iż osoby, które spodziewają się dłuższego życia nie są chętne do podejmowania ryzykownego zachowania i narażania się na przedwczesną śmierć w wypadku drogowym;
wskaźnik analfabetyzmu jako wyznacznik poziomu wykształcenia	(+) zakłada się, iż część wypadków wynika z nieznajomości bądź niezrozumienia przepisów ruchu drogowego;
gęstość zaludnienia wskaźnik zurbanizowania	(-/+) z jednej strony zwiększenie gęstości zaludnienia oraz wskaźnika zurbanizowania oznacza większą liczbę użytkowników dróg, co z kolei przekłada się na wzrost śmiertelności. Z drugiej jednakże strony wzrost kongestii wymusza ograniczenie prędkości jazdy, co z kolei przekłada się na mniejszą ciężkość wypadków;
udział osób młodych w ogóle populacji	(+) zgodnie ze statystykami osoby młode, zwłaszcza młodzi mężczyźni, są bardziej skłonne do podejmowania ryzykownych działań doprowadzając tym samym do zwiększenia wypadkowości;
udział dróg utwardzonych w ogóle sieci drogowej długość sieci drogowej w km	(-) oczekuje się, iż rozbudowa sieci drogowej będzie podnosić poziom bezpieczeństwa. Jest to jednak możliwe tylko gdy jej jakość jest na odpowiednim poziomie;

²³ Niektóre kraje za śmierć w wyniku wypadku drogowego uznają jedynie zgon na miejscu wypadku, zaś inne rozciągają ten okres do 7 dni od daty zdarzenia, a jeszcze inne do 30 dni.

liczba pojazdów na 1 000 mieszkańców liczba pojazdów na km drogi	(+) przyjmuje się, iż zwiększenie stopnia zmotoryzowania prowadzi do wzrostu śmiertelności, jednakże zależność ta może mieć charakter nieliniowy. Wysoka liczba zgonów może skłaniać np. do wprowadzania bezpiecznych rozwiązań w nowych pojazdach;
liczba pielęgniarek liczba lekarzy liczba łóżek szpitalnych jako wyznaczniki poziomu opieki zdrowotnej	(-) lepsza opieka zdrowotna przekłada się na zmniejszenie ciężkości wypadków;
palenie papierosów nadużywanie alkoholu	(+) traktowane są jako skłonność do ryzykownego zachowania, co implikuje zwiększenie śmiertelności;
zapiwanie pasów bezpieczeństwa	(-) korzystanie z pasów bezpieczeństwa niewątpliwie powinno zmniejszać wsk. śmiertelności;
stopień przestrzegania przepisów prawa indeks postrzegania korupcji	(-) oczekuje się, iż społeczeństwo, które wierzy w sprawnie funkcjonujący aparat państwowy i egzekwowanie kar jest mniej skłonne do łamania przepisów, co przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa na drogach.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Grimm M., Treibich C., 2010.

Do estymacji wykorzystano modele panelowe FEM i REM. Badanie zostało przeprowadzone na danych z lat 1980 – 2007, przy czym estymacji poddano osobno cztery próby badawcze, które wydzielono ze względu na możliwości pozyskania danych liczbowych. Pierwsza zawiera kraje, dla których dostępne są dane dotyczące wielkości produktu narodowego *per capita* (łącznie 166 państw z całego świata). Druga próba w liczbie 122, to kraje dla których dostępna jest większość danych i których liczba mieszkańców przekracza 1 milion. Trzecia to kraje z grupy drugiej, które dodatkowo prowadzą rzetelne statystyki dotyczące wypadków drogowych i ich ofiar. W ramach tej grupy wytypowano 70 krajów. Do czwartej próby z kolei zaliczono 28 państw OECD. Warto zauważyć, iż w grupie drugiej znalazły się państwa o niskim, średnim i wysokim stopniu rozwoju gospodarczego zaś w trzeciej są tylko państwa o średnim i wysokim poziomie bogactwa.

Uzyskane wyniki uwidocznily, iż poszczególne czynniki mogą różnie oddziaływać na wskaźnik śmiertelności w zależności od stopnia rozwoju gospodarczego. Nadużywanie alkoholu ma znacznie większe konsekwencje w krajach bogatszych, co może wynikać z faktu, iż jest on tam relatywnie tańszy a tym samym bardziej dostępny dla dużej grupy społecznej. Do tego dochodzą jeszcze przekonania religijne. Przykładowo muzułmanie mają narzucone restrykcje dotyczące konsumpcji napojów alkoholowych. Badanie potwierdziło także, iż zależność między poziomem śmiertelności a produktem narodowym *per capita*, zgodnie ze Środowiskową Krzywą Kuzneta, przybiera kształt odwróconej litery „U” w krajach zamożnych.

Do podobnych wyników doszli także T.H. Law, R.B. Noland i A.W. Evans [2010]. Autorzy pracowali na szeregu czasowym obejmującym lata 1972 – 2004 i dotyczącym 60 państw z całego świata. Otrzymane wyniki (załącznik 2) potwierdziły, iż zarówno w krajach wysoko rozwiniętych jak i rozwijających się w pierwszym etapie wzrostu dochodu *per capita* następuje pogorszenie poziomu bezpieczeństwa w ruchu drogowym, by następnie po osiągnięciu określonego punktu zwrotnego zacząć się poprawiać. Ponadto, zmniejszenie korupcji oraz podwyższenie poziomu opieki medycznej i poziomu techniki ma się przekładać na ograniczenie wskaźnika śmiertelności w wyniku wypadków drogowych.

Z kolei S. Nishitateno i P.J. Burke [2014] wykorzystali hipotezę EKC do przedstawienia relacji zachodzących między liczbą motocykli *per capita* a poziomem bogactwa kraju. Badanie zostało przeprowadzone dla 153 krajów na danych obejmujących lata 1963 – 2010. Autorzy zaproponowali wzór:

$$\ln M_{c,t} = \alpha_1 \ln Y_{c,t} + \alpha_2 (\ln Y_{c,t})^2 + \alpha_3 \ln P_{c,t} + \delta_c + \omega_t + \varepsilon_{c,t} \quad (4.17)$$

gdzie:

c i t – odnoszą się odpowiednio do kraju i roku, M – udział motorów w ogóle pojazdów, Y – Produkt Krajowy Brutto *per capita* wyrażony parytetem siły nabywczej, P – gęstość zaludnienia, ε - składnik losowy.

Otrzymane wyniki (załącznik 3) potwierdziły hipotezę, iż w początkowym okresie analizowany wskaźnik zmotoryzowania rośnie wraz ze wzrostem dochodu przypadającego na statystycznego mieszkańca regionu, a następnie zaczyna spadać. Dodatkowo można zauważyć, iż Krzywa Kuznetsa jest zdecydowanie bardziej wyraźna w krajach o większej gęstości zaludnienia. W następnym kroku analizy autorzy udowodnili występowanie jednokierunkowej korelacji między liczbą jednośladów i wskaźnikiem śmiertelności na skutek wypadków drogowych. Estymacji zostały poddane równania wyrażone wzorami:

$$\ln F_{c,t} = \eta X_{c,t} + \delta_c + \omega_t + \varepsilon_{c,t} \quad (4.18.)$$

$$F_{c,t} = \theta_1 M_{c,t} + \theta_2 C_{c,t} + \theta_3 B_{c,t} + \theta_4 T_{c,t} + \eta X_{c,t} + \delta_c + \omega_t + \varepsilon_{c,t} \quad (4.19.)$$

gdzie:

F – roczna liczba ofiar śmiertelnych na 100 000 ludności, C – liczba pojazdów osobowych przypadających 1000 osób, B – liczba pojazdów autobusowych przypadających 1000 osób, T – liczba pojazdów ciężarowych przypadających 1000 osób,

X – pozostałe zmienne społeczno-gospodarcze, m.in. długość sieci drogowej, gęstość zaludnienia, PKB *per capita*, udział osób młodych (15-24 lata) w populacji, udział dróg utwardzonych w ogóle sieci drogowej, konsumpcja alkoholu, współczynnik śmiertelności niemowląt, współczynnik urbanizacji, zmienne odnoszące się do poziomu opieki medycznej, udziały alternatywnych środków transportu w ogóle taboru transportowego.

Wyniki wskazują (załącznik 4), iż omawiany wskaźnik śmiertelności, zgodnie z założeniami EKC początkowo rośnie wraz ze wzrostem stopnia bogacenia się społeczeństwa a następnie zaczyna maleć. Dlatego też kraje o niższym poziomie rozwoju gospodarczego powinny niezwłocznie podjąć działania ukierunkowane na poprawę BRD oraz korzystać z pozytywnych doświadczeń państw bardziej rozwiniętych, dzięki czemu szybciej osiągną punkt zwrotny.

Sytuację gospodarczą jako główną determinantę poziomu bezpieczeństwa wykorzystała również K.R. Greenawalt [2006]. Autorka przeprowadziła badanie dla wszystkich stanów USA opierając się na danych z lat 1999 – 2003. Za wyznacznik BRD została uznana liczba ofiar śmiertelnych na 1 mln przejechanych mil (FR_i). Z kolei sytuację gospodarczą charakteryzują dwa czynniki: dochód *per capita* (INC_i) oraz stopa bezrobocia (UR_i). Oczekuje się, dodatniej korelacji między śmiertelnością a drugim z tych czynników. Zwiększenie bezrobocia powoduje, iż mniej osób przemieszcza się do pracy, a zatem zmniejsza się natężenie ruchu na drogach. Niektórzy autorzy, np. A. Wagenaar [1984] spodziewają się jednak wystąpienia odwrotnej korelacji, co tłumaczone jest dodatkowym stresem kierowców wywołanym brakiem zatrudnienia.

Zaproponowany przez Greenawalt model można opisać za pomocą wzoru:

$$FR_i = \beta_0 + \beta_1 INC_i + \beta_2 UR_i + \sum_{j=5}^n \beta_{ji} X_{ji} + \varepsilon_i, \quad (4.20.)$$

gdzie:

$\sum_{j=5}^n \beta_{ji} X_{ji}$ – macierz zmiennych społeczno-ekonomicznych, którymi są: przeciętne spożycie alkoholu, udział kierowców poniżej 19 roku życia w ogóle

kierowców, stopień dodatkowych restrykcji prawnych dla młodych kierowców²⁴, obowiązujące ograniczenia prędkości, temperatura²⁵.

Otrzymane wyniki potwierdziły występowanie ujemnej korelacji między wskaźnikiem śmiertelności a poziomem bogactwa oraz warunkami atmosferycznymi występującymi w danym stanie. Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi m.in. przez R. Koshala [1976], T. Zlatopera [1987] oraz [1991] wyższa temperatura pogarsza komfort jazdy kierowców, spowalnia tempo reakcji, potęguje frustrację i agresję. Również wzrost konsumpcji alkoholu, szybsza jazda, większa liczba nastoletnich kierowców oraz niższe restrykcje dla nich determinować będą wzrost śmiertelności.

Próby wyznaczenia determinant poziomu bezpieczeństwa podjęli się również H.B. Stapleton, K. Woo oraz M.H. Kim [2008]. Badanie zostało przeprowadzone na danych regionalnych USA z lat 1994 – 2005 przy wykorzystaniu modeli panelowych z efektami stałymi FEM. Ogólną postać modelu można zapisać za pomocą wzoru:

$$\begin{aligned} \ln \mathbf{Fatality}_t = & \beta_0 + \beta_1 \ln \mathbf{SafetyBelt}_t + \beta_2 \ln \mathbf{Driver}_t + \beta_3 \ln \mathbf{Male}/\mathbf{Female}_t + \\ & + \beta_4 \ln \mathbf{Vehicle}/\mathbf{Road}_t + \beta_5 \ln \mathbf{VMT}_t + \beta_6 \mathbf{Speed}_t + \\ & + \beta_7 \mathbf{Fine}_t + \sum \Phi T_t + \varepsilon_t, \end{aligned} \quad (4.21.)$$

gdzie:

Fatality – liczba ofiar śmiertelnych wypadków; **Safetybelt** – wskaźnik użycia pasów bezpieczeństwa; **Driver** – udział kierowców w populacji; **Male/Female** – wskaźnik liczby kierowców płci męskiej do płci żeńskiej; **Vehicle** – liczba zarejestrowanych pojazdów; **Road** – długość sieci drogowej; **VMT** – roczna wielkość przejazdów (mierzona w milach); **Speed** – zmienna sztuczna przyjmująca wartość 1 w przypadku przekroczenia dozwolonej prędkości; **Fine** – zmienna sztuczna przyjmująca wartość 1 w sytuacji, gdy grzywna nie przekracza 26,6\$.

Otrzymane wyniki (załącznik 5) potwierdzają hipotezę o wpływie prawie wszystkich powyższych zmiennych na liczbę ofiar śmiertelnych w wypadkach. Co

²⁴ Zastosowano czterostopniową ocenę stosowanych w analizowanym stanie restrykcji: 1 oznacza brak dodatkowych restrykcji, zaś 4 ich bardzo wysoki poziom. Do oceny stopnia restrykcyjności uwzględnia się: wymogi związane z minimalnym wiekiem umożliwiającym otrzymanie prawa jazdy, długością okresu, na jaki wydawane jest warunkowe prawo jazdy, ograniczenia dotyczące jazdy w godzinach nocnych, przewożenia pasażerów, długość obowiązywania powyższych restrykcji.

²⁵ Zmienna została policzona jako średnia liczba dni w roku, w których korzysta się z urządzeń chłodzących pomniejszona o liczbę dni w okresie grzewczym. Wyższa wartość tego wskaźnika, oznacza zatem przewagę dni chłodnych.

zastanawiające, stosowanie pasów bezpieczeństwa okazało się być bez znaczenia dla liczby zabitych. Wątpliwości może budzić też fakt, iż w świetle otrzymanych wyników zwiększenie stosunku kierowców płci męskiej do żeńskiej implikować będzie poprawę bezpieczeństwa. Jest to tym bardziej zastanawiające, że zgodnie ze statystykami, mężczyźni ponoszą odpowiedzialność za większą liczbę zarówno wypadków drogowych jak i ich ofiar (śmiertelnych i rannych) niż kobiety.

Aspekt przestrzenny do badań dodali m.in. J. Hong, S. Lee, J. Lim. oraz J. Kim [2013], którzy modelowali poziom bezpieczeństwa w Seulu w 2010 roku. Wyniki potwierdziły większą przydatność modeli uwzględniających wymiar przestrzenny SAR i SEM niż modeli klasycznych. Podobne badania prowadzili także W.R. Black [1992], N. Lebine [1995], S.H. Park [2010].

4.3. Przegląd polskiej literatury z zakresu bezpieczeństwa ruchu drogowego

Na arenie krajowej badania nad zagadnieniem bezpieczeństwa drogowego były prowadzone między innymi przez K. Jamroza [2011], który opracował metodę szacowania ryzyka w ruchu drogowym. Jej podstawą jest powiązanie zmian poszczególnych czynników i miar ryzyka ze zmianami poziomu rozwoju społecznego kraju, będącego głównym wyznacznikiem funkcjonowania systemu transportu drogowego. Otrzymane wyniki stanowią potwierdzenie występowania powiązań między poszczególnymi miarami ryzyka osobowego (definiowanymi jako osoby, które ucierpiały w następstwie wypadków drogowych) i ryzyka ekonomicznego (definiowanego jako koszty wypadków drogowych) a szerokim spektrum zmiennych demograficznych, geograficznych, infrastrukturalnych, motoryzacyjnych, ekonomicznych, społecznych oraz mobilnościowych. Trzy ostatnie grupy okazały się być głównymi determinantami poziomu ryzyka. Ponadto, autor przedstawił metodę ROAD-RISK dla społecznego ryzyka strategicznego na przykładzie Polski oraz wybranych krajów.

Inne podejście do badania bezpieczeństwa ruchu drogowego zaproponowali J. Wachnicka i L. Smolarek [2013], którzy przeprowadzili wielopoziomą analizę stochastyczną przedstawiając kombinację modeli regionalnych z modelami o zasięgu krajowym. Zastosowanie takiego rozwiązania wynikało z faktu, iż część danych jest dostępna jedynie w ujęciu globalnym. Ogólną postać modelu można opisać wzorem:

$$FATALR = \alpha * MODEL_{NATIONAL}^{\beta_1} * MODEL_{REGIONAL}^{\beta_2} * NPPC_{NATIONAL}^{\beta_3} \quad (4.22)$$

gdzie:

FATAL – wskaźnik demograficzny wyrażony jako liczba śmiertelnych ofiar wypadków drogowych przypadająca na 100 000 mieszkańców danego regionu; **MODEL_{NATIONAL}** – model dla danych na poziomie narodowym; **MODEL_{REGIONAL}** – model dla danych na poziomie regionalnym; **NPPC_{NATIONAL}** – model opisujący zmiany przeciętnego produktu narodowego *per capita*; $\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ – estymowane parametry.

Za regionalne czynniki determinujące poziom BRD przyjęto: gęstość zaludnienia, produkt narodowy *per capita*, liczbę kilometrów dróg przypadającą na mieszkańca danego regionu, udział pojazdów osobowych w ogóle pojazdów oraz wskaźnik bezrobocia. Z kolei za globalne czynniki uznano indeks percepcji korupcji oraz udział starych pojazdów osobowych (przekraczających 10 lat) w całej flocie pojazdów. Zgodnie z oczekiwaniami wyższy wiek pojazdów stanowi zagrożenie na drogach zaś ograniczenie korupcji podniesie bezpieczeństwo na drogach.

Nawiązując do formuły Smeeda, A. Rogowski [2013] przeprowadził analizę wrażliwości modeli na zmiany wartości zmiennych objaśniających i parametrów modelu dla danych z lat 2000 – 2011. Oszacowaniu zostały poddane trzy niezależne modele:

$$L_s = 1,0000 * V^{-0,6657} * P^{1,1278}, \quad (4.23)$$

$$L_r = 1,0000 * V^{-0,5864} * P^{1,1925}, \quad (4.24)$$

$$L_w = 1,0000 * V^{-0,5812} * P^{1,1743}, \quad (4.25)$$

gdzie:

V – liczba zarejestrowanych pojazdów silnikowych w Polsce; **P** – liczba ludności Polski, **L_s** – liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych; **L_r** – liczba rannych w wypadkach drogowych; **L_w** – liczba wypadków drogowych.

Uzyskane wyniki wskazały na bardzo duże wrażliwości na zmiany parametrów modelu oraz niewielką wrażliwość modeli na zmiany wartości zmiennych objaśniających. Powodu należy upatrywać w uproszczonej postaci modelu z tylko dwoma zmiennymi egzogenicznymi.

Ciekawą pozycją w literaturze przedmiotu stanowi opracowanie K. Jamroza i L. Michalskiego [2013], którzy udowodnili, iż redukcja śmiertelności w następstwie wypadków komunikacyjnych będzie możliwa dzięki dalszemu rozwojowi społeczno-ekonomicznemu oraz wprowadzeniu najbardziej skutecznych, spośród kilku badanych,

interwencji na rzecz poprawy BRD. Do oszacowania liczby ofiar zastosowano model czynnikiowy postaci:

$$F = P * RFR_b * MF_c, \quad (4.26.)$$

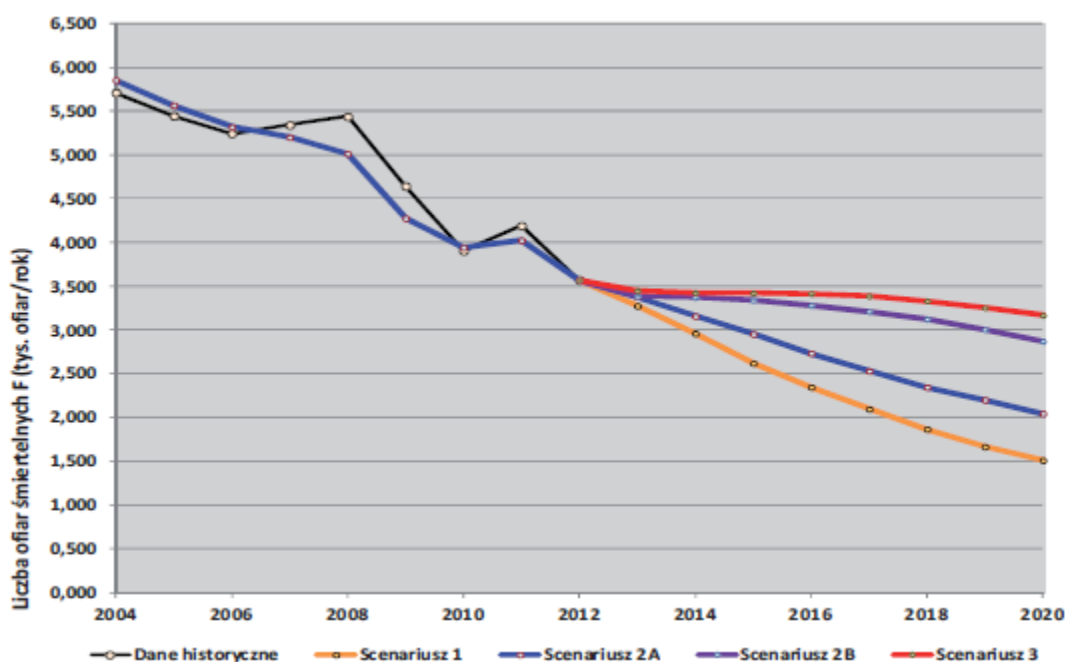
$$RFR_b = \beta_0 * GDPPC^{\beta_1} * VTKPC^{\beta_2} * \exp(-\beta_3 * GDPPC - \beta_4 * LEI - \beta_5 * CPI + \beta_6 * ACPC + \beta_7 * DPR - \beta_8 * DME - \beta_9), \quad (4.27.)$$

$$MF_c = \gamma_0 * \exp(-\gamma_1 * LEI - \gamma_2 * DME - \gamma_3 * \ln(FV) + \gamma_4), \quad (4.28.)$$

gdzie:

F – liczba ofiar śmiertelnych; **P** – liczba ludności w danym kraju; **RFR_b** – bazowy wskaźnik śmiertelności (liczba ofiar śmiertelnych przypadająca na 1 mln mieszkańców); **MF_c** – krajowy współczynnik modyfikujący; **GDPPC** – Produkt Narodowy Brutto *per capita*; **VKTPC** – średnia droga przebyta pojazdami przez mieszkańca regionu; **LEI** – wskaźnik przewidywanej długości życia w dniu urodzenia; **CPI** – wskaźnik korupcji; **ACPC** – konsumpcja alkoholu; **DBR** – gęstość demograficzna dróg twardych (km/1 mln mieszkańców); **DME** – gęstość demograficzna autostrad i dróg ekspresowych (km/1 mln mieszkańców); **B₀, B₁,..., B_n** – parametry równania.

Rysunek 4.5. Prognoza liczby ofiar śmiertelnych w Polsce do roku 2020 z uwzględnieniem różnych scenariuszy rozwoju



Źródło: Jamroz K., Michalski L., 2013, s. 233.

Autorzy przyjęli kilka scenariuszy rozwoju gospodarczego i demograficznego kraju różniących się liczbą ludności, wartością Produktu Narodowego Brutto oraz działaniami podejmowanymi na rzecz poprawy BRD (rys. 4.5.). Pierwszy scenariusz (1) zakładał średni rozwój społeczno-ekonomiczny przy mocno zmniejszającej się liczbie mieszkańców; drugi (2A) reprezentował średni rozwój społeczno-ekonomiczny przy średnio zmniejszającej się liczbie ludności; kolejny (2B) odnosił się do niskiego rozwoju społeczno-ekonomicznego przy średnio zmniejszającej się liczbie ludności, zaś ostatni (3) przewidywał niski rozwój społeczno-ekonomiczny przy nieznacznie zmniejszającej się liczbie ludności. Wyniki badania wskazały, iż w najlepszym stopniu rzeczywistość oddaje scenariusz 2A, jednakże również on nie zapewni realizacji celu strategicznego NPBRD do 2020 roku, jakim jest redukcja liczby zabitych do poziomu nie przekraczającego 2000 osób rocznie. Zaproponowano zatem dodatkowe interwencje w postaci trzech grup:

- grupa pierwsza zakłada zmiany zachowań uczestników ruchu drogowego, a zwłaszcza zmniejszenie konsumpcji alkoholu (**ACPC**), jazdę z bezpieczną prędkością, co ma być uzyskane dzięki zwiększeniu automatycznego nadzoru nad niebezpiecznymi zachowaniami (**FV**);

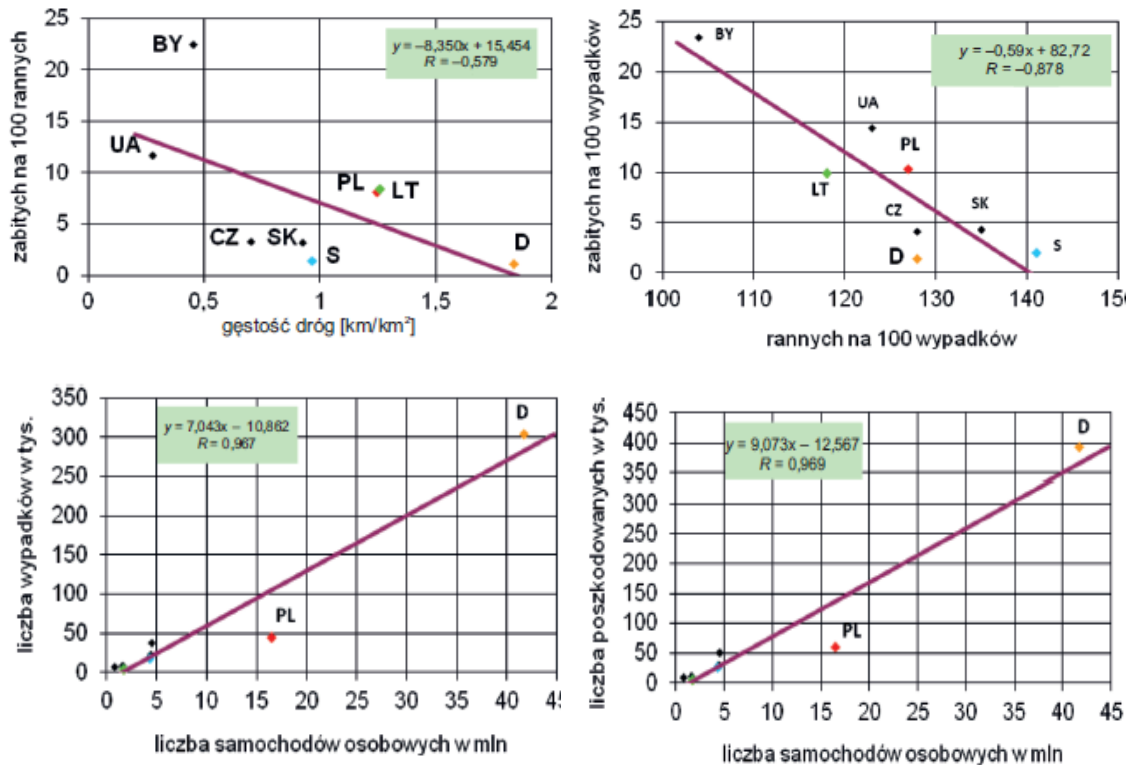
- grupa druga związana jest ze zmianami w rozwoju sieci drogowej, a mianowicie zwiększeniem gęstości dróg ekspresowych i autostrad (**DDM**), modernizacją istniejącej sieci drogowej pod kątem poprawy bezpieczeństwa;

- grupa trzecia dotyczy zmian w organizacji funkcjonowania państwa w postaci poprawy systemu ochrony zdrowia (**LEI**) a także zminimalizowania stopnia korupcji (**CPI**).

Z klei P. Szczęsny i J. Rymarz [2012] postanowili wykazać zależności zachodzące między wybranymi wskaźnikami BRD prowadząc analizę korelacyjną dla Polski i 7 krajów sąsiadujących: Litwy, Niemiec, Czech, Słowacji, Ukrainy, Białorusi oraz Szwecji (rys. 4.6.). Stwierdzono ujemną korelację liczby ofiar śmiertelnych na 100 wypadków drogowych oraz gęstości sieci drogowej, co skłania do wyciągnięcia wniosku, iż w krajach dbających o rozwój sieci drogowej poziom bezpieczeństwa ulega poprawie. Wykonane analizy wykazały bardzo silną dodatnią korelację (bliską funkcyjnej zależności liniowej) liczby samochodów osobowych i liczby wypadków oraz liczby osób poszkodowanych [Szczęsny, Rymarz, 2012, s.161]. Wysoka ujemna korelacja między liczbą zabitych oraz liczbą rannych na 100 wypadków pozwala wyciągnąć wniosek, iż zmniejszenie ciężkości wypadków nie prowadzi do zmniejszenia ogólnej liczby

poszkodowanych lecz do zwiększenia liczby rannych. Z kolei rozwój motoryzacji implikować będzie zwiększenie liczby wypadków oraz liczby ofiar.

Rysunek 4.6. Korelacja wskaźników zagrożenia wraz z linią trendu



Źródło: Szczęśny P. i Rymarz J., 2012, s. 158 – 159.

Podobną ścieżkę badawczą obrała J. Wachnicka [2012] oraz [2013], która za cel obrała sobie wyznaczenie determinant poziomu bezpieczeństwa z uwzględnieniem różnic regionalnych. Analizie poddała grupę czynników demograficznych, motoryzacyjnych, infrastrukturalnych, ekonomicznych a także społecznych. Potrzeba prowadzenia takich badań wypływa z konieczności odpowiedzi na pytanie dlaczego niektóre regiony są w stanie osiągnąć poprawę BRD a innym się to nie udaje.

K. Kądziołka [2015] dokonała z kolei przestrzenno-czasowej analizy nasilenia wypadków drogowych w Polsce wykorzystując lasy losowe oraz sztuczne sieci neuronowe. Statystyka Morana umożliwiła autorce identyfikację obszarów skupień charakteryzujących się ponadprzeciętną liczbą i natężeniem wypadków komunikacyjnych.

Identyfikacji poziomu bezpieczeństwa drogowego w krajach UE ze szczególnym uwzględnieniem Polski dokonali R. Chudy-Laskowska oraz T. Pisula [2014]. Grupowanie obiektów na podstawie wyselekcjonowanych 15 cech diagnostycznych

zostało przeprowadzone przy zastosowaniu aglomeracyjnej metody analizy skupień z wykorzystaniem metody Warda oraz metody samoorganizujących się sieci neuronowych – tzw. map Kohonena. W końcowym etapie posłużono się metodą rankingu. Otrzymane wyniki potwierdziły duże zróżnicowanie stopnia BRD w krajach europejskich. Najlepsza sytuacja występuje w Szwajcarii zaś najgorsza w Rumunii. Sytuacja występująca w Polsce nie jest zbyt pozytywna. Polska znalazła się w klastrze o najniższym poziomie bezpieczeństwa charakteryzującym się niskimi wskaźnikami motoryzacji, słabą siecią dróg ekspresowych i autostrad oraz niską jakością infrastruktury drogowej.

Kształtowanie się wskaźnika śmiertelności liczonego jako liczba ofiar śmiertelnych na 1 mln mieszkańców (WSD) stanowiło przedmiot zainteresowania K. Jamroza [2012], który jako narzędzie badawcze zaproponował funkcję potęgowo-wykładniczą opisaną wzorem:

$$WSD = a * JPSN^b * GLM^c \exp(-d * JPSN + e * SDPM - f * UGR - g * LEI - h * WKP + i * WKA - j * USB + k * GDT - l * GDAE), \quad (4.29.)$$

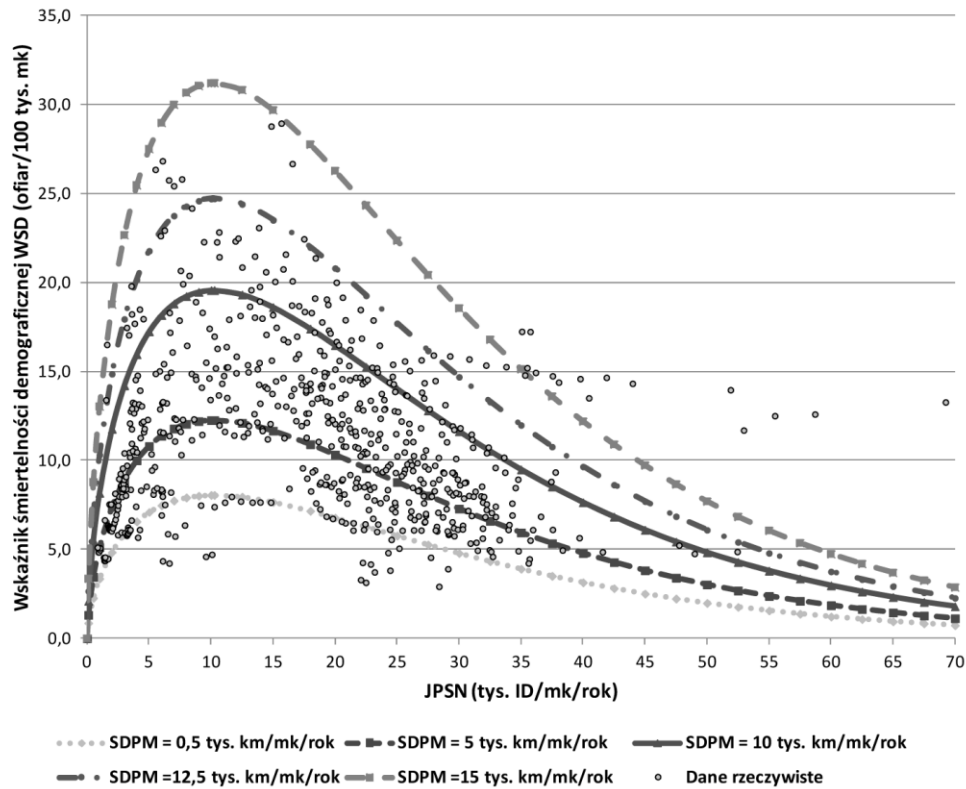
gdzie:

JPSN - jednostkowy dochód narodowy, mierzony parytetem siły nabywczej (tys. ID/mieszkańca/rok); **GLM** – gęstość zaludnienia; **SDPM** – średnia liczba kilometrów przebyta pojazdami; **UGR** – udział gruntów rolnych; **LEI** – wskaźnik średniej, przewidywanej długości życia mieszkańców; **WKP** – wskaźnik korupcji; **WKA** – wskaźnik konsumpcji alkoholu; **USB** – wskaźnik stosowania pasów bezpieczeństwa; **GDT** – gęstość dróg twardych na 100 km²; **GDAE** – gęstość dróg ekspresowych i autostrad na 100 km²; **a, b, ..., l** – parametry równania.

Badanie, któremu poddano 60 państw z całego świata od 1973 do 2008 roku wykazało (rys. 4.7), iż w początkowym okresie rozwoju społeczno-gospodarczego śmiertelność w wypadkach drogowych gwałtownie wzrasta wraz ze wzrostem dochodu narodowego *per capita*. Po przekroczeniu punktu przełamania dalszemu bogaceniu się społeczeństwa towarzyszyć będzie poprawa poziomu bezpieczeństwa, która początkowo będzie mieć gwałtowny przebieg a następnie nieco spowolni. Stanowi to potwierdzenie hipotezy, iż poziom bezpieczeństwa drogowego uzależniony jest od stopnia bogactwa społeczeństwa. Ponadto, wskaźnik śmiertelności jest pozytywnie skorelowany z liczbą przejechanych kilometrów, spożyciem alkoholu oraz gęstości dróg twardych. Spadku wskaźnika należy z kolei spodziewać się wraz ze wzrostem gęstości zaludnienia, udziału

gruntów rolnych, wskaźnika korupcji, przeciętnej długości życia społeczeństwa oraz gęstości dróg krajowych i autostrad.

Rysunek 4.7. Wykres rzeczywistych i prognozowanych wartości liczbowych wskaźnika śmiertelności demograficznej w wypadkach drogowych



Źródło: Jamroz K., 2012, s. 12.

4.4. Modelowanie bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce

Wielowymiarowa analiza porównawcza przeprowadzona w rozdziale drugim dowodzi, iż w ciągu dwudziestolecia objętego badaniem, poziom bezpieczeństwa w ruchu drogowym w Polsce uległ znacznej poprawie. Optymizmem napawa fakt, iż zmniejszenie odnotowano w odniesieniu do wszystkich wskaźników zagrożenia. Było to możliwe dzięki wystąpieniu wielu elementów, wśród których wymienić należy m.in.: politykę ukierunkowaną na poprawę BRD, rozwój regionalny, większą świadomość kierowców, podniesienie poziomu szkolenia młodych kierowców, modernizację istniejącej i budowę nowej infrastruktury drogowej.

Mimo osiągniętej poprawy bezpieczeństwa drogowego, wciąż nie można mówić o sukcesie podejmowanych działań prewencyjnych. Każdego roku w wypadkach drogowych w Polsce życie traci kilka tysięcy osób, co oprócz strat moralnych, implikuje

wysokie koszty materialne. Wypracowany trend spadkowy w zakresie liczby ofiar śmiertelnych i liczby wypadków jest wciąż zbyt mały w porównaniu do innych krajów i daleko odbiega od średniego poziomu UE.

W niniejszej dysertacji weryfikowano hipotezę o występowaniu zależności między poziomem BRD a rozwojem gospodarczym kraju zgodnie z hipotezą Środowiskowej Krzywej Kuzneta (EKC, ang. *Environmental Kuznets Curve*), a zatem przybierającej kształt odwróconej litery „U”. Nie powinno budzić zastrzeżeń stwierdzenie, iż osiągnięcie pożądanego poziomu bezpieczeństwa drogowego wymaga ścisłej współpracy międzyregionalnej, gdyż rozwój regionu jest silnie uwarunkowany rozwojem obiektów sąsiadujących. Ważne zatem jest by zestaw narzędzi oraz metod wykorzystywanych do badań BRD uwzględniał nie tylko zależności społeczne, gospodarcze czy demograficzne, ale również międzyregionalne interakcje przestrzenne. Ze względu na brak odpowiednich danych umożliwiających zastosowanie modeli opartych na przestrzennych EKC niniejsza analiza została przeprowadzona w dwóch etapach. Modele przestrzenne SAR, SEM i SCM zostały wykorzystane do zbadania korelacji przestrzennych występujących w latach 2011 – 2014, dla których dostępne były dane w układzie NUTS 3. Z kolei zastosowanie modeli panelowych FEM i REM dało możliwość pomiaru i oceny poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce w latach 1995 – 2014.

Jak podkreśla E. Sobczak bardzo odpowiedzialnym zadaniem warunkującym poprawne wnioskowanie na podstawie modelu ekonometrycznego jest zgromadzenie wiarygodnych, kompletnych i porównywalnych informacji statystycznych. Rodzaj zgromadzonych danych w znacznym stopniu implikuje typ budowanego modelu ekonometrycznego, a tym samym możliwości realizacji celu badań [2002, s. 58].

Do wyboru zestawu zmiennych mogących mieć znaczący wpływ na kształtowanie się poziomu BRD posłużyła literatura przedmiotu oraz raporty instytucji zajmujących się zagadnieniem wypadkowości w ruchu drogowym. Ograniczenie stanowiła dostępność danych liczbowych. Brak jest np. danych dotyczących doświadczenia kierowców biorących udział w zdarzeniu, stanu technicznego pojazdów czy warunków atmosferycznych panujących w momencie zdarzenia. Ta ostatnia informacja jest dostępna bez podziału na jednostki administracyjne. Ponadto, dane o stanie technicznym nawierzchni sieci dróg publikowane są jedynie w układzie terytorialnym NUTS 2. Raporty te są dostępne dopiero od 2000 roku, co stanowi zbyt krótki szereg czasowy. W tablicy 4.3. przedstawiono zestawienie estymowanych zmiennych zależnych i

niezależnych wraz ze wskazaniem oczekiwanego kierunku oddziaływania zmiennych egzogenicznych na zmienną endogeniczną.

Tablica 4.3. Zmienne zastosowane w modelowaniu BRD

Nazwa zmiennej	Definicja zmiennej	Oczekiwany kierunek oddziaływania na zmienną zależną wraz z komentarzem
zab_poj	liczba ofiar śmiertelnych na 1 mln pojazdów zarejestrowanych w danym regionie,	
zab_lud	liczba ofiar śmiertelnych na 100 tys. mieszkańców danego regionu,	
zab_dr	liczba ofiar śmiertelnych na 100 km publicznych dróg o twardej nawierzchni,	
wyp_poj	liczba wypadków drogowych na 1 mln pojazdów zarejestrowanych w badanym regionie,	
wyp_lud	liczba wypadków drogowych na 100 tys. mieszkańców danego regionu,	
wyp_dr	liczba wypadków drogowych na 100 km publicznych dróg o twardej nawierzchni,	
zab_wyp	liczba ofiar śmiertelnych na 100 wypadków drogowych w danym regionie,	
UPC w_UPC	udział pojazdów ciężkich w ogóle pojazdów zarejestrowanych w danym regionie oraz ważona regionalnie wartość tego wskaźnika,	(+/-) ujemna korelacja może zachodzić, gdy zwiększenie udziału pojazdów ciężarowych przyczynia się do ograniczenia prędkości jazdy pozostałych uczestników ruchu drogowego. Z kolei korelacja dodatnia wynika z faktu większej ciężkości wypadków z udziałem pojazdów ciężarowych,
PKB per capita w_PKB per capita	Produkt Krajowy Brutto <i>per capita</i> w danym regionie oraz ważona regionalnie wartość PKB <i>per capita</i> , ²⁶	(+/-) w zależności od stopnia rozwoju kraju między zmiennymi zależnymi a PKB per capita może zachodzić dodatnia bądź ujemna korelacja (m.in. w: Kopits, Cropper, 2003),
zmot w_zmot	wsp. zmotoryzowania wyrażony jako liczba pojazdów przypadająca na 1000 mieszkańców oraz ważona	(+/-) zwiększenie stopnia zmotoryzowania może prowadzić do wzrostu śmiertelności, jednakże zależność ta może mieć charakter nieliniowy. Większe zatłoczenie dróg wymusza spowolnienie ruchu, a ponadto wysoka liczba zgonów może

²⁶ Wyrażone w cenach stałych z 2014 roku.

	regionalnie wartość tego wskaźnika,	skłaniać np. do wprowadzania bezpiecznych rozwiązań w nowych pojazdach (m.in. w: Koornstra, 2007),
dr_pow	długość sieci drogowej przypadająca na 100 km ² powierzchni,	(-) oczekuje się, iż rozbudowa sieci drogowej będzie podnosić poziom bezpieczeństwa. Jest to jednak możliwe, gdy jej jakość jest na odpowiednim poziomie (m.in. w: Castillo-Manzano, 2014),
rower	długość ścieżek rowerowych przypadających na 100 km ² powierzchni,	(-) oczekuje się, iż budowa kolejnych kilometrów ścieżek rowerowych będzie podnosić poziom bezpieczeństwa,
wydat_dr w_wydat_dr	wydatki gmin i powiatów w dziale 600 – Transport i Łączność w przeliczeniu na mieszkańca regionu oraz ważona regionalnie wartość tego wskaźnika,	(-) wydatki w Dziale 600 przeznaczane są m.in. na modernizację i przebudowę szczególnie niebezpiecznych odcinków dróg, budowę ścieżek rowerowych, chodników, zatoczek autobusowych co przekłada się na redukcję niebezpiecznych zdarzeń drogowych,
med w_med	liczba lekarzy przypadająca na 1000 mieszkańców regionu oraz ważona regionalnie wartość tego wskaźnika,	(-) regiony charakteryzujące się większą dostępnością do opieki medycznej są lepiej przygotowane do udzielania pierwszej pomocy ofiarom wypadków drogowych (m.in. w: Grimm, Treibich, 2010),
bezr w_bezr	stopa bezrobocia w danym regionie oraz ważona regionalnie wartość stopy bezrobocia,	(+/-) niektórzy autorzy, jak np. Greenawalt [2006] stoją na stanowisku, iż wzrost stopy bezrobocia wpływa na podniesienie poziomu bezpieczeństwa, gdyż zmniejsza się natężenie ruchu na drogach z powodu mniejszej liczby osób przemieszczających się do pracy. Inni z kolei, np. Wagenaar [1984] spodziewają się jednakże wystąpienia odwrotnej korelacji, co tłumaczone jest dodatkowym stresem kierowców wywołanym brakiem zatrudnienia
24- w_24-	udział osób poniżej 24 roku życia w ogóle populacji danego regionu oraz ważona regionalnie wartość tego wskaźnika,	(+) zgodnie ze statystykami osoby młode, zwłaszcza młodzi mężczyźni, są bardziej skłonne do podejmowania ryzykownych działań doprowadzając tym samym do zwiększenia wypadkowości (m.in. w: McCullagh, Nelder, 1983),
65+ w_65+	udział osób powyżej 65 roku życia w ogóle populacji danego regionu oraz ważona regionalnie wartość tego wskaźnika,	(+) statystyki dotyczące zdarzeń drogowych wskazują, iż starsi kierowcy częściej uczestniczą w wypadkach drogowych niż osoby wieku 24-65 lat (m.in. w: Anbarci, Escaleras, Register, 2006),
wsp_fem w_wsp_fem	udział kobiet w ogóle populacji danego regionu oraz ważona regionalnie wartość tego wskaźnika.	(-) statystyki dotyczące zdarzeń drogowych wskazują, iż kobiety rzadziej niż mężczyźni uczestniczą w wypadkach drogowych (m.in. Stapleton, Woo, Kim, 2008).

Objaśnienie: kolorem niebieskim oznaczono zmienne endogeniczne.

Wyniki przeprowadzonych analiz posłużą do sformułowania odpowiednich wniosków oraz zweryfikowania hipotez zawartych w tezach i celach niniejszej dysertacji.

Ponadto, otrzymane zostaną odpowiedzi na pytania czy prawidłowe jest założenie, iż najlepszą drogą do podniesienia poziomu bezpieczeństwa na drogach jest bogacenie się regionu, a także czy możliwe jest wyznaczenie uniwersalnego poziomu rozwoju gospodarczego regionu wyrażonego Produktem Krajowym Brutto *per capita*, którego osiągnięcie zagwarantuje poprawę BRD. Dokonując wyboru potencjalnych czynników determinujących poziom analizowanego zjawiska należy mieć na uwadze, iż znaczna liczba zmiennych wyjściowych w dużym stopniu utrudnia, a niekiedy wręcz uniemożliwia poznanie prawidłowości występujących w analizowanych procesach [Zeliaś, 1991, s. 129]. W zbiorze proponowanych zmiennych powinny zostać umieszczone te zmienne egzogeniczne, które dla każdej z par zmiennych wykazują silną korelację ze zmienną endogeniczną oraz stosunkowo słabą między sobą nawzajem. W celu ich wyznaczenia obliczono wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona, które zostały zaprezentowane w tablicach 4.4.1. dla próby panelowej oraz 4.4.2. dla próby przestrzennej.

Tablica 4.4.1. Macierz współczynników korelacji między poszczególnymi zmiennymi (próba przekrojowo-czasowa)

	zab_poj	zab_lud	zab_dr	UPC	PKB per capita	zmot	dr_pow	24 -	65 +	wsp_fem	st_bezr	med
zab_poj	1,00	0,86	0,69	0,30	-0,72	-0,91	-0,61	0,72	0,60	-0,29	0,38	-0,11
zab_lud		1,00	0,63	0,38	-0,55	-0,65	-0,66	0,68	0,39	-0,12	0,34	-0,11
zab_dr			1,00	0,45	-0,28	-0,66	-0,56	0,57	0,35	-0,23	0,30	-0,13
UPC				1,00	0,04	-0,22	0,73	0,17	0,06	0,19	0,28	0,27
PKB per capita					1,00	-0,78	0,77	-0,70	0,46	0,57	-0,48	0,19
zmot						1,00	-0,32	-0,74	0,64	0,36	-0,49	0,07
dr_pow							1,00	-0,26	0,31	0,39	-0,25	0,35
24 -								1,00	-0,62	-0,33	0,60	-0,23
65 +									1,00	0,47	-0,36	0,51
wsp_fem										1,00	-0,13	0,39
st_bezr											1,00	-0,08
med												1,00

Objaśnienie: Wartość krytyczna przy dwustronnym 5% obszarze krytycznym =0,1097 dla n=320.

Kolorem niebieskim oznaczono zmienne endogeniczne.

Źródło: Opracowanie własne w pakiecie Stata 11.

Wskaźniki korelacji zostały policzone na zbiorze ogólnym (n=320). Na podstawie wyników zawartych w tablicy 4.4.1. można stwierdzić, że na poziom bezpieczeństwa drogowego najsilniej oddziałuje współczynnik zmotoryzowania społeczeństwa a także

gęstość sieci drogowej wyrażonej jako liczba kilometrów dróg przypadająca 100 km² powierzchni regionu. Wysoka korelacja zachodzi również między wskaźnikami zagrożenia a udziałem osób młodych w ogólnej liczbie ludności. Siła tej relacji sięga w zależności od wskaźnika zagrożenia od 0,57 do 0,72 i ma dodatni kierunek.

Z klei w najmniejszym stopniu na analizowane wskaźniki wpływa poziom opieki medycznej oraz współczynnik feminizacji. W przypadku obu tych czynników korelacja ma ujemny kierunek i nie przekracza 0,11.

Współczynniki współzależności liniowej w zbiorze danych w układzie terytorialnym NTS3 (tabl. 4.4.2.) potwierdzają występowanie stosunkowo silnych związków między zmiennymi endogenicznymi a wskaźnikami zmotoryzowania mieszkańców.

Tablica 4.4.2. Macierz współczynników korelacji między poszczególnymi zmiennymi (próba przestrzenna) w 2014 roku

	zab_wyp	wyp_lud	wyp_poj	wyp_dr	zab_poj	zab_lud	zab_dr	PKB per capita	UPC	zmot	rower	wydatki_dr	wsp_fem	24-	65+	dr_pow	med	st_bezr
zab_wyp	1,00	-0,66	-0,71	-0,89	0,72	0,77	-0,33	-0,50	-0,36	0,57	-0,62	-0,47	-0,60	0,56	-0,42	-0,46	-0,41	0,79
wyp_lud		1,00	0,96	0,65	0,01	-0,02	0,35	0,27	0,38	-0,63	-0,17	-0,13	0,21	-0,16	0,33	-0,56	0,41	-0,46
wyp_poj			1,00	0,70	-0,03	-0,13	0,37	0,23	0,30	-0,60	-0,21	-0,17	-0,24	-0,48	0,43	-0,26	0,29	-0,22
wyp_dr				1,00	-0,58	-0,63	0,73	0,68	0,48	-0,34	-0,78	-0,62	0,75	-0,75	0,46	-0,55	0,41	-0,53
zab_poj					1,00	0,97	-0,11	-0,58	-0,22	0,53	-0,68	-0,49	-0,63	-0,62	0,48	-0,48	-0,58	0,38
zab_lud						1,00	-0,14	-0,52	-0,15	0,58	-0,68	-0,50	-0,63	0,61	-0,46	-0,46	-0,33	0,39
zab_dr							1,00	0,65	0,45	-0,54	0,68	-0,58	0,65	-0,69	0,31	0,36	-0,44	-0,37
PKB per capita								1,00	0,48	0,47	0,58	0,51	0,55	-0,41	0,41	0,45	0,48	-0,28
UPC									1,00	0,18	0,36	0,38	0,47	-0,44	0,22	0,38	0,33	-0,44
zmot										1,00	-0,17	-0,18	-0,16	0,13	-0,03	-0,09	-0,34	-0,14
rower											1,00	0,68	0,77	-0,51	0,46	0,34	0,40	-0,48
wydatki_dr												1,00	0,73	-0,66	0,49	0,40	0,33	-0,34
wsp_fem													1,00	-0,31	0,45	0,50	0,42	-0,59
24-														1,00	-0,56	-0,26	-0,49	0,36
65+															1,00	0,42	0,31	-0,35
dr_pow																1,00	0,44	-0,21
med																	1,00	-0,42
st_bezr																		1,00

Objaśnienie: Wartość krytyczna przy dwustronnym 5% obszarze krytycznym =0,2319 dla n=72.

Kolorem niebieskim oznaczono zmienne endogeniczne.

Źródło: Opracowanie własne w pakiecie Stata 11

Również udział osób młodych w ogólnej liczbie ludności a także gęstość infrastruktury drogowej oraz ścieżek rowerowych silnie oddziałują na poziom bezpieczeństwa drogowego. Najmniejsza siła korelacji ze wskaźnikami bezpieczeństwa drogowego występuje z kolei w przypadku zmiennej odnoszącej się do udziału pojazdów ciężkich w całkowitej liczbie pojazdów zarejestrowanych w danym regionie.

4.4.1. Grupowanie regionów Polski pod względem poziomu bezpieczeństwa w ruchu drogowym

Na kwestie bezpieczeństwa ruchu drogowego składa się szereg złożonych zagadnień, począwszy od poziomu rozwoju gospodarczego, stanu infrastruktury drogowej, stopnia zmotoryzowania społeczeństwa, po zagadnienia związane z czynnikiem ludzkim. Poziom tych czynników charakteryzuje się wysokim stopniem zróżnicowania w poszczególnych regionach Polski, co zostało opisane w rozdziale drugim.

Skłania to do podjęcia próby wyodrębnienia grup regionów, które byłyby jednorodne pod względem determinant prowadzących do powstawania zdarzeń drogowych. Wnioski płynące z takiej analizy mogą wskazać, które samorzady lokalne powinny z sobą współpracować w celu podniesienia poziomu BRD oraz czerpać wiedzę ze swoich doświadczeń.

Zmiennymi diagnostycznymi charakteryzującymi poziom BRD uwzględnionymi w poniższej analizie były:

- Produkt Krajowy Brutto *per capita* w danym regionie,
- współczynnik zmotoryzowania,
- długość sieci drogowej,
- długość ścieżek rowerowych,
- udział pojazdów ciężkich w ogóle pojazdów zarejestrowanych w danym regionie,
- wydatki gmin i powiatów w dziale 600 – Transport i Łączność *per capita*,
- współczynnik feminizacji,
- udział osób poniżej 24 roku życia w ogólnej liczbie ludności,
- udział osób powyżej 65 roku życia w ogólnej liczbie ludności,
- poziom opieki zdrowotnej,
- stopa bezrobocia.

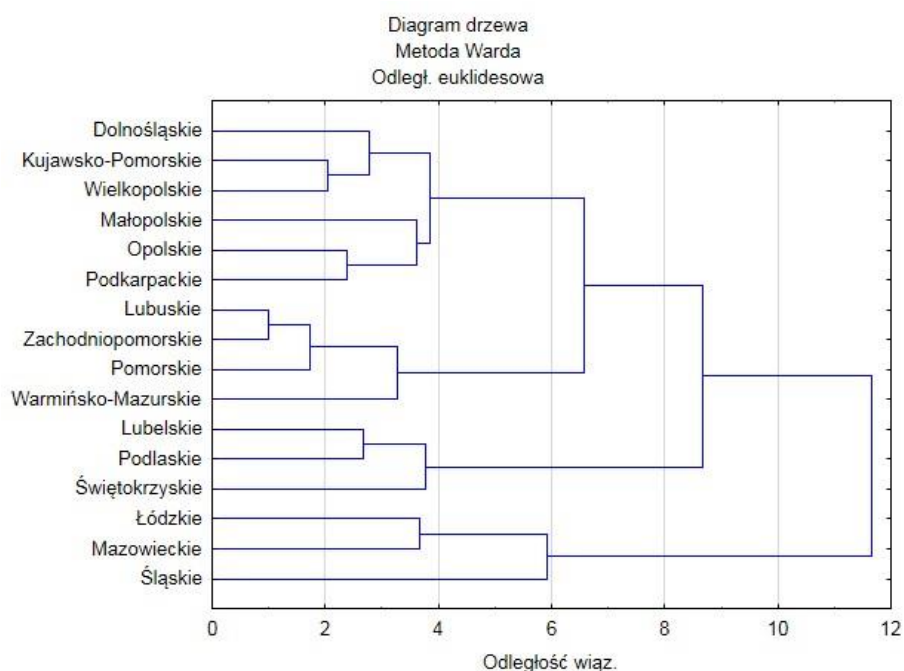
Ponieważ wybrane zmienne wyrażone są w różnych mianach, pierwszym krokiem badania było poddanie ich normalizacji poprzez zastosowanie standaryzacji w celu

doprowadzenia ich do wzajemnej porównywalności. Kolejnym etapem było grupowanie regionów pod względem wybranych cech diagnostycznych. Badaniem objęto 72 podregiony Polski w 2014 roku oraz 16 województw w dwóch skrajnych okresach badawczych, a mianowicie w 1995 oraz 2014 roku. Do przeprowadzenia diagnostyki posłużono się procedurą analizy skupień wbudowaną w program Statistica. Do grupowania zastosowano metodę minimalnych wariancji Warda, zaś miarą odległości między badanymi obiektami była odległość euklidesowa.

Analizując dendrogram zbudowany dla jednostek samorządu terytorialnego w układzie NUTS 2 w 1995 roku (rys. 4.8.) można zauważyć, iż na najniższym poziomie odległości wiązania województwa są dość zróżnicowane i występują samodzielnie bądź są grupowane po dwa. Grupowanie w podobne klastry zachodzi dopiero na wysokości około 3 wiązania. Na tym poziomie zidentyfikować można cztery główne skupienia województw:

1. dolnośląskie, kujawsko-pomorskie, małopolskie, opolskie, podkarpackie, wielkopolskie,
2. lubuskie, pomorskie, warmińsko-mazurskie, zachodniopomorskie,
3. lubelskie, podlaskie, świętokrzyskie,
4. łódzkie, mazowieckie.

Rysunek 4.8. Dendryt grupujący województwa Polski pod względem cech opisujących poziom bezpieczeństwa drogowego w 1995 roku



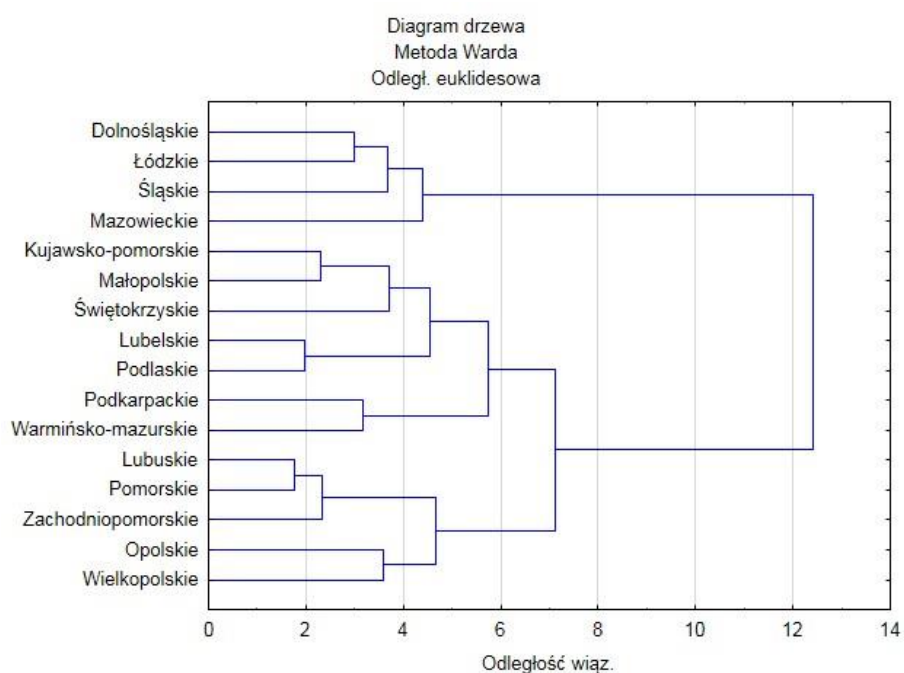
Źródło: opracowanie własne w programie Statistica

Województwem wyróżniającym się na tle pozostałych było śląskie, któremu najbliższą grupę tworzą łódzkie i mazowieckie. Na tle pozostałych regionów śląskie odstawiało pod względem wielkości PKB *per capita* oraz poziomu opieki medycznej mierzonej liczbą lekarzy przypadających na 1000 mieszkańców. Województwo to było również niekwestionowanym liderem jeśli chodzi o długość sieci drogowej, która w 1995 roku mierzyła 194 km na 100 km² powierzchni. Można zauważyć, iż województwa łączą się w dwie główne grupy poziomie około 8 – 9, zaś wszystkie województwa wykazały podobieństwo pod względem badanych cech diagnostycznych dopiero na poziomie 11 – 12 wiązania.

Analiza przeprowadzona dla 2014 (rys. 4.9.) roku wykazała, iż ciągu 20 lat objętych badaniem zaszły pewne zmiany pod względem grupowania. Na najniższym poziomie wciąż istnieją bardzo małe klastry bądź brak jest wyraźnie wyodrębnionych skupisk. Trzy podstawowe można zaobserwować dopiero od mniej więcej 5 – 6 poziomu:

1. dolnośląskie, łódzkie, mazowieckie, śląskie,
2. kujawsko-pomorskie, lubelskie, małopolskie, podlaskie, podkarpackie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie,
3. lubuskie, opolskie, pomorskie, wielkopolskie, zachodniopomorskie.

Rysunek 4.9. Dendryt grupujący województwa Polski pod względem cech opisujących poziom bezpieczeństwa drogowego w 2014 roku



Źródło: opracowanie własne w programie Statistica

Dwa podstawowe skupienia tworzą się dopiero na poziomie około 7 wiązań, kiedy dochodzi do połączenia 2 i 3 skupienia. Województwa o wysokim poziomie PKB *per capita*, wysokim stopniu zmotoryzowania i gęstej infrastrukturze drogowej wciąż tworzyły osobną grupę. Dziwić może brak w tym skupieniu województwa wielkopolskiego, które również charakteryzuje się stosunkowo wysokim stopniem rozwoju gospodarczego. Wy tłumaczenia można upatrywać w niskim poziomie cech społecznych uwzględnionych w analizie. Województwo wielkopolskie charakteryzuje się najniższą liczbą lekarzy przypadających na 1000 osób oraz relatywnie niskim udziałem seniorów i młodych w ogólnej liczbie mieszkańców.

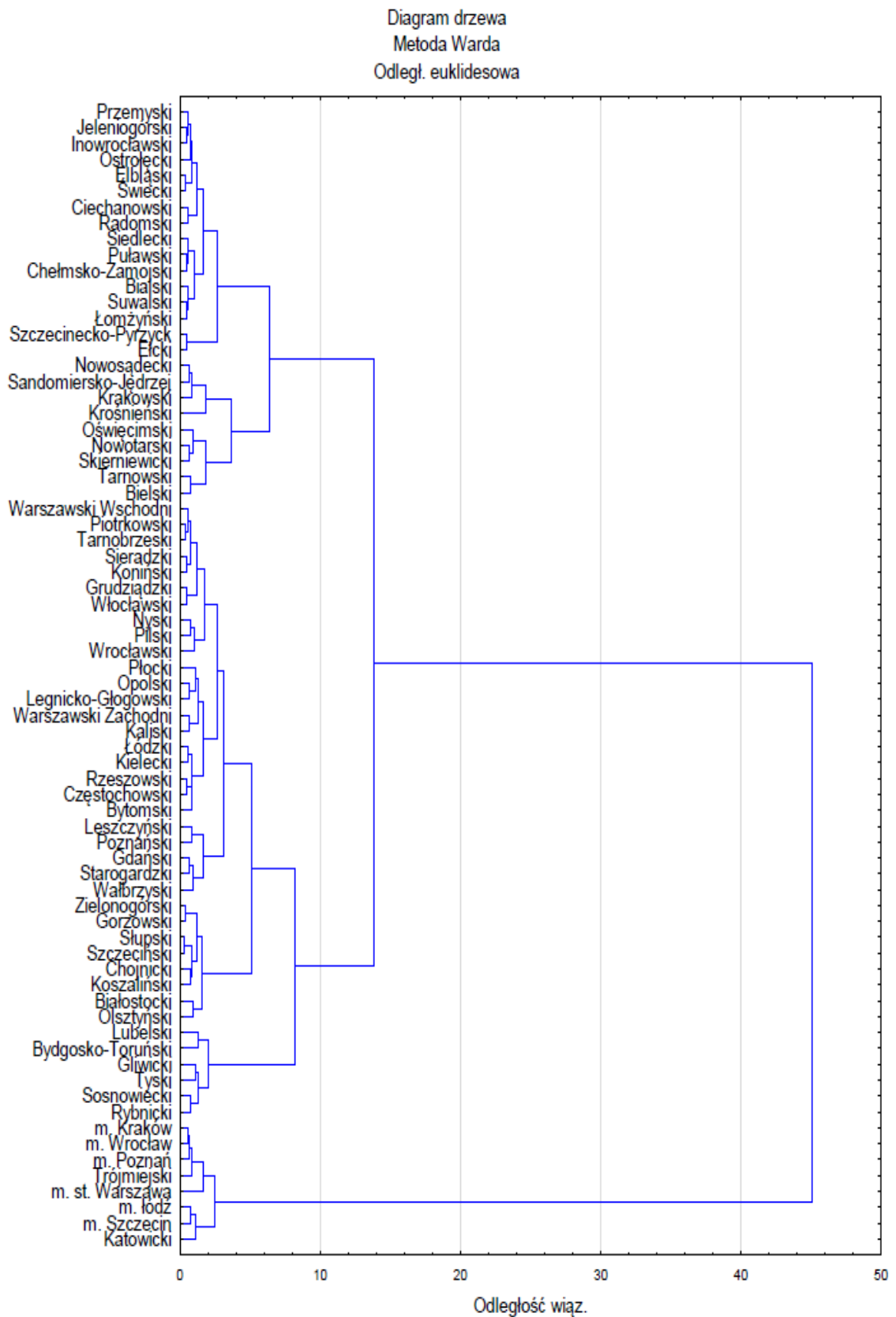
Wszystkie województwa łączą się w jedno skupisko nieznacznie później niż w 1995 roku, gdyż po przekroczeniu 12 poziomu wiązania.

Bardziej szczegółowe informacje na temat grupowania regionów można uzyskać analizując cechy diagnostyczne na poziomie podregionów. Na podstawie dendrogramu (rys. 4.10.) można powiedzieć, iż pierwsze wyraźnie zarysowane skupiska występują około 3 poziomu wiązania. Charakterystyczne jest, iż wszystkie miasta na prawach powiatów utworzyły jedno skupienie, w którym dodatkowo znalazły się dwa najbogatsze podregiony, którymi są trójmiejski i katowicki. W skupisku tym dominuje miasto Warszawa, której PKB *per capita* mocno odbiega od pozostałych regionów. Wszystkie podregiony łączą się dopiero na poziomie 45 wiązań.

Z powyższej analizy nasuwa się wniosek, iż podstawą grupowania regionów w skupiska o podobnym poziomie czynników kształtujących BRD jest stopień rozwoju gospodarczego, zaś w mniejszym stopniu czynniki społeczne.

Wyróżnić wtedy można 10 skupisk, które stopniowo łączą się w coraz większe klastry. Około 12 wiązania liczba skupisk zmniejsza się do dwóch podstawowych.

Rysunek 4.10. Dendryt grupujący powiaty i miasta na prawach powiatów Polski pod względem cech opisujących poziom bezpieczeństwa drogowego w 2014 roku

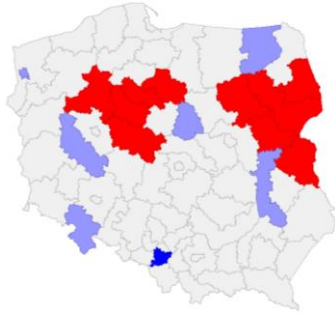
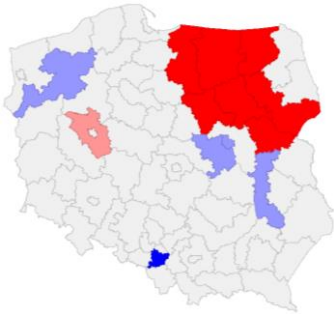
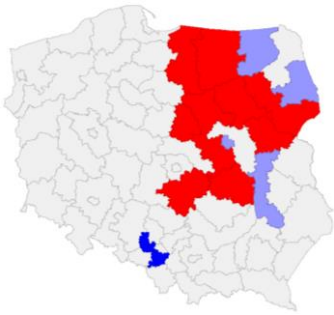
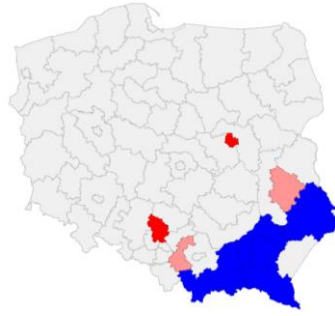
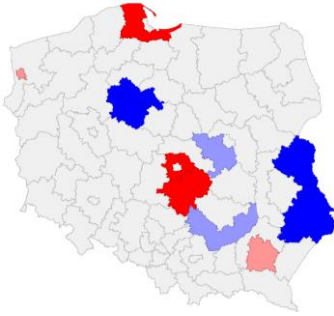
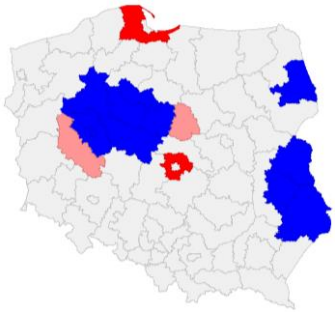


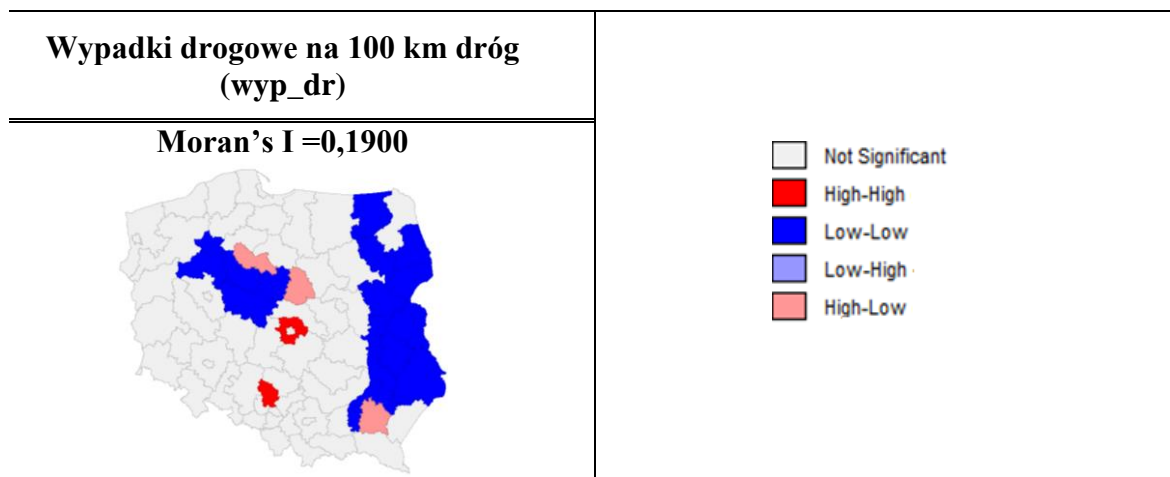
Źródło: opracowanie własne w programie Statistica

4.4.2. Interakcje przestrzenne w modelowaniu BRD

Zastosowanie modeli regresji przestrzennej do badania poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego wymaga potwierdzenia występowania interakcji przestrzennych między analizowanymi cechami. W celu potwierdzenia tych zależności wykorzystano odpowiednie statystyki globalne i lokalne. Testy oparte na statystyce Morana I posłużyły do badania obecności globalnej autokorelacji przestrzennej zaś analiza lokalnych interakcji była możliwa dzięki statystykom LISA. Zależności mogą zachodzić zarówno między zmiennymi endogenicznymi jak i egzogenicznymi. W niniejszym badaniu macierze sąsiedztwa zostały określone według konfiguracji królowej. W pierwszym etapie badania policzono statystyki dla zmiennych objaśnianych. Wyniki przedstawiono na rys. 4.11. Wartości otrzymanych statystyk wskazują na istnienie wyraźnych zależności przestrzennych. W przypadku wszystkich spośród siedmiu analizowanych wskaźników zagrożenia występuje grupowanie się podregionów w klastry o podobnym poziomie bezpieczeństwa drogowego (autokorelacja dodatnia).

Rysunek 4.11. Wartości globalnej i lokalnej miary autokorelacji przestrzennej zmiennych objaśnianych w 2014 roku

Ofiary śmiertelne na 100 wypadków drogowych (zab_wyp)	Ofiary śmiertelne na 1 mln pojazdów (zab_poj)	Ofiary śmiertelne na 1000 ludności (zab_lud)
Moran's $I = 0,1694$	Moran's $I = 0,1661$	Moran's $I = 0,0960$
		
Ofiary śmiertelne na 100 km dróg (zab_dr)	Wypadki drogowe na 1000 ludności (wyp_lud)	Wypadki drogowe na 1 mln pojazdów (wyp_poj)
Moran's $I = 0,3035$	Moran's $I = 0,3051$	Moran's $I = 0,2927$
		



Źródło: opracowanie własne w programie GeoDa

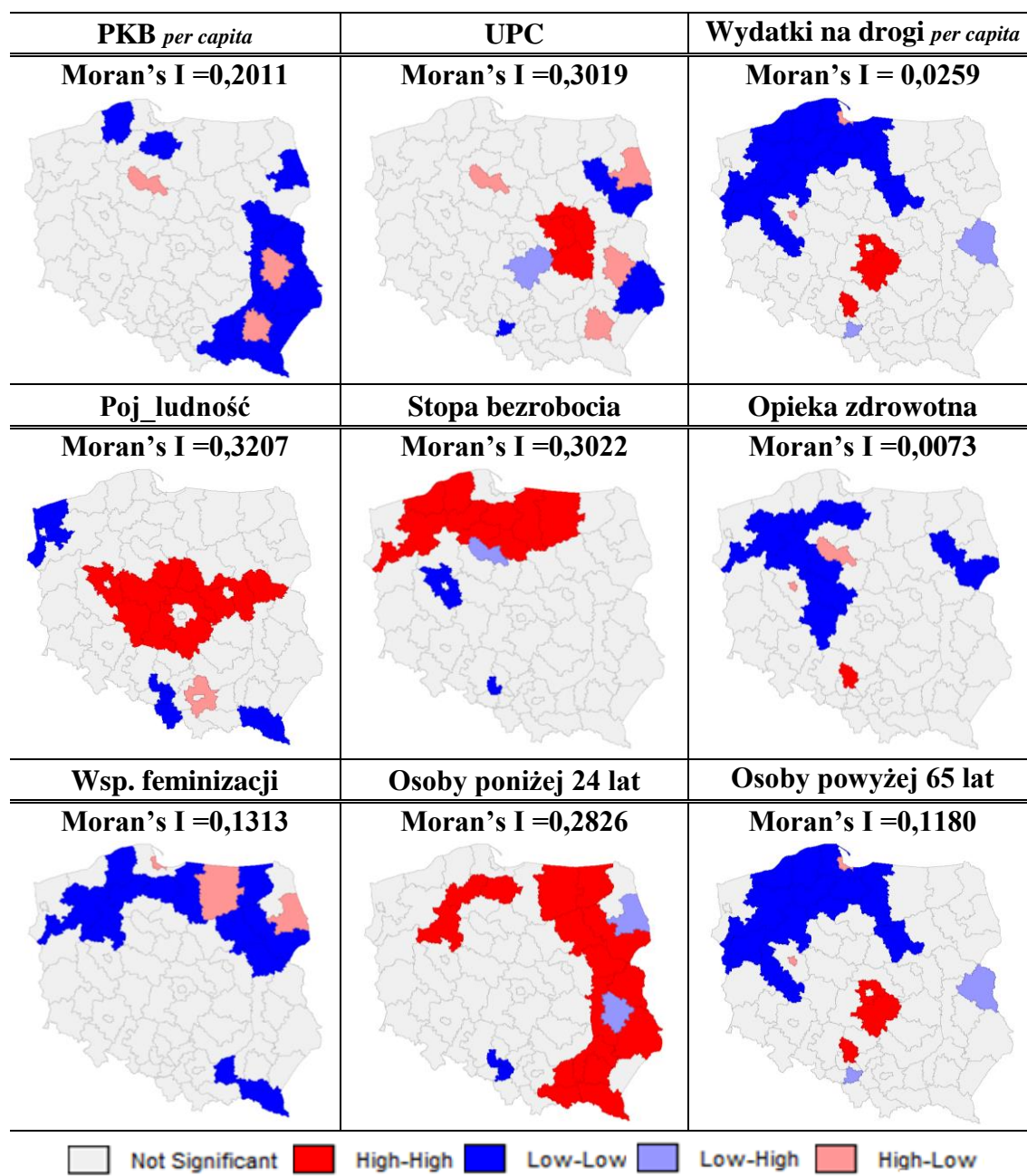
Analiza lokalnej autokorelacji przestrzennej LISA wskazuje na znaczne zróżnicowanie poszczególnych wskaźników. Można zauważyć, iż skupiska podregionów o wysokim poziomie BRD wyrażonym jako liczba zabitych na 1 mln pojazdów (zab_poj) oraz na 1000 ludności (zab_lud) zlokalizowane są w północno-wschodniej części Polski.

Duże dodatnie skupiska ofiar śmiertelnych przypadających na 100 wypadków można także zaobserwować w północnej części województwa wielkopolskiego oraz w kujawsko-pomorskim. Z kolei w przypadku pozostałych wskaźników obserwuje się przewagę skupisk o niskich wartościach badanej cechy.

Kolejnym etapem analizy było potwierdzenie istnienia współzależności przestrzennych między zmiennymi objaśniającymi (rys. 4.12). Analizie poddano dziewięć zmiennych: Produkt Krajowy Brutto *per capita*, udział pojazdów ciężkich w ogóle pojazdów (UPC), wydatki na drogi *per capita* (wydat_dr), współczynnik feminizacji (wsp_fem), poziom opieki zdrowotnej (med), stopę bezrobocia (st_bezr), udział osób młodych (24-) i osób starszych (65+) w ogóle populacji oraz wskaźnik zmotoryzowania mieszkańców (zmot).

Najmniejsza siła zależności przestrzennych występuje w przypadku opieki zdrowotnej wyrażonej jako liczba lekarzy przypadających na 1000 mieszkańców regionu. Można tu zauważyć tendencję do skupiania się obiektów o niskich wartościach. Układ regionalny przedstawiony na rysunku 4.12 wskazuje na tworzenie się dużych klastrów w północno-zachodniej części Polski oraz mniejszego skupienia zlokalizowanego na północnym wschodzie kraju.

Rysunek 4.12. Wartości globalnej i lokalnej miary autokorelacji przestrzennej zmiennych objaśniających w 2014 roku



Źródło: opracowanie własne w programie GeoDa.

Z kolei cechą, która charakteryzuje się najsilniejszą autokorelacją przestrzenną jest udział pojazdów przypadających na 1000 mieszkańców. W tym przypadku jednakże mamy do czynienia z występowaniem skupisk o wysokich wartościach zlokalizowanych w centralnej części kraju. Dla odmiany, w południowej części Polski, w podregionach krośnieńskim, bielskim, katowickim, tyskim, gliwickim utworzyły się niewielkie klastry otoczone przez niskie wartości cechy.

Brak istotności statystycznej statystyki Morana I oznacza brak autokorelacji przestrzennej, a zatem obserwowane wartości analizowanej zmiennej występują w sposób losowy (przypadkowy) między poszczególnymi lokalizacjami.

4.4.3. Wykorzystanie modeli przestrzennych w estymacji bezpieczeństwa ruchu drogowego

Specyfika badanego zjawiska może skłaniać do przypuszczenia, że na lokalizację wskaźników zagrożenia na danym obszarze mają wpływ nie tylko czynniki obserwowane bezpośrednio w regionie, w którym doszło do zdarzenia drogowego ale także rejonach sąsiadujących [Staszek, Weszczak, 2011 i 2013]. Przyczynami istnienia zależności przestrzennych między poziomem bezpieczeństwa ruchu drogowego w poszczególnych regionach mogą być zarówno czynniki społeczno-ekonomiczne jak również występowanie skorelowanych przestrzennie nie obserwowalnych zmiennych ukrytych. Współzależność danych przestrzennych powoduje, że oceny parametrów funkcji regresji szacowane KMNK są niedokładne, a istotność testów siły i kierunków powiązań jest niewielka [Longley, Goodchild, Maguire, Rhind, 2008]. W przypadku stwierdzenia interakcji przestrzennych korzystanie z modeli KMNK może skutkować tym, iż wnioskowanie statystyczne będzie obciążone błędami. Dobór adekwatnej postaci modelu warunkuje uzyskanie poprawnych wyników zaś eliminację negatywnego oddziaływania efektów przestrzennych można osiągnąć przez zastosowanie modeli regresji przestrzennej.

W niniejszej pracy do analizy autokorelacji przestrzennej oraz budowy modeli ekonometrycznych SEM (modele błędu przestrzennego), SAR (modele opóźnienia przestrzennego) oraz SCM (modele regresji krzyżowej) wykorzystane zostało oprogramowanie statystyczno-ekonometryczne GeoDa.

Estymowano siedem wymienionych w tab. 4.3. wskaźników poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego. W pierwszym kroku badania szacowano modele bez uwzględniania interakcji przestrzennych. W tym celu skorzystano z klasycznej metody najmniejszych kwadratów (KMNK). Kolejnym etapem analizy była estymacja modeli opóźnienia przestrzennego oraz modeli autokorelacji przestrzennej składnika losowego metodą największej wiarygodności MNW (SEM) oraz uogólnioną metodą najmniejszych kwadratów UMNK (SAR). Z kolei w przypadku zastosowania modeli regresji krzyżowej modele ponownie oszacowano metodą MNK. Parametry poniższych równań zostały obustronnie zlogarytmowane. W tablicach od 4.5. do 4.11. zaprezentowano wyniki

estymacji oraz wartości odpowiednich statystyk dla wszystkich wersji modeli poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Tablice zawierają tylko istotne statystycznie zmienne.

Jak już było wspomniane, pierwszym etapem analizy otrzymanych wyników jest wybór odpowiedniej postaci funkcyjnej modelu. W przypadku zdefiniowania BRD jako wskaźnika ofiar śmiertelnych przypadających na 100 wypadków drogowych testy na występowanie autokorelacji przestrzennej potwierdziły hipotezę o istnieniu zależności przestrzennych. (tab. 4.5.). Należy zatem porównać model klasyczny z modelami opóźnienia przestrzennego i błędu przestrzennego a także z modelem jednoczesnego występowania autoregresji i autokorelacji przestrzennej.

Analiza kryteriów informacyjnych Akaike'a (AIC), ilorazu największej wiarygodności (log likelihood), oraz testów LM (Lagrange Multiplier)²⁷ umożliwiła wskazanie modelu SAR jako najlepiej oddającego rzeczywistość. Oznacza to, iż poziom BRD w analizowanym regionie jest skorelowany nie tylko ze społecznymi i gospodarczymi czynnikami charakteryzującymi dany region, ale także z poziomem BRD w regionach sąsiadujących.

Wyniki estymacji wskazały, iż współczynnik determinacji oznaczający stopień dopasowania modelu do danych rzeczywistych, sięga 66%. Nie wszystkie parametry równania, przy przyjętym poziomie istotności, okazały się mieć znaczący wpływ na poziom BRD. Największa siła oddziaływania została zaobserwowana w odniesieniu do wskaźnika zmotoryzowania wyrażonego liczbą pojazdów przypadających na 1000 ludności. Wzrost tego wskaźnika, przy innych czynnikach nie zmienionych, przyczyniać się będzie do więcej niż proporcjonalnego (1,22%) wzrostu śmiertelności w wyniku wypadków drogowych.

Zgodnie z oczekiwaniami, jednocentowe zwiększenie liczby kilometrów dróg przełoży się na podniesienie poziomu bezpieczeństwa. Na podstawie otrzymanych wyników można sformułować wniosek, iż wzrost liczby pojazdów ciężarowych w stosunku do całkowitej liczby pojazdów determinować będzie zmniejszenie ciężkości wypadków. Większa liczba pojazdów ciężarowych wymusza ograniczenie prędkości jazdy i tym samym redukuje liczbę sytuacji niebezpiecznych.

Również budowa kolejnych odcinków ścieżek rowerowych korzystnie wpłynie na BRD, gdyż umożliwi rozdzielanie ruchu samochodów i niechronionych uczestników ruchu drogowego. Taki sam skutek przyniesie zwiększenie zatrudnienia lekarzy, co

²⁷ Wytyczne dotyczące wyboru odpowiedniej specyfikacji modelu zostały przedstawione w rozdziale 3.

wynika z faktu, iż większa liczba wysoko wykwalifikowanej kadry medycznej umożliwi udzielenie szybszej i lepszej opieki powypadkowej nad poszkodowanymi w wypadkach drogowych.

Tablica 4.5. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik ofiar śmiertelnych przypadających na 100 wypadków według podregionów w 2014 roku

Zmienna objaśniana: ofiary śmiertelne na wypadki (ln_zab_wyp)				
Typ modelu:	klasyczny	SAR	SEM	SCM
Metoda estymacji:	MNK	MNW	MNW	MNK
w_ln_zab_wyp (<i>spatial lag</i>)	-	0,27**	-	-
CONSTANT	-4,99*	-3,96*	-2,09*	-5,21*
ln_dr_km	-0,44***	-0,34***	-0,34***	-0,52***
ln_UPC	-0,74**	-0,69**	-	-0,78***
ln_zmot	1,51***	1,22***	1,03***	1,28***
ln_wydat_dr	-0,32**	-0,28**	-	-0,31**
ln_med	-0,30*	-0,38***	-0,29*	-0,38***
ln_rower	-0,11*	-0,13***	-0,11*	-
w_ln_PKB_per_capita	-	-	-	1,22*
w_ln_24-	-	-	-	2,50***
w_ln_65+	-	-	-	0,99***
LAMBDA (<i>spatial error</i>)	-	-	0,47***	-
Log likelihood	-25,87	-23,78	-25,75	-23,96
Akaike (AIC)	65,74	60,57	61,49	66,311
Schwarz (SC)	81,68	81,78	72,88	84,80
R ²	0,632	0,659	0,652	0,676
Test normalności				
Jarque-Bera (JB)	2,023 (0,364)	-	-	2,239 (0,326)
Testy heteroskedastyczności przestrzennej				
Breusch-Pagan (BP)	4,674 (0,586)	3,423 (0,754)	2,866 (0,580)	5,513 (0,702)
Koenker-Bassett (KB)	5,992 (0,424)	-	-	5,429 (0,711)
Testy autokorelacji przestrzennej				
Moran's I (<i>error</i>)	2,249 (0,025)	-	-	0,09 (0,147)
Lagrange Multiplier (<i>lag</i>)	3,994 (0,046)	-	-	3,725 (0,054)
Robust LM (<i>lag</i>)	1,334 (0,048)	-	-	3,030 (0,087)
Lagrange Multiplier (<i>error</i>)	2,657 (0,103)	-	-	1,292 (0,256)
Robust LM (<i>error</i>)	0,001 (0,991)	-	-	0,598 (0,439)
Lagrange Multiplier (SARMA)	3,995 (0,136)	-	-	4,323 (0,615)

Objaśnienie: *** - statystycznie istotne przy 1% poziomie istotności, ** - statystycznie istotne przy 5% poziomie istotności, * - statystycznie istotne przy 10% poziomie istotności; w nawiasach podano obliczone wartości poziomów istotności dla odrzucenia hipotezy zerowej (*p-values*).

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników estymacji w pakiecie GeoDa.

Modelowanie bezpieczeństwa ruchu drogowego mierzonego liczbą ofiar śmiertelnych przypadających na 1000 mieszkańców regionu (tab. 4.6.) potwierdziło

hipotezę o negatywnym wpływie długości sieci drogowej oraz pozytywnym wpływie współczynnika zmotoryzowania na zmienną objaśnianą.

Tablica 4.6. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik ofiar śmiertelnych przypadających na 1000 ludności według podregionów w 2014 roku

Zmienna objaśniana: ofiary śmiertelne na ludność (ln_zab_lud)				
Typ modelu:	klasyczny	SAR	SEM	SCM
Metoda estymacji:	MNK	MNW	MNW	MNK
w_ln_zab_lud (<i>spatial lag</i>)	-	-	-	-
CONSTANT	-5,38**	-4,20*	-4,20*	5,58***
ln_wydatki_per capita	-0,16***	-0,18***	-0,18*	-0,21**
ln_zmot	1,16***	0,98***	1,01***	1,08***
ln_UPC	0,49*	0,43*	0,50***	-
ln_dr_km	-0,21***	-0,18**	-0,23***	-0,19***
ln_medyk	-0,37***	-0,33***	-0,43***	-0,31**
ln_bezr	0,47***	0,35***	0,41***	-
ln_rower	-	-0,08*	-	-0,19***
w_ln_zmot	-	-	-	1,55***
w_ln_bezr	-	-	-	0,73***
LAMBDA (<i>spatial error</i>)	-	-	0,28*	-
Log likelihood	0,03	1,68	1,08	1,14
Akaike (AIC)	14,05	14,65	11,85	15,28
Schwarz (SC)	26,99	35,14	27,78	27,93
R ²	0,694	0,700	0,700	0,748
Test normalności				
Jarque-Bera (JB)	4,213 (0,122)	-	-	5,463 (0,065)
Testy heteroskedastyczności przestrzennej				
Breusch-Pagan (BP)	10,028 (0,123)	10,719 (0,151)	10,211 (0,138)	10,151 (0,180)
Koenker-Bassett (KB)	7,303 (0,294)	-	-	7,203 (0,408)
Testy autokorelacji przestrzennej				
Moran's I (error)	1,840 (0,065)	-	-	0,788 (0,431)
Lagrange Multiplier (lag)	0,293 (0,588)	-	-	0,252 (0,616)
Robust LM (lag)	0,378 (0,538)	-	-	1,051 (0,305)
Lagrange Multiplier (error)	1,603 (0,205)	-	-	0,003 (0,956)
Robust LM (error)	1,688 (0,194)	-	-	0,803 (0,370)
Lagrange Multiplier (SARMA)	1,981 (0,371)	-	-	1,054 (0,590)

Objaśnienie: *** - statystycznie istotne przy 1% poziomie istotności, ** - statystycznie istotne przy 5% poziomie istotności, * - statystycznie istotne przy 10% poziomie istotności; w nawiasach podano obliczone wartości poziomów istotności dla odrzucenia hipotezy zerowej (*p-values*).

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników estymacji w pakiecie GeoDa.

Ponadto, we wszystkich modelach istotna okazała się być zmienna odnosząca się do wydatków ponoszonych w dziale 600 – Transport i Łączność. Uzyskane wyniki wykazały, iż jednoprocenowy wzrost wydatków ponoszonych na infrastrukturę drogową

przekłada się na ograniczenie analizowanego wskaźnika śmiertelności średnio o 0,16%. Podobne rezultaty będą uzyskane dzięki zwiększeniu zatrudnienia kadry medycznej, co przyczyniać się będzie do poprawy poziomu powypadkowej opieki medycznej.

Z kolei jednoprocenowy wzrost stopy bezrobocia prowadzić będzie do zwiększenia wskaźnika śmiertelności średnio o 0,47%. Podobny wpływ wywierać będzie zwiększenie udziału pojazdów ciężarowych w ogólnej liczbie pojazdów. W badaniu otrzymano odwrotny kierunek oddziaływania zmiennej UPC na zmienną objaśnianą niż w przypadku wcześniej omawianego wskaźnika zagrożenia. Może to być spowodowane tym, iż większa liczba pojazdów ciężarowych pogarsza komfort jazdy kierowców samochodów osobowych. Ci z kolei wykazują brawurowe zachowania i brak należytej ostrożności podczas manewru wyprzedzania takich pojazdów. Ponadto, ciężkość wypadków z udziałem pojazdów ciężarowych jest większa niż w przypadku samochodów osobowych.

Kryteria informacyjne *Akaike'a* i *Schwarza* wskazały, iż do oceny względnej mocy predykcyjnej testowanych modeli najlepszy jest model klasyczny. Wskazują na to również wyniki testu *Morana I*, które na przyjętym poziomie istotności odrzucają hipotezę o występowaniu interakcji przestrzennych.

Również w przypadku testowania bezpieczeństwa ruchu drogowego wyrażonego jako liczba ofiar śmiertelnych przypadających na 100 km dróg (tab. 4.7.) odpowiednim modelem okazał się być model klasyczny. Test *Morana I* nie wskazuje na występowanie zależności przestrzennych między analizowanymi obiektami. Znalazło to również potwierdzenie w wartościach kryteriów informacyjnych. Najniższą wartość testu *Schwarza* oraz najwyższą wartość testu *log likelihood* otrzymano dla modelu klasycznego szacowanego metodą najmniejszych kwadratów. Z kolei testy na występowanie heteroskedastyczności przestrzennej na przyjętym poziomie istotności umożliwiają przyjęcie hipotezy zerowej o występowaniu homoskedastyczności rozkładu reszt.

Analiza otrzymanych wyników umożliwia sformułowanie wniosku, iż czynnikiem mającym największy wpływ na kształtowanie się poziomu BRD jest udział osób młodych w ogólnej liczbie mieszkańców regionu. Jego oddziaływanie jest więcej niż proporcjonalne i wynosi 1,50%. Otrzymane wyniki wykazały, iż również zwiększenie udziału osób starszych w ogólnej liczbie ludności prowadzić będzie do pogorszenia poziomu bezpieczeństwa drogowego o 0,5%. Najczęstszymi przyczynami wypadków powodowanych przez osoby, które przekroczyły 65 rok życia jest błędna ocena sytuacji

dotyczących pierwszeństwa przejazdu, nieprawidłowe zachowanie wobec pieszego a także niedostosowanie prędkości jazdy do panujących warunków. Przyczyny te mogą wynikać ze stanu zdrowia, problemów ze wzrokiem, wydłużonym czasem reakcji bądź złą oceną odległości.

Tablica 4.7. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik ofiar śmiertelnych przypadających na 100 km dróg publicznych według podregionów w 2014 roku

Zmienna objaśniana: ofiary śmiertelne na drogi (ln_zab_dr)				
Typ modelu:	klasyczny	SAR	SEM	SCM
Metoda estymacji:	MNK	MNW	MNW	MNK
w_ln_zab_dr (<i>spatial lag</i>)	-	0,28**	-	-
CONSTANT	-3,80***	-4,92***	-4,01*	-5,14*
ln_UPC	0,58**	0,63***	0,56**	0,69**
ln_rower	-0,13***	-0,15***	-0,12***	-
ln_PKB_per_capita	0,37*	0,52***	0,38**	0,71***
ln_zmot	-	-	-	-0,90**
ln_24-	1,50**	-	1,50***	-
ln_65+	0,59*	-	0,71**	-
ln_bezr	0,43***	0,39***	0,41***	0,21*
ln_dr_km	-	-	-	-0,17**
w_ln_med	-	-	-	-0,56***
w_ln_zmot	-	-	-	-0,24**
w_ln_PKB_per_capita	-	-	-	-0,26*
LAMBDA (<i>spatial error</i>)	-	-	-	-
Log likelihood	4,73	3,35	5,37	1,22
Akaike (AIC)	4,54	5,30	3,26	15,57
Schwarz (SC)	18,48	18,96	19,19	36,06
R ²	0,647	0,639	0,656	0,610
Test normalności				
Jarque-Bera (JB)	3,120 (0,211)	-	-	0,212 (0,900)
Testy heteroskedastyczności przestrzennej				
Breusch-Pagan (BP)	10,159 (0,118)	1,819 (0,769)	11,778 (0,067)	8,682 (0,370)
Koenker-Bassett (KB)	6,830 (0,339)	-	-	7,773 (0,456)
Testy autokorelacji przestrzennej				
Moran's I (error)	1,524 (0,128)	-	-	2,771 (0,106)
Lagrange Multiplier (lag)	1,634 (0,202)	-	-	8,168 (0,094)
Robust LM (lag)	0,673 (0,412)	-	-	6,686 (0,010)
Lagrange Multiplier (error)	1,634 (0,442)	-	-	3,904 (0,048)
Robust LM (error)	0,000 (0,995)	-	-	2,422 (0,120)
Lagrange Multiplier (SARMA)	1,634 (0,442)	-	-	9,590 (0,105)

Objaśnienie: *** - statystycznie istotne przy 1% poziomie istotności, ** - statystycznie istotne przy 5% poziomie istotności, * - statystycznie istotne przy 10% poziomie istotności; w nawiasach podano obliczone wartości poziomów istotności dla odrzucenia hipotezy zerowej (*p-values*).

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników estymacji w pakiecie GeoDa.

Pogorszenia poziomu bezpieczeństwa w ruchu drogowym należy się także spodziewać wraz ze wzrostem udziału pojazdów ciężkich w ogóle pojazdów zarejestrowanych w danej jednostce administracyjnej, stopy bezrobocia oraz Produktu Krajowego Brutto *per capita*. Wzrost tych zmiennych *ceteris paribus* o 1% prowadzi do pogorszenia wskaźników zagrożenia odpowiednio o 0,58%, 0,43% oraz 0,37%. Z kolei wydłużenie sieci ścieżek rowerowych na 100 km² powierzchni podregionu przekładać się będzie na zmniejszenie analizowanego wskaźnika śmiertelności.

We wszystkich modelach BRD wyrażonego jako liczba ofiar śmiertelnych przypadających na 1 mln pojazdów (tab. 4.8) otrzymano współczynnik determinacji oscylujący wokół 60%. Wyniki testu *Breuscha-Pagana* w modelu klasycznym oraz modelu opóźnienia przestrzennego odrzucają hipotezę zerową o homoskedastyczności składnika losowego modelu na korzyść hipotezy alternatywnej o występowaniu heteroskedastyczności. Przyczyny można upatrywać w błędnej specyfikacji równania bądź obecności autokorelacji przestrzennej, co zostało potwierdzone wartością sprawdzianu testu Lagrange'a SARMA o jednoczesnym występowaniu autokorelacji i autoregresji przestrzennej. Wartość testu p-value wskazuje, iż model regresji krzyżowej jest najbardziej odpowiedni do dalszej analizy.

Spośród wszystkich testowanych zmiennych obserwowanych w regionach sąsiadujących, a mogących mieć wpływ na poziom BRD, parametr istotnie różniący się od zera znajdował się jedynie przy zmiennych oznaczających poziom zmotoryzowania mieszkańców oraz stopę bezrobocia. Każdy jednoprocenowy wzrost liczby pojazdów *per capita* zarejestrowanych w regionach sąsiadujących będzie przekładać się na zwiększenie wskaźnika śmiertelności w analizowanym regionie średnio o 1,34%. Wyniki badania wskazują, iż stopa bezrobocia w jednostkach otaczających implikować będzie nieznacznie większe konsekwencje niż wzrost tej zmiennej w analizowanym regionie. Może to wynikać z faktu, iż osoby bezrobotne decydują się na poszukiwanie zatrudnienia poza miejscem zamieszkania zwiększając tym samym poziom ruchu drogowego w regionach otaczających.

Na pogorszenie poziomu BRD wpływ będzie mieć również zwiększenie w ogóle populacji udziału młodych osób, które nie przekroczyły jeszcze 24 roku życia. Wpływ ten będzie więcej niż proporcjonalny i wyniesie 1,21%. Osoby młode mają stosunkowo niewielkie doświadczenie jako kierowcy a jednocześnie dość duże zaufanie do własnych umiejętności i wiarę we własne szczęście. Często wykazują się brawurowym zachowaniem, mają tendencję do jazdy z nadmierną prędkością i utrzymywania zbyt

małych odstępów między pojazdami, podczas gdy nie potrafią jeszcze należycie zapanować nad samochodem.

Tablica 4.8. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik ofiar śmiertelnych przypadających na 1 mln pojazdów według podregionów w 2014 roku

Zmienna objaśniana: ofiary śmiertelne na pojazdy (ln_zab_poj)				
Typ modelu:	klasyczny	SAR	SEM	SCM
Metoda estymacji:	MNK	MNW	MNW	MNK
w_ln_zab_poj (<i>spatial lag</i>)	-	0,21*	-	-
CONSTANT	3,45***	2,27**	2,71***	2,46**
ln_wydatki_per capita	-	-	-	-0,18*
ln_dr_km	-0,19***	-	-	-
ln_bezr	0,43***	0,43***	0,27***	0,32***
ln_med	-0,29***	-0,30***	-	-
ln_UPC	0,55***	0,42**	-	-
ln_rower	-	-0,07*	-0,13***	-0,15***
ln_24-	-	-	-	1,21**
ln_65+	-	-	-1,11***	-
w_ln_bezr	-	-	-	0,46***
w_ln_zmot	-	-	-	1,34***
LAMBDA (<i>spatial error</i>)	-	-	0,36*	-
Log likelihood	-1,36	-2,05	-2,66	8,42
Akaike (AIC)	12,73	16,11	13,33	-0,85
Schwarz (SC)	24,11	29,77	22,43	17,37
R ²	0,624	0,620	0,628	0,713
Test normalności				
Jarque-Bera (JB)	3,987 (0,136)	-	-	6,751 (0,034)
Testy heteroskedastyczności przestrzennej				
Breusch-Pagan (BP)	9,160 (0,057)	10,030 (0,040)	2,218 (0,529)	9,501 (0,218)
Koenker-Bassett (KB)	6,857 (0,144)	-	-	6,615 (0,470)
Testy autokorelacji przestrzennej				
Moran's I (error)	1,681 (0,013)	-	-	0,831 (0,006)
Lagrange Multiplier (lag)	0,537 (0,064)	-	-	0,135 (0,019)
Robust LM (lag)	0,167 (0,083)	-	-	0,439 (0,108)
Lagrange Multiplier (error)	1,427 (0,022)	-	-	0,017 (0,095)
Robust LM (error)	1,057 (0,304)	-	-	0,322 (0,571)
Lagrange Multiplier (SARMA)	1,594 (0,021)	-	-	0,456 (0,016)

Objaśnienie: *** - statystycznie istotne przy 1% poziomie istotności, ** - statystycznie istotne przy 5% poziomie istotności, * - statystycznie istotne przy 10% poziomie istotności; w nawiasach podano obliczone wartości poziomów istotności dla odrzucenia hipotezy zerowej (*p-values*).

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników estymacji w pakiecie GeoDa.

Zmienną mającą istotny wpływ na liczbę ofiar śmiertelnych przypadających na 1000 pojazdów jest również wskaźnik gęstości ścieżek rowerowych, którego zwiększenie

prowadzić może do ograniczenia zabitych o 0,15%. Z kolei zwiększenie wydatków na transport i łączność przyczyniać się będzie do podniesienia poziomu BRD.

Tablica 4.9. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik wypadków drogowych przypadających na 1000 ludności według podregionów w 2014 roku

Zmienna objaśniana: wypadki na populację (ln_wyp_lud)				
Typ modelu:	klasyczny	SAR	SEM	SCM
Metoda estymacji:	MNK	MNW	MNW	MNK
w_ln_wyp_lud (<i>spatial lag</i>)	-	0,45***	-	-
CONSTANT	5,28**	1,92*	4,95****	7,75***
ln_UPC	1,16***	0,96***	0,90***	1,07***
ln_zmot	-0,46*	-0,57*	-0,65**	-0,54**
ln_dr_km	-0,20**	-0,17**	-0,22***	-0,24**
ln_beZR	0,30***	0,29**	0,30**	-
ln_24-	-	0,96***	1,42***	-
ln_PKB_per capita	-	-0,34*	-0,49***	-
w_ln_PKB_per capita	-	-	-	-1,54***
w_ln_65+	-	-	-	1,01*
LAMBDA (<i>spatial error</i>)	-	-	0,54***	-
Log likelihood	-19,70	-14,06	-14,08	-16,49
Akaike (AIC)	49,40	44,12	42,17	44,98
Schwarz (SC)	60,78	57,33	58,11	58,64
R ²	0,242	0,383	0,398	0,307
Test normalności				
Jarque-Bera (JB)	1,062 (0,588)	-	-	1,911 (0,005)
Testy heteroskedastyczności przestrzennej				
Breusch-Pagan (BP)	1,055 (0,901)	5,084 (0,533)	4,877 (0,560)	6,434 (0,266)
Koenker-Bassett (KB)	1,492 (0,828)	-	-	5,846 (0,321)
Testy autokorelacji przestrzennej				
Moran's I (error)	2,771 (0,006)	-	-	2,043 (0,041)
Lagrange Multiplier (lag)	8,000 (0,005)	-	-	4,749 (0,029)
Robust LM (lag)	4,573 (0,032)	-	-	4,940 (0,026)
Lagrange Multiplier (error)	4,690 (0,030)	-	-	1,937 (0,164)
Robust LM (error)	1,266 (0,260)	-	-	2,129 (0,145)
Lagrange Multiplier (SARMA)	9,263 (0,010)	-	-	6,878 (0,003)

Objaśnienie: *** - statystycznie istotne przy 1% poziomie istotności, ** - statystycznie istotne przy 5% poziomie istotności, * - statystycznie istotne przy 10% poziomie istotności; w nawiasach podano obliczone wartości poziomów istotności dla odrzucenia hipotezy zerowej (*p-values*).

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników estymacji w pakiecie GeoDa.

W przypadku BRD zdefiniowanego jako liczba wypadków drogowych na 1000 mieszkańców (tab. 4.9.) najbardziej odpowiednią postacią funkcyjną jest model błędu przestrzennego. Potwierdziły to kryteria informacyjne Log likelihood, Schwarza oraz

testy LR. Ponadto, wyniki testu Morana I wskazują na występowanie interakcji przestrzennych.

Jednakże zarówno ten jak i pozostałe modele analizowanego wskaźnika zagrożenia charakteryzują się bardzo niską wartością otrzymanego współczynnika dopasowania, który mówi o tym w jaki stopniu zmienność poziomu bezpieczeństwa w ruchu drogowym została wyjaśniona przez zmienność wytypowanych do niniejszej analizy czynników społecznych i gospodarczych. Niski współczynnik dopasowania oznacza, iż modele tylko w nieznacznym stopniu wyjaśniają kształtowanie się poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego, przez co żaden z powyższych modeli jest dość dobry do dalszej analizy.

Najwyższy stopień dopasowania, rzędu 40%, otrzymano dla modelu błędu przestrzennego (SEM) oraz modelu opóźnienia przestrzennego (SAR). Z kolei wartość R^2 dla modelu klasycznego osiągnęła zaledwie 24%.

Niewiele lepsze wyniki uzyskano szacując bezpieczeństwo ruchu drogowego mierzone liczbą wypadków drogowych na 1 mln pojazdów (tab. 4.10). Otrzymany w badaniu współczynnik determinacji jest dość niski i w zależności od modelu wynosi od 35% do 49%. Przy założonym poziomie istotności wyniki testu *Morana I* świadczą o występowaniu autokorelacji przestrzennej, zaś wartości kryteriów decyzyjnych *Akaike'a* oraz *Log likelihood* wskazują, iż modelem najlepiej oddającym rzeczywistość jest model SEM. Model opóźnienia przestrzennego dodatkowo odznacza się najwyższą wartością współczynnika dopasowania.

Czynnikiem w największym stopniu przyczyniającym się do poprawy poziomu bezpieczeństwa okazał się być wskaźnik zmotoryzowania. Jak już było wspomniane w niniejszej dysertacji kierunek oddziaływania tego czynnika może być dwójaki. Z jednej strony większa liczba pojazdów zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku, z drugiej zaś większe zatłoczenie dróg wymusza ograniczenie prędkości jazdy. Wyniki otrzymane w niniejszym badaniu wskazują, iż przeważa drugi efekt. Jednoprocentowy wzrost liczby pojazdów w przeliczeniu na statystycznego mieszkańca prowadzić będzie, *ceteris paribus*, do spadku wypadkowości średnio o 1,65%. Podniesienie bezpieczeństwa drogowego będzie również możliwe dzięki budowie kolejnych kilometrów ścieżek rowerowych.

Uzyskane wyniki, wskazały ponadto iż, rozwój gospodarczy mierzony PKB *per capita* osiągnął taki poziom, przy którym dalszy jego wzrost prowadzić będzie, przy

innych czynnikach nie zmienionych, do wzrostu wypadkowości na polskich drogach. Podobne zmiany zachodzą będą na skutek zwiększenia udziału osób młodych w ogólnej liczbie mieszkańców oraz stopy bezrobocia.

Tablica 4.10. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik wypadków drogowych przypadających na 1 mln pojazdów według podregionów w 2014 roku

Zmienna objaśniana: wypadki na pojazdy (ln_wyp_poj)				
Typ modelu:	klasyczny	SAR	SEM	SCM
Metoda estymacji:	MNK	MNW	MNW	MNK
w_ln_wyp_poj (<i>spatial lag</i>)	-	0,42***	-	-
CONSTANT	11,20***	11,49***	11,86***	19,76***
ln_UPC	1,16***	0,96***	0,90***	1,05***
ln_zmot	-1,46***	-1,48***	-1,65***	-1,65***
ln_bezr	0,30**	-	0,30*	-
ln_dr_km	-0,20*	-	-0,22**	-
ln_24-	-	-	1,42**	0,80*
ln_PKB_per capita	-	-	0,49**	-
w_ln_PKB_per capita	-	-	-	0,65*
w_ln_UPC	-	-	-	1,06***
LAMBDA (<i>spatial error</i>)	-	-	0,54***	-
Log likelihood	-19,70	-17,64	-14,08	-12,83
Akaike (AIC)	49,40	43,28	42,17	39,66
Schwarz (SC)	60,78	52,39	58,11	55,60
R ²	0,353	0,414	0,486	0,465
Test normalności				
Jarque-Bera (JB)	1,062 (0,588)	-	-	0,327 (0,849)
Testy heteroskedastyczności przestrzennej				
Breusch-Pagan (BP)	1,055 (0,901)	1,310 (0,520)	4,877 (0,560)	1,980 (0,922)
Koenker-Bassett (KB)	1,492 (0,828)	-	-	2,335 (0,887)
Testy autokorelacji przestrzennej				
Moran's I (error)	2,771 (0,006)	-	-	2,602 (0,009)
Lagrange Multiplier (lag)	7,376 (0,007)	-	-	3,038 (0,081)
Robust LM (lag)	2,945 (0,086)	-	-	0,001 (0,974)
Lagrange Multiplier (error)	4,690 (0,030)	-	-	3,814 (0,051)
Robust LM (error)	0,259 (0,011)	-	-	0,777 (0,378)
Lagrange Multiplier (SARMA)	7,635 (0,022)	-	-	3,815 (0,148)

Objaśnienie *** - statystycznie istotne przy 1% poziomie istotności, ** - statystycznie istotne przy 5% poziomie istotności, * - statystycznie istotne przy 10% poziomie istotności; w nawiasach podano obliczone wartości poziomów istotności dla odrzucenia hipotezy zerowej (*p-values*).

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników estymacji w pakiecie GeoDa.

Ostatnim modelem bezpieczeństwa ruchu drogowego szacowanym w ujęciu przestrzennym jest model ze zmienną objaśnianą zdefiniowaną jako liczba wypadków drogowych w przeliczeniu na 100 km dróg gminnych i powiatowych o twardej

nawierzchni (tab. 4.11.). W tym przypadku najbardziej odpowiednią formą relacji między zmiennymi odznaczał się model z autokorelacją przestrzenną składnika losowego.

Tablica 4.11. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik wypadków drogowych przypadających na 100 km dróg publicznych o twardej nawierzchni według podregionów w 2014 roku

Zmienna objaśniana: wypadki na drogi (ln_wyp_dr)				
Typ modelu:	klasyczny	SAR	SEM	SCM
Metoda estymacji:	MNK	MNW	MNW	MNK
w_ln_wyp_dr (<i>spatial lag</i>)	-	0,28**	-	-
CONSTANT	5,12*	3,39*	1,79*	5,02**
ln_UPC	1,49***	1,46***	1,25***	1,25***
ln_zmot	-2,01***	-1,87***	-1,71***	-2,11***
ln_dr_km	-0,32***	-0,24***	-0,25**	-
ln_PKB_per_capita	0,52*	0,50*	0,71**	-
ln_bezr	0,32*	0,32*	0,40**	-
ln_rower	-	-0,31***	-0,30***	-0,30***
ln_24-	-	-	-	1,44**
w_ln_PKB_per capita	-	-	-	0,25*
w_ln_UPC	-	-	-	1,64***
LAMBDA (<i>spatial error</i>)	-	-	0,48***	-
Log likelihood	-31,71	-28,83	-27,42	-27,57
Akaike (AIC)	77,42	73,66	69,84	71,13
Schwarz (SC)	93,35	91,87	85,78	89,35
R ²	0,770	0,782	0,784	0,795
Test normalności				
Jarque-Bera (JB)	0,948 (0,623)	-	-	0,578 (0,749)
Testy heteroskedastyczności przestrzennej				
Breusch-Pagan (BP)	9,998 (0,125)	10,44 (0,107)	6,921 (0,328)	7,036 (0,425)
Koenker-Bassett (KB)	11,840 (0,066)	-	-	8,993 (0,253)
Testy autokorelacji przestrzennej				
Moran's I (error)	3,085 (0,002)	-	-	2,532 (0,011)
Lagrange Multiplier (lag)	5,299 (0,021)	-	-	3,757 (0,053)
Robust LM (lag)	0,912 (0,340)	-	-	0,517 (0,472)
Lagrange Multiplier (error)	5,394 (0,002)	-	-	3,455 (0,063)
Robust LM (error)	1,007 (0,050)	-	-	0,214 (0,644)
Lagrange Multiplier (SARMA)	6,306 (0,043)	-	-	3,971 (0,137)
Likelihood Ratio test	-	5,758 (0,016)	7,573 (0,006)	-

Objaśnienie: *** - statystycznie istotne przy 1% poziomie istotności, ** - statystycznie istotne przy 5% poziomie istotności, * - statystycznie istotne przy 10% poziomie istotności; w nawiasach podano obliczone wartości poziomów istotności dla odrzucenia hipotezy zerowej (*p-values*).

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników estymacji w pakiecie GeoDa.

Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, iż najsilniejsze zależności zachodzą między poziomem bezpieczeństwa a wskaźnikiem zmotoryzowania. Jednoprocentowy wzrost tego wskaźnika przekładać się będzie na spadek wypadkowości

średnio o 1,71% przy innych czynnikach nie zmienionych. Zwiększenie stopnia zmotoryzowania może prowadzić zarówno do zwiększenia jak i zmniejszenia poziomu bezpieczeństwa. Z jednej strony, zgodnie z formułą Smeeda, większa liczba pojazdów przyczynia się do wzrostu wypadkowości, z drugiej zaś większe zatłoczenie dróg wymusza spowolnienie ruchu, a ponadto wysoka liczba zgonów może skłaniać do wprowadzania bezpiecznych rozwiązań w nowych pojazdach.

Do podniesienia BRD przyczyniać się będzie także wydłużenie sieci dróg gminnych i powiatowych o utwardzonej powierzchni oraz ścieżek rowerowych. Siła oddziaływania tych czynników na analizowany wskaźnik zagrożenia jest zbliżona i wynosi odpowiednio 0,25% oraz 0,30%.

Przeprowadzone badanie wykazało, iż dalszy wzrost rozwoju gospodarczego wpływa na pogorszenie BRD. Wynika to z faktu, iż bogacenie się społeczeństwa wyrażone wartością PKB *per capita* przekłada się na pojawianie się większej liczby coraz szybszych samochodów oraz na większe tempo życia, pośpiech a przez to mniejszą uwagę podczas prowadzenia pojazdu. Również zwiększenie udziału pojazdów ciężkich w ogólnej liczbie pojazdów znajdzie odzwierciedlenie w pogorszeniu sytuacji drogowej. Jednoprocentowy wzrost tego czynnika implikować będzie zwiększenie wypadkowości drogowej średnio o 1,25% *ceteris paribus*. Wzrost stopy bezrobocia również będzie prowadzić do zwiększenia wypadkowości średnio o 0,40%.

4.4.4. Modelowanie BRD na podstawie Środowiskowych Krzywych Kuznetsa

Drugim etapem modelowania bezpieczeństwa w ruchu drogowym było wykorzystanie modeli opartych na Środowiskowych Krzywych Kuznetsa (*Environmental Kuznets Curve, EKC*), które posłużyły do odpowiedzi na pytanie czy stan bezpieczeństwa w ruchu drogowym jest determinowany przez stopień rozwoju gospodarczego badanego regionu. Zgodnie z założeniami EKC poziom wypadkowości w ruchu drogowym będzie wzrastać do pewnego momentu. Po pewnym czasie pojawią się inicjatywny społeczno-gospodarcze ukierunkowanie na podniesienie BRD, które umożliwią osiągnięcie punktu ekstremum, od którego następować będzie poprawa bezpieczeństwa.

Na arenie międzynarodowej analizy takie prowadzili już m.in. przez E. Kopits i M. Cropper [2003], N. Anbarci, M. Escaleras i C. Register [2006], N. Grimm, C. Treibich [2010], T.H. Law, R.B. Noland, A.W. Evans [2010], S. Nishitateno, P.J. Burke [2014]. Autorzy potwierdzili hipotezę, iż wraz ze wzrostem dobrobytu społeczno-

ekonomicznego ludności, wskaźnik śmiertelności w wyniku wypadków komunikacyjnych początkowo rośnie a następnie, po osiągnięciu określonego poziomu, zaczyna spadać. Kształtowanie się poziomu bezpieczeństwa przybiera postać odwróconej litery „U”. Funkcja jest zatem wielomianem drugiego stopnia. Przeprowadzone badania wyraźnie pokazują, iż w krajach słabiej rozwiniętych wskaźniki wypadkowości są znacznie wyższe niż w przypadku krajów bardziej zamożnych.

Nie zawsze jednak osiągnięcie określonego poziomu PKB *per capita* gwarantować będzie utrzymanie spadkowej tendencji wskaźników zagrożenia w dłuższym horyzoncie czasowym. Dzieje się również tak, że osiągnięty zostaje drugi punkt zwrotny (*Turning Point*), od którego ponownie następuje wzrost wypadkowości i śmiertelności w wyniku zdarzeń drogowych. Mamy wtedy do czynienia z tzw. zmodyfikowaną Krzywą EKC, która przybiera postać funkcji kubicznej²⁸.







Celem niniejszego badania jest weryfikacja hipotezy Krzywej Kuzneta, poszukiwanie punktów zwrotnych dla poszczególnych województw Polski oraz wyznaczenie właściwych typów krzywych (wielomiany drugiego bądź trzeciego stopnia). Badanie zostało przeprowadzone na zbiorze 16 województw Polski. Do estymacji wykorzystano modele panelowe z efektami stałymi FEM (ang. *Fixed effect models*) oraz z efektami losowymi REM (ang. *Random effect models*).

W tablicy 4.12 zaprezentowano wyniki diagnozowania wpływu poszczególnych czynników społecznych i gospodarczych na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego. Ze względu na dostępność danych, analizie poddane zostały jedynie wskaźniki zagrożenia wyrażone jako liczba ofiar śmiertelnych przypadających na 1 mln pojazdów, 1000 ludności oraz 100 km dróg publicznych o utwardzonej nawierzchni. Szereg czasowy obejmował lata 1995 – 2014. Modelowanie grupy modeli, wykorzystujących liczbę wypadków drogowych do zdefiniowania poziomu BRD nie zostało przeprowadzone ze względu na ograniczoną dostępność danych liczbowych w układzie wojewódzkim.²⁹

²⁸ Badania z wykorzystaniem zmodyfikowanych Środowiskowych Krzywych Kuzneta dla pomiaru zależności zachodzących między poziomem rozwoju gospodarczego z stopniem degradacji środowiska prowadzili m.in.: V. Costantini, *A modified Environmental Kuznets Curve for Sustainable Development Assessment using panel data*, Nota Di Lovaro 148, FEEM, 2006 oraz M.H. Fotros, E. Torkemani, *Modified Human Development and Sustainability in the Environmental Kuznets Curve, a Panel Data Analysis of Selected Developed, Developing, and Less Developed Countries*, Paper presented at the 8th annual conference of the HDCA, 6-8 September 2011, the Hague, the Netherlands, 2011.

²⁹ Dane dotyczące liczby wypadków drogowych w układzie wojewódzkim dostępne są dopiero od 2001 roku.

Tablica 4.12. Wyniki estymacji BRD w latach 1995-2014 przy zastosowaniu modeli panelowych

Zmienna objaśniana:	ofiary śmiertelne na 1 mln pojazdów (ln_zab_poj) (1)		ofiary śmiertelne na 1000 ludności (ln_zab_lud) (2)		ofiary śmiertelne na 100 km dróg (ln_zab_dr) (3)	
	FEM	REM	FEM	REM	FEM	REM
Typ modelu:						
CONSTANT	-26,74**	-35,05***	-40,55***	-49,30***	-4,42***	-4,42***
ln_PKB_per_capita	30,56***	39,74***	36,39***	45,52***	2,56***	3,43***
ln_PKB ² _per_capita	-8,89***	-11,47***	-10,52***	-13,06***	-0,29***	-0,37***
ln_PKB ³ _per_capita	0,85***	1,09***	1,00***	1,24***	-	-
ln_UPC	0,62***	0,89***	0,55***	0,80***	0,19**	0,43***
ln_zmot	-0,42***	-0,34***	0,55***	-0,41***	-0,29***	-1,18***
ln_drogi	-0,39***	-0,33***	-0,38***	-0,33***	-0,17***	-0,19***
ln_65+	0,43**	0,36*	0,51***	0,53***	0,57***	0,62***
ln_24-	-	1,02***	-	1,18***	-	1,31***
ln_med	-0,24**	-0,23**	-0,19***	-0,22**	-	-
ln_bezr	-	-0,25***	-	-0,26***	-0,13**	-0,13***
time	-0,01**	-	-0,02*	-	-	-
R ²	0,942	-	0,784	-	0,835	-
Test normalności						
Statystyka testu Chi-kwadrat	26,291 (0,102)	5,148 (0,076)	2,841 (0,242)	6,433 (0,140)	2,529 (0,283)	9,676 (0,008)
Ocena istotności efektów grupowych						
Test Hausmana		138,907 (0,000)		137,808 (0,000)		228,098 (0,000)
Test Chowa	26,255 (0,000)		16,924 (0,000)		18,874 (0,000)	
Turning points (TP) w PLN	21 827 48 637	23 729 45 865	22 563 48 610	24 798 45 312	100 476	98 517

Objaśnienie: *** - statystycznie istotne przy 1% poziomie istotności, ** - statystycznie istotne przy 5% poziomie istotności, * - statystycznie istotne przy 10% poziomie istotności; w nawiasach podano obliczone wartości poziomów istotności dla odrzucenia hipotezy zerowej (*p-values*).

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników estymacji w pakiecie STATA 11.

Do odpowiedzi na pytanie czy w analizowanych modelach występują efekty stałe czy losowe wykorzystywany jest test Hausmana. Wartości testów świadczą o tym, iż w żadnym z analizowanych modeli nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej mówiącej o tym, iż oba estymatory są zgodne i nieobciążone, ale UMNK dla modelu z efektami losowymi (REM) są bardziej efektywne. Jednakże statystyka testu Chi-kwadrat wskazała, iż model ze zmienną objaśnianą w postaci liczby ofiar śmiertelnych na 100 km dróg nie posiada cech rozkładu normalnego reszt, przez co jest mniej przydatny do dalszej analizy.

Z wyników zamieszczonych w tabelicy 4.12. można wnioskować, iż w modelowaniu wskaźników zagrożenia wyrażonych jako liczba ofiar śmiertelnych przypadających na 1 mln pojazdów oraz jako liczba ofiar śmiertelnych przypadających na 1000 ludności otrzymane wyniki są zbliżone, choć w pierwszym z nich otrzymano wyższy stopień dopasowania do danych rzeczywistych sięgający 94%.

W obu przypadkach relacje zachodzące między wskaźnikami zagrożenia a PKB *per capita* przyjmują kubiczny kształt Krzywych Kuznetsa. Oznacza to, iż liczba osób, które straciły życie w wypadkach drogowych początkowo rośnie wraz ze zwiększeniem się stopnia bogacenia się społeczeństwa, a następnie po przekroczeniu określonego poziomu PKB *per capita* (dla omawianych modeli TP wynosi odpowiednio: 23 729 PLN oraz 24 798 PLN) zaczyna maleć.

Tendencja spadkowa nie jest jednak utrzymana w całym analizowanym okresie. Po pewnym czasie pojawia się drugi punkt zwrotny, wynoszący dla omawianych wskaźników odpowiednio 45 865 PLN oraz 45 312 PLN *per capita*, po którym liczba ofiar śmiertelnych ponownie zaczyna się zwiększać. Oznacza to, że w Polsce problem niskiego poziomu bezpieczeństwa drogowego wciąż nie został rozwiązany. Drugi punkt przełamania został osiągnięty w najbardziej rozwiniętych gospodarczo województwach jakimi są dolnośląskie, śląskie, wielkopolskie i mazowieckie. Pozostałe województwa znajdują się jeszcze na ścieżce, na której dynamiczny rozwój gospodarki pozytywnie oddziałuje na poziom bezpieczeństwa drogowego.

Z kolei estymacja BRD wyrażonego jako liczba ofiar śmiertelnych przypadających na 100 km dróg wykazała, iż relacje zachodzące między PKB *per capita* a liczbą ofiar przybierają kształt odwróconej litery „U”, czyli klasycznej Krzywej Kuznetsa. Żadne z województw nie przekroczyło jeszcze poziomu dochodu, którego osiągnięcie gwarantuje ograniczenie liczby zabitych w wypadkach komunikacyjnych.

Ponadto, na kształtowanie się poziomu BRD istotny wpływ ma wielkość sieci drogowej, której wydłużenie przekłada się na zmniejszenie liczby ofiar śmiertelnych w zależności od analizowanego wskaźnika zagrożenia średnio o 0,17% – 0,33%. Wyższy poziom opieki medycznej przekładać się będzie na ograniczenie śmiertelności średnio o 0,22 – 0,23%. Dzieje się tak dlatego, że większa liczba pracowników służby zdrowia umożliwi szybsze i sprawniejsze udzielenie pierwszej pomocy ofiarom wypadków drogowych, co przekłada się na zmniejszenie ciężkości wypadków.

Jak już było wspomniane, stopa bezrobocia może prowadzić zarówno do zwiększenia jak i zmniejszenia poziomu BRD. Niniejsze badanie wykazało, iż zależność

między tymi zmiennymi jest ujemna. Negatywne tendencje występujące na rynku pracy powodować będą ograniczenie natężenia ruchu drogowego, co z kolei przełoży się na spadek wskaźników śmiertelności średnio o 0,13% – 0,26% w zależności od analizowanego wskaźnika.

Z kolei czynnikiem oddziałującym w sposób negatywny na poziom bezpieczeństwa drogowego jest liczba pojazdów ciężkich. Zwiększenie ich udziału w ogólnej liczbie zarejestrowanych pojazdów przekłada się na wzrost śmiertelności w wypadkach drogowych średnio o 0,19% – 0,89%. Wprawdzie wypadki z udziałem pojazdów ciężarowych charakteryzują się przeważnie większym stopniem ciężkości, jednak przeprowadzone badanie wskazało, iż zwiększenie ich udziału w ogólnej liczbie pojazdów wymusza ograniczenie prędkości jazdy, co ma pozytywny wpływ na BRD.

Podobne wnioski można wyciągnąć analizując oddziaływanie wskaźnika zmotoryzowania na poziom śmiertelności w wypadkach drogowych. Badania prowadzone nad tym zagadnieniem wskazują, iż stopień zmotoryzowania mieszkańców może w dwojaki sposób przekładać się na bezpieczeństwo. Z jednej strony większa liczba pojazdów zarejestrowanych na statystycznego mieszkańca zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia drogowego. Z drugiej jednak może wystąpić spowolnienie ruchu na skutek zatłoczenia dróg, co z kolei zmniejsza ciężkość wypadków. W niniejszym badaniu przeważał drugi efekt. Każde jednocentowe zwiększenie wskaźnika zmotoryzowania prowadzi będzie do zmniejszenia śmiertelności w wypadkach średnio o 0,29 – 0,34%.

Zgodnie z oczekiwaniami zarówno zwiększenie udziału osób poniżej 24 roku życia jak i osób powyżej 65 roku życia w ogóle populacji przyczyniać się będzie do zmniejszenia bezpieczeństwa drogowego. Przeprowadzone badanie wykazało, iż siła oddziaływania jest większa w przypadku osób młodych. Każde jednocentowe zwiększenie ich udziału w ogólnej liczbie ludności powodować będzie więcej niż proporcjonalne zwiększenie śmiertelności w wypadkach. Powodem może być zbyt duża wiara we własne możliwości a jednocześnie brak wystarczającego doświadczenia. Na podstawie prowadzonych statystyk można zauważyć, iż najczęstszą przyczyną zdarzeń drogowych spowodowanych przez osoby młode jest jazda z nadmierną prędkością, prowadzenie pojazdu pod wpływem alkoholu oraz nieustąpienie pierwszeństwa.

Z kolei jednocentowy wzrost udziału seniorów w ogólnej liczbie ludności prowadzi będzie do wzrostu wypadkowości średnio o 0,36 – 0,57%. W ostatnich latach można zaobserwować zmianę stylu życia starszych osób, które stają się bardziej mobilne

i częściej powadzą samochód. Niestety wraz z wiekiem i gorszym stanem zdrowia wydłuża się czas reakcji kierowcy oraz może dochodzić do złej oceny odległości.

4.5. Podsumowanie

Wyniki analizy ekonomicznej jednoznacznie wskazują, iż stopień rozwoju gospodarczego ma istotne znaczenie w kształtowaniu się poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce. Zgodnie z międzynarodowymi badaniami zaprezentowanymi we wcześniejszej części tego rozdziału, relacje zachodzące pomiędzy PKB *per capita* a wskaźnikami zagrożenia przybierają kształt Środowiskowej Krzywej Kuzneta. Klasyczny kształt tej krzywej oznacza, iż bogacenie się społeczeństwa początkowo wywiera negatywny wpływ na BRD. Po pewnym czasie osiągnięty zostaje jednakże taki poziom dochodu na mieszkańca, po przekroczeniu którego współczynnik śmiertelności w wyniku wypadków drogowych zaczyna maleć.

Modelowanie sytuacji drogowej w Polsce wskazało, iż alternatywna wersja EKC przybierająca kształt sinusoidy (postać kubiczna funkcji) w lepszym stopniu oddaje rzeczywistość. Otrzymane wyniki potwierdziły występowanie drugiego punktu zwrotnego, po którym następuje ponowne pogorszenie BRD. Aktualnie większość województw podąża drogą bezpiecznego rozwoju, jednak jeśli nie zostaną podjęte działania ukierunkowane na poprawę bezpieczeństwa drogowego to wkrótce ten trend ulegnie zmianie. W województwie mazowieckim od 2005 roku każde zwiększenie dochodu *per capita* prowadzi do wzrostu wartości wskaźników zagrożenia. Z kolei w województwie dolnośląskim punkt ten osiągnięty został w 2014 roku, zaś w wielkopolskim i śląskim może to wkrótce nastąpić.

Kolejnym czynnikiem istotnie wpływającym na BRD jest stopień zmotoryzowania społeczeństwa. Kierunek oddziaływania może być jednakże dwojaki. Z jednej strony większa liczba pojazdów zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia drogowego. Z drugiej zaś strony prowadzi do zwiększenia kongestii, co wymusza ograniczenie prędkości jazdy. Z reguły konsekwencje takich wypadków są mniejsze niż w przypadku jazdy z większą prędkością.

Zgodnie z oczekiwaniami rozbudowa sieci drogowej i wzrost nakładów na infrastrukturę drogową implikować będzie poprawę poziomu bezpieczeństwa. Oddawane do użytkowania odcinki dróg krajowych, ekspresowych czy autostrad muszą spełniać wymogi obowiązujących standardów bezpieczeństwa. Zgodnie z opinią J. Bohatkiewicza

[2008, s. 20] nowe drogi projektowane są w taki sposób by sprostać rosnącym potrzebom komunikacyjnym społeczeństwa, ale także by „wybaczać” ludzkie błędy. Sieć drogowa w Polsce formowana przez lata w wyniku kolejnych przekształceń jest daleka od modelowej. Często parametry techniczne i geometria drogi poza obszarem zabudowanym i wewnątrz obszaru zabudowanego nie różnią się, zwłaszcza na odcinkach dróg przechodzących przez małe miejscowości. Sprzyja to rozwijaniu nadmiernych prędkości jazdy i powoduje zagrożenia zarówno dla pieszych, rowerzystów i ruchu lokalnego, jak i dla ruchu tranzytowego. Przemysłana rozbudowa i modernizacja istniejącej infrastruktury drogowej gwarantuje wyraźną poprawę bezpieczeństwa w ruchu drogowym.

Wyniki modelowania wskazały, iż zwiększenie udziału pojazdów ciężkich w ogólnej liczbie zarejestrowanych pojazdów przełoży się na wzrost analizowanych wskaźników zagrożenia. Jest to wskazówka dla zarządzających by konsekwentnie dążyć do wprowadzania rozdzielania funkcji dróg i struktury ruchu. Należy eliminować współistnienie na tej samej drodze ruchu lokalnego z szybkim ruchem samochodowym relacji międzyregionalnych, międzynarodowych oraz z dużym udziałem pojazdów ciężarowych. Z jednej strony łączenie ruchu pojazdów ciężkich z osobowymi wymusza ograniczenie średniej prędkości jazdy, z drugiej jednak wypadki z udziałem samochodów ciężkich mają zdecydowanie cięższe konsekwencje, często wiążące się ze śmiercią osób w nich uczestniczących.

Niniejsze badanie potwierdziło, iż osoby młode, które nie przekroczyły 24 roku życia stanowią grupę podwyższonego ryzyka. Są to osoby, które mają stosunkowo niewielkie doświadczenie jako kierowcy i nie potrafią zapanować nad samochodem a jednocześnie w pełni ufają swym umiejętnościom i wykazują brawurowym zachowaniem. Przeważnie dobrze sobie radzą w sytuacjach typowych jednak w przypadku zdarzeń nowych, niecodziennych brak im wprawy. Najczęstszą przyczyną zdarzeń drogowych spowodowanych przez osoby młode jest jazda pod wpływem alkoholu, nieustąpienie pierwszeństwa, nadmierna prędkość, utrzymywanie niewystarczających odstępów między pojazdami. Drugą grupą wiekową analizowaną w badaniu są osoby, które ukończyły już 65 lat. Podobnie jak osoby młode, seniorzy cechują się nadmierną wiarą we własne umiejętności, tłumacząc to wieloletnim doświadczeniem. Z biegiem lat jednakże czas reakcji każdego człowieka ulega wydłużeniu, pogarsza się wzrok, pojawiają się problemy z prawidłową oceną odległości i sytuacji drogowej.

Osoby starsze – piesi są sprawcami ponad 20% wypadków zwinionych przez pieszych. Często osoby w podeszłym wieku mają problem ze sprawnym poruszaniem się i przejście całego skrzyżowania na zielonym świetle jest dla nich bardzo trudne bądź niemożliwe. Każdego roku około 30% pieszych ofiar śmiertelnych stanowią seniorzy. Ogólny stan zdrowia i choroby powodują, że ciężkość wypadków z ich udziałem jest znacznie większa. Leczenie obrażeń i proces rekonwalescencji u seniorów jest znacznie dłuższy niż w przypadku osób młodych a wielu z nich nigdy nie odzyskuje pełnej sprawności. Bardzo duże znaczenie ma zatem takie kształtowanie środowiska drogowego by było przyjazne osobom starszym. Ponadto, należy wpajać młodszym uczestnikom ruchu drogowego zasady tolerancji wobec osób starszych.

Sprawnie działający system ratowniczy i opieki powypadkowej zmniejsza liczbę ofiar śmiertelnych w wyniku wypadków drogowych, co zostało potwierdzone w niniejszym badaniu. W ostatnich latach można zaobserwować, iż system ratownictwa w Polsce działa coraz sprawniej. Niezmiernie ważne jest zapewnienie szybkiej opieki medycznej na miejscu zdarzenia. Jest to tzw. „platynowe 10 minut” liczone od momentu wypadku do chwili podjęcia akcji ratunkowej przez wykwalifikowaną kadrę medyczną. „Złotą godziną” określane jest z kolei pierwsze 60 minut od momentu zdarzenia do chwili przetransportowania ofiary wypadku do szpitala. Szybkie udzielenie pomocy umożliwia nie tylko przeżycie większej liczby osób ale także skrócenie okresu powrotu rannych do zdrowia.

Przeprowadzona analiza ekonometryczna udowodniła, iż uwzględnienie zależności przestrzennych jest pomocne w uzyskaniu wskazówek do dalszych działań na rzecz BRD. Istnieje zależność pomiędzy sytuacją jednego regionu i jego oddziaływaniem na sytuację panującą w regionach sąsiadujących. Zintegrowane działania władz rządowych i samorządowych są niezbędne dla prawidłowej polityki ukierunkowanej na podnoszenie poziomu BRD.

Wydatki ponoszone w dziele 600 – Transport i Łączność wywierają korzystny wpływ nie tylko na poziom bezpieczeństwa analizowanego regionu ale także na regiony otaczające. Dzieje się tak dlatego, że rozbudowa nowoczesnej, bezpiecznej infrastruktury drogowej uwzględniającej wymagania ładu przestrzennego nie jest możliwa bez współpracy międzyregionalnej. Zarządzanie systemem drogowym w Polsce leży w gestii różnych podmiotów. Jak podają eksperci z PwC w raporcie opracowanym na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, GDDKiA jest odpowiedzialna za rozwój infrastruktury drogowej tylko w zakresie autostrad, dróg ekspresowych i

pozostałych dróg krajowych (...). Pozostała infrastruktura drogowa leży w gestii administracji lokalnej: województw, powiatów i gmin, które budują drogi lokalne oraz są odpowiedzialne za ich utrzymanie.

Również zakres oddziaływania prowadzonych akcji promujących bezpieczeństwo ruchu drogowego rozciąga się poza granice administracyjne regionu, w którym zostały podjęte. Przykładem takich działań mogą być m.in. kontrole stanu trzeźwości kierowców, stosowania pasów bezpieczeństwa, stanu technicznego pojazdów, stosowania odblasków przez pieszych czy rowerzystów.

ZAKOŃCZENIE

Dyskusje teoretyczne i badania empiryczne przeprowadzone w niniejszej dysertacji pozwoliły na realizację celu głównego pracy zakładającego identyfikację czynników społecznych i ekonomicznych wpływających na kształtowanie się liczby ofiar śmiertelnych i wypadków drogowych Polsce w latach 1995 – 2014 z zastosowaniem metod statystyki i ekonometrii z uwzględnieniem interakcji przestrzennych. Przedstawione we wstępie pracy cele szczegółowe zostały zrealizowane a postawione w rozprawie hipotezy badawcze można uznać za pozytywnie zweryfikowane.

Rozważania teoretyczne nad zagadnieniem bezpieczeństwa ruchu drogowego zostały poprzedzone przedstawieniem znaczenia sprawnego funkcjonowania transportu dla rozwoju całej gospodarki i życia społecznego. W trakcie prowadzonych rozważań zwrócono uwagę na jego efekty zewnętrzne w postaci hałasu, zanieczyszczenia powietrza, zmian klimatu, przeciążenia sieci drogowej oraz wypadków drogowych, które stanowią przedmiot niniejszej pracy.

Publikacje i opracowania statystyczne dotyczące kosztów zewnętrznych transportu, a zwłaszcza kosztów zdarzeń drogowych (prezentowane w pierwszym rozdziale niniejszej pracy) pozwoliły na zobrazowanie skali strat ponoszonych każdego roku przez gospodarkę. Zgodnie z szacunkami Instytutu Badawczego Dróg i Mostów koszt jednostkowy ofiary śmiertelnej w 2015 r. wyniósł 2,05 mln PNL, zaś ofiary ciężko rannej 2,32 mln PLN. Łączne straty polskiej gospodarki z tytułu wszystkich zdarzeń drogowych sięgnęły 3% PKB przekraczając 48 mld PLN. Ponadto należy zwrócić uwagę, iż oprócz strat materialnych społeczeństwo ponosi dodatkowo straty społeczne w postaci traumy i poczucia bólu uczestników zdarzenia oraz ich bliskich.

Zobrazowanie skali strat powstałych w wyniku zdarzeń drogowych stanowiło wstęp do przeprowadzenia przeglądu działań podejmowanych na szczeblu krajowym i międzynarodowym na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Ta część rozważań oparta była na licznych dyrektywach, strategiach i programach opracowanych przez podmioty powołane do wspierania BRD.

W dalszej części dysertacji dokonano diagnozy i oceny stanu bezpieczeństwa drogowego. Zebrany materiał liczbowy wykorzystano do przedstawienia dynamiki zmian zachodzących w latach 1995 – 2014 oraz do scharakteryzowania sytuacji Polski w układzie jednostek terytorialnych NUTS 2 i NUTS 3. Z przeprowadzonej analizy wynika, iż w omawianym okresie udało się osiągnąć znaczną poprawę BRD. Konfrontacja z

wynikami wypracowanymi przez inne kraje Unii Europejskiej wykazała jednak, iż Polska osiągnęła najmniejszy postęp i stała się krajem o jednym z najwyższych wskaźników śmiertelności.

Przegląd literatury przedmiotu oraz badań prowadzonych przez liczne instytucje i organizacje pozwolił na wytypowanie czynników poznawczych mogących mieć istotny wpływ na kształtowanie się poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Dało to podstawy do przeprowadzenia analiz empirycznych. Podjęto próby wyznaczenia klastrów miejsc szczególnie niebezpiecznych oraz oceny powiązań między wybranymi wskaźnikami zagrożenia a zaproponowanymi zmiennymi oraz ich otoczeniem. Ponadto, rozważania empiryczne skoncentrowane były na wyznaczeniu wartości dochodu, od którego poziom wypadkowości zaczyna maleć.

Hipoteza pierwsza, która stanowiła, iż kształtowanie się wskaźników zagrożenia w Polsce uwarunkowane jest występowaniem interakcji przestrzennych między nimi oraz wybranymi zmiennymi społecznymi i gospodarczymi została zweryfikowana pozytywnie.

Rezultaty szacowania modeli regresji przestrzennej BRD wykazały, że największy wpływ na występowanie wskaźników zagrożenia ma stopień zmotoryzowania społeczeństwa. Nieco mniejsza, choć również wysoka, siła relacji występowała między analizowanymi wskaźnikami bezpieczeństwa a udziałem pojazdów ciężkich w ogólnej liczbie zarejestrowanych pojazdów. Wpływ tego czynnika na rozmieszczenie zdarzeń drogowych może być wynikiem lokalizacji ośrodków przemysłu i konsumpcji, co wiąże się z koniecznością przewozu towarów z miejsca wytwarzania do rynków zbytu. Nieco mniejsza siła oddziaływania została zdiagnozowana w przypadku PKB *per capita* i obciążenia sieci drogowej.

Potwierdzenie występowania efektów przestrzennych w koncentracji wskaźników zagrożenia było także możliwe dzięki wykorzystaniu miar autokorelacji przestrzennej. Wyniki badania wyraźnie wskazują, na istnienie powiązań między analizowanymi podregionami oraz ich oddziaływania na sąsiadujące obszary.

Grupowanie się regionów podobnych pod względem czynników determinujących poziom bezpieczeństwa drogowego zostało także potwierdzone dzięki zastosowaniu analizy skupień.

Pomyślne rezultaty dała również weryfikacja **drugiej hipotezy**, zakładającej iż wzrost gospodarczy regionu w początkowym okresie implikuje zwiększenie wskaźników

zagrożenia, jednak po przekroczeniu określonego punktu rozwój ten przyczynia się do poprawy BRD.

Kształtowanie się poziomu bezpieczeństwa przybiera postać odwróconej litery „U”. Dzieje się tak, ponieważ na pewnym etapie rozwoju gospodarczego społeczeństwa zaczynają dostrzegać wagę problemu i podejmują działania ukierunkowane na ograniczenie negatywnych efektów transportu.

Pierwsze prace nad zagadnieniem BRD zostały podjęte już ponad 30 lat temu w krajach o wysokim stopniu rozwoju gospodarczego, charakteryzujących się wysokim współczynnikiem zmotoryzowania. Dostrzeżono wtedy, iż zagrożenie na drogach osiągnęło poziom krytyczny i ograniczenie liczby ofiar śmiertelnych powinno stać się priorytetem władz każdego kraju. Zwrócono uwagę, iż niski stan bezpieczeństwa drogowego jest problemem o znaczeniu globalnym dlatego tak ważna jest współpraca międzynarodowa. Daje to możliwość korzystania przez kraje słabo i średnio rozwinięte z doświadczeń wypracowanych przez kraje o wysokim stopniu zmotoryzowania.

Na przestrzeni lat powstało wiele programów i strategii związanych z zagadnieniem BRD. Można tu wymienić m.in. opublikowaną w 2001 roku *Białą Księgę*, w której zwrócono uwagę na konieczność harmonizacji reguł prawnych, sankcjonujących i kontrolujących a także projektowania bezpieczniejszych pojazdów, promocję nowych technologii i zarządzania prędkością. W 2009 roku Bank Światowy przygotował instrukcję postępowania w celu podniesienia BRD. Również Organizacja Narodów Zjednoczonych kładzie duży nacisk na promowanie bezpiecznych pojazdów, poprawienie bezpieczeństwa infrastruktury drogowej i zapewnienie mobilności dla wszystkich uczestników ruchu drogowego, zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego, promowanie bezpiecznych zachowań uczestników ruchu drogowego oraz wspieranie ratownictwa i opiekę powypadkową. To tylko niektóre z szerokiego wachlarza działań podejmowanych w celu ochrony życia i zdrowia uczestników ruchu drogowego.

Podsumowując, można zauważyć, że wzrost bogactwa kraju w pewnym momencie powoduje, iż ludzie przestają godzić się na ponoszenie kosztów zewnętrznych transportu w postaci wypadków drogowych. Podejmowanych jest szereg inicjatyw, które przekładają się na podniesienie poziomu BRD. Osiągnięty zostaje zatem pierwszy punkt przełamania, od którego dalszy wzrost poziomu dochodu gwarantować będzie poprawę bezpieczeństwa. Czasami zdarza się jednak, iż ta pozytywna tendencja nie jest utrzymana w dłuższej perspektywie czasowej. Bywa, iż rozwój gospodarczy staje się tak wysoki, zaś

zapotrzebowanie na transport tak duże, iż ponownie następuje wzrost wskaźników zagrożenia.

Przeprowadzone badanie potwierdziło występowanie zależności między wybranymi wskaźnikami zagrożenia w polskich województwach a poziomem bogactwa regionu mierzonego wielkością PKB *per capita* w latach 1995 – 2014.

Zagadnienie bezpieczeństwa w ruchu drogowym jest przedmiotem wielu opracowań i analiz zarówno na arenie międzynarodowej jak i krajowej. Autorzy podejmują się prób wytypowania czynników mogących mieć istotny wpływ na liczbę ofiar śmiertelnych i wypadków drogowych oraz wykrycia charakteru relacji występujących między poszczególnymi zmiennymi.

Zastosowanie narzędzi statystyki przestrzennej w postaci analizy skupień oraz globalnych i lokalnych miar autokorelacji przestrzennej do analizy bezpieczeństwa ruchu drogowego wzbogaciło badanie o ocenę sąsiedztwa.

Konstrukcja i weryfikacja modeli ekonometrii przestrzennej pozwoliła na diagnozę powiązań między wskaźnikami zagrożenia a wybranymi cechami społecznymi i ekonomicznymi oraz ich otoczeniem. Jest to szczególnie ważne w przypadku występowania interakcji między analizowanymi podregionami a ich oddziaływaniem na jednostki sąsiadujące.

Skorzystanie z założeń Środowiskowej Krzywej Kuzneta oraz zastosowanie odpowiedniej metodologii modelowania panelowego umożliwiło sformułowanie odpowiedzi na pytanie czy poszczególne województwa podążają ścieżką zrównoważonego rozwoju transportu.

Rezultaty przeprowadzonych analiz potwierdziły zatem główne tezy badawcze postawione w niniejszej rozprawie oraz umożliwiły realizację jej celów. Uzyskane wnioski mogą stanowić cenne źródło informacji dla władz lokalnych i krajowych na temat zagrożeń w ruchu drogowym.

BIBLIOGRAFIA

- Abdalla I. M. [2014], *Forecasting Trend of Traffic Fatalities in the United Arab Emirates*, Conference in Prague, Mathematical Methods in Engineering and Economics.
- Agyemang B., Abledu G. K., Semevoh R. [2013], *Regression analysis of road traffic accidents and population growth in Ghana*, International Journal of Business and Social Research (IJBSR), Vol. 3 (10).
- Akaike H. [1974], *A new look at the statistical model identification*, IEEE Transactions on Automatic Control 19.
- Akaike H. [1981], *Likelihood of a model and information criteria*, Journal of Econometrics 16.
- Akgüngör A. P., Doğan E. [2009], *An application of modified Smeed, adapter Andreassen and artificial neural network accident models to three metropolitan cities of Turkey*, Scientific Research and Essay, Vol. 4(9).
- Alberini, A., Chiabai A. [2007], *Urban environmental health and sensitive populations: How much are the Italians willing to pay to reduce their risks?*, Regional Science and Urban Economics 37.
- Allsop R.E. [2012], *Wyniki badań bezpieczeństwa ruchu drogowego w projekcie ZEUS w kontekście polityki UE i dekady działań ONZ 2011 – 2020*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 2012/4, Kraków.
- Al-Matawah J., Jadaan K. [2009], *Application of prediction techniques to road safety in developing countries*, International Journal of Applied Science and Engineering, Vol. 7(2).
- Andreassen D. [1985], *Linking deaths with vehicles and population*. Traffic Engineering and Control 26(11).
- Andreassen D. [1991], *Population and registered vehicle data and road deaths*, Accident Analysis & Prevention 23(5).
- Anselin L. [1995], *Local indicators of spatial association – LISA*, Geographical Analysis.
- Anselin, L., R. Florax [1995], *Small sample properties of tests for spatial dependence in regression models: some further results* in Anselin L, Florax (red.), *New Directions in Spatial Econometrics*, Berlin: Springer-Verlag.
- Anselin L. [1999], *Spatial econometrics*, Bruton Center, University of Texas, Dallas, <https://pdfs.semanticscholar.org/47be/74ada1f72cb5fd50e45ba4e448afc74c7cf8.pdf>
- Arbia G. [2006], *Spatial Econometrics: Statistical Foundations and Applications to Regional Convergence*, Springer-Verlag, Berlin.

- Balicki A. [2009], *Statystyczna analiza wielowymiarowa i jej zastosowania społeczno-ekonomiczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Bąk J., Bąk-Gajda D. [2008], *Psychologiczne czynniki bezpieczeństwa ruchu drogowego*, Eksploatacja i Niezawodność Nr 2/2008, Nauka i Technika, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, Warszawa.
- Bivand R. [1980], *Autokorelacja przestrzenna a metody analizy statystycznej w geografii*, [w:] Chojnicki Z. (red), *Analiza regresji w geografii*, PWN, Poznań.
- Black W. R. [1992], *Highway accidents: A Spatial and Temporal Analysis*, Transportation Research Record, Vol.1318.
- Bliss T., Breen J. [2009], *Country Guidelines for the Conduct of Road Safety Management Capacity Reviews and the Specification of Lead Agency Reforms, Investment Strategies and Safe System Projects*, World Bank Global Road Safety Facility.
- Bohatkiewicz J. (red.), Biernacki S., Drach M., Kozłowski D., Nowak P. [2008], *Zasady uspokajania ruchu na drogach za pomocą fizycznych środków technicznych*, Biuro Ekspertyz i Projektów Budownictwa Komunikacyjnego „EKKOM” Sp. z o.o., Opracowano na zlecenie Ministerstwa Infrastruktury, umowa nr TRD/1/2008 z dnia 05.02.2008 r.
- Borsos A. [2012], *Long-term safety trends related to vehicle ownership in 26 countries*, The paper submitted for presentation at Transportation Research Board 2012 Annual Meeting, Washington DC.
- Borys T. [2005], *Wąskie i szerokie interpretacje zrównoważonego rozwoju oraz konsekwencje wyboru*, [w:] Papuziński A. (red.), *Zrównoważony rozwój – od utopii do praw człowieka*, Wyd. Branta, Bydgoszcz.
- Borys T., Markowska M., Brzozowski T. [2008], *Raport z realizacji ekspertyzy „Analiza istniejących danych statystycznych pod kątem ich użyteczności dla określenia poziomu zrównoważonego rozwoju transportu wraz z propozycją ich rozszerzenia”*. Jelenia Góra – Warszawa.
- Burdzik R., Kabot M., Cieśla M. [2014], *Podział i internalizacja kosztów zewnętrznych transportu*, Logistyka 2014/4, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.
- Burnewicz J. [2005], *Sektor samochodowy Unii Europejskiej*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, [w:] Burdzik R., Kabot M., Cieśla M. [2014], *Podział i internalizacja kosztów zewnętrznych transportu*, Logistyka 2014/4, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.
- Castillo-Manzano JI. [2014], *Could being in the European Union save lives? An econometric analysis of the 3rd European Road Safety Action Program*.
- Cellmer R. [2012], *Analiza zjawiska autokorelacji przestrzennej cen transakcyjnych na rynku nieruchomości lokalnych*, Scientiarum Polonorum, Acta Sci. Pol., Administratio Locorum 11(1).

- Chudy-Laskowska K., Pisula T. [2014], *Analiza bezpieczeństwa w ruchu drogowym w Polsce na tle wybranych krajów Unii Europejskiej*, Logistyka 3/2014, Poznań, <http://www.czasopismologistyka.pl/artykuly-naukowe/send/298-artykuly-na-plycie-cd-1/3907>.
- Cliff A.D., Ord J.K. [1981], *Spatial process: Models and applications*, Pion, London.
- Costantini V. [2006], *A modified Environmental Kuznets Curve for Sustainable Development Assessment using panel data*, Nota Di Lovaro 148, FEEM.
- Czapski R. we współpracy z McMahon K., Dahdah S., Bank Światowy [2011], *Relacja między Produktem Krajowym Brutto a kosztami ofiar wypadków drogowych, czyli jak efektywnie inwestować w bezpieczeństwo drogowe*, [w:] GDDKiA, *Poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego jako wynik synergii podejmowanych działań*, Międzynarodowy Kongres Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Toruń.
- Dańska-Borsiak B. [2011], *Dynamiczne modele panelowe w badaniach ekonomicznych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- De Dios Ortúzar J., Rizzi L.I. [2006], *Estimating the Willingness-to-pay for road safety improvement*, Transport Reviews , Vol. 26, No 4.
- Florax R.J.G.M., Nijkamp P. [2003], *Misspecification in linear spatial regressions models*, Tinbergen Institute Discussion Paper, No. 81, Amsterdam, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.553.1666&rep=rep1&type=pdf>.
- Fotros M. H., Torkemani E. [2011], *Modified Human Development and Sustainability in the Environmental Kuznets Curve, a Panel Data Analysis of Selected Developed, Developing, and Less Developed Countries*, Paper presented at the 8th annual conference of the HDCA, 6-8 September 2011, the Hague, the Netherlands.
- Gabara A., Sordyl J. [2014], *Wybrane aspekty Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego na terenie miasta i powiatu Bielsko-Biała*, ZN Logistyka Nr 3/2014, Poznań.
- Getis A., Ord J.K. [1995], *Local spatial autocorrelation statistics: Distributional issues and an application*, Geographical Analysis, vol. 27.
- Getis A., Ord J.K. [2001], *Testing for local spatial autocorrelation in the presence of global autocorrelation*, Journal of Regional Science, vol. 41.
- Getis A., Aldstadt J. [2004], *Constructing the spatial weights matrix using a local statistics*, Geographical Analysis, vol. 36, No. 2.
- Greenawalt K. R. [2006], *The effect of macroeconomic conditions of traffic fatality rates across the United States*, A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Social and Applied Economics, Wright State University.
- Griffith, D.A. [2003], *Spatial Autocorrelation and Spatial Filtering*, Springer, Berlin-Heidelberg, [w:] Kołodziejczak A., Kossowski T [2016]., *Wykorzystanie metody*

autokorelacji przestrzennej do analizy ubóstwa na obszarach wiejskich. Statystyka w Praktyce. Wiadomości Statystyczne, Nr 10(665).

- Grimm M., Treibich C. [2010], *Socio-economic determinants of road traffic accident fatalities in low and middle income countries*, International Institute of Social Studies, Working Paper No. 504.
- Grossman G.M., Krueger A.M. [1991], *Environmental impact of a North American free trade agreement*, [w:] *The U.S. – Mexico Free Trade Agreement*, Garber P., (red.), Cambridge, MA: MIT Press.
- Grzywacz W., Burnewicz J. [1989], *Ekonomika transportu*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Haddak M.M., Havet N., Lefèvre M. [2014], *Willingness-to-pay for road safety improvement*, GATE Groupe d'Analyse et de Théorie Économique Lyon St Étienne, WP 1406, Ecully.
- Haddak M.M. [2016], *Estimating the Willingness-to-pay for road safety improvement*, Transportation Research Procedia 14.
- Hong J., Lee S., Lim J., Kim J. [2013], *Application of spatial econometrics analysis for traffic accident prediction models in urban areas*, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.9.
- Iwanowicz D, Szczuraszek T. [2016], *Dylematy przy ustalaniu staniu przesylenia ruchem wlotów skrzyżowań z sygnalizacją świetlną*, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA, t. XXXIII, z. 63 (1/II/16), styczeń-marzec 2016.
- International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Raport końcowy [2013], *Przegląd potencjału w zakresie zarządzania bezpieczeństwem drogowym w Polsce* (tłumaczenie z języka angielskiego).
- Jacyna M. [2009], *Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych*, Wydawnictwo Oficyny Wydawniczej Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Jamroz K. [2008], *Review of road safety theories and models. Przegląd teorii i modeli bezpieczeństwa ruchu drogowego*, Journal of KONBiN 1(4).
- Jamroz K. [2011], *Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- Jamroz K. [2012], *Rozwój społeczno-gospodarczy głównym uwarunkowaniem bezpieczeństwa ruchu drogowego*, Transport Miejski i Regionalny, NR 2012/4, Kraków.
- Jamroz K. [2013], Michalski L., *Analiza możliwości realizacji celów strategicznych bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport 96/2013.

- Janc K. [2006], *Zjawisko autokorelacji przestrzennej na przykładzie statystyki I Morana oraz lokalnych wskaźników zależności przestrzennej (LISA) – wybrane zagadnienia metodyczne* [w:] Komornicki T., Podgórski Z. (red.), *Idee i praktyczny uniwersalizm geografii*, Dokumentacja Geograficzna, nr 33, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Jankowska E. [2016], *Środowiskowa Krzywa Kuzneta w dekarbonizacji europejskich gospodarek*, *Studia Ekonomiczne, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach* Nr 289/2016, Katowice.
- Kałużny R. [2012], *Empiryczna weryfikacja zachowania się kierowców w sytuacjach wypadku drogowego*, *ZN WSOWL*, Nr 3 (165) 2012, Wrocław.
- Kamiński M., Pawlak M. [2011], *Zastosowanie algorytmu klasteringu rozmytego w optymalizacji neuronowo-rozmytych detektorów uszkodzeń wirnika silnika indukcyjnego*, *Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej*, nr 65, Wrocław.
- Kantorowicz J., Rzońca A., Jutkiewicz P., Kołos N., Stokłosa M., Kiwiel A., Koźmińska M., Patorska J., Lewandowski P., Radwan- Röhrenscheff M. [2009], *Którędy droga? Raport o tym, jak odblokować inwestycje w Polsce*, Fundacja FOR PricewaterhouseCoopers Wardyńscy i Wspólnicy 4CFuture, Warszawa.
- Kądziołka K. [2015], *Przestrzenno-czasowa analiza nasilenia wypadków drogowych w Polsce*, *Contemporary Economy Electronic Scientific Journal, Współczesna Gospodarka*, Vol. 6 Issue 4.
- Kołodziejczak A., Kossowski T. [2016], *Wykorzystanie metody autokorelacji przestrzennej do analizy ubóstwa na obszarach wiejskich*. *Statystyka w Praktyce. Wiadomości Statystyczne*, Nr 10(665).
- Koornstra M. J. [1997], *Predicting the development of traffic fatalities in Latin-American and Caribbean countries*, Paper presented at the OECD conference on road safety in Latin-American and Caribbean countries, Sao Paulo, Brazil 1995, SWOV Institute for Road Safety Research, The Netherlands, Leidschendam.
- Koornstra M. J. [2007], *Prediction of traffic fatalities and prospects for mobility becoming sustainable-safe*, *Sadhana*, Vol. 32, Part 4.
- Kopczewska K. [2007], *Ekonometria i statystyka przestrzenna z wykorzystaniem programu R CRAN*, CeDeWu.PL, Wydawnictwa Fachowe, Warszawa.
- Kopits E., Cropper M. [2003], *Traffic fatalities and economic growth*, Policy Research Working Paper, The World Bank Development Research Group Infrastructure and Environment.
- Koren C., Borsos A. [2010], *Is Smeed low still valid? A world-wide analysis of the trends in fatality rates*, *Journal of Society for Transportation and Traffic Studies*.
- Koren C., Borsos A. [2012], *The advantage of late-comers: Analysis of road fatality rates in the EU Member States*, Transport Research Arena, Athens.

- Koren C., Borsos A. [2013], *From increasing to decreasing fatality figures. Where is a turning point?*, Proceeding of the Eastern Society for Transportation Studies, vol. 9.
- Korolewska M. [2012], *Wydatki publiczne na infrastrukturę transportu lądowego w Polsce*, Studia BAS, Nr 4(32), www.bas.sejm.gov.pl.
- Koshal R. [1976], *Deaths from Road Accidents in the United States*, Journal of Transportation Economics and Policy 10.
- Kosmowski K. [2003], *Metodyka analizy ryzyka w zarządzaniu niezawodnością i bezpieczeństwem elektrowni jądrowych*, Politechnika Gdańska, Monografie, 33/2003.
- Krystek R. [2012], *Słowo wstępne*, Transport Miejski i Regionalny, NR 2012/4, Kraków.
- Krzykała F. [2004], *Socjologia transportu w zarysie*, Akademia Ekonomiczna w Poznaniu, Poznań.
- Kuznets S. [1955], *Economic growth and income equality*, American Economic Review, Vol. 41, No 1.
- Law T. H., Noland R. B., Evans A. W. [2011], *The source of the Kuznets relationship between road fatalities and economic growth*, Journal of Transport Geography, vol. 10, Issue 2.
- Le Sage J. [1999], *Spatial Econometrics*, [w:] Loveridge S. (red.), *The book of regional science*, Regional Research Institute, West Virginia University, Morgantown.
- Lebine N. [1995], *Spatial Analysis of Honolulu Motor Vehicle Crashes*, Accident Analysis and Prevention, Vol. 27 No. 5.
- Longley P., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. [2008], *GIS. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Losch A. [1961], *Gospodarka przestrzenna. Teoria lokalizacji*, PWE, Warszawa.
- Lowenberg-DeBoer J.M., Griffin T.W, Florax R.J.G.M. [2006], *Use of cross regression to model local spatial autocorrelation in precision agriculture*, https://www.researchgate.net/publication/253589515_USE_OF_CROSS_REGRESSION_TO_MODEL_LOCAL_SPATIAL_AUTOCORRELATION_IN_PRECISION_AGRICULTURE
- Maddala G.S. [2008], *Ekonometria*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Malina A. [2004], *Wielowymiarowa analiza przestrzennego zróżnicowania struktury gospodarki Polski według województw*, Akademia Ekonomiczna, Kraków.
- Malina A. [2008], *Analiza przestrzennego zróżnicowania poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego powiatów województwa małopolskiego w latach 2000 – 2004*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie nr 797, Kraków.

- Markowska M., Sobczak E. [2002], *Metody identyfikacji czynników rozwoju regionalnego*, [w:] Sobczak E. (red.), *Gospodarka lokalna w teorii i praktyce*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu,
- McCullagh P., Nelder J. A. [1983], *Generalized Linear Model*, Chapman and Hall, London.
- Merkisz J., Nowakowski T., Smalko Z. [2007], *Bezpieczeństwo w transporcie – wybrane zagadnienia* [w:] Liberadzki B. (red.), Mindur L. (red.), *Uwarunkowania rozwoju systemu transportowego Polski*, ITE-PIB, Warszawa-Radom.
- Michalski L., Jamroz K., Gajda D. [2012], *Wstępna ewaluacja interim krajowego programu bezpieczeństwa ruchu drogowego GAMBIT 2005*, Transport Miejski i Regionalny, 2012/4, Kraków.
- Mindur M. [2005], *Wzajemne relacje między gospodarką a transportem*, *Elektroniczne Czasopismo Naukowe z Dziedzin Logistyki*, Vol. 1, Issue 1, No 1, http://www.logforum.net/vol1/issue1/no6/6_1_1_05.html.
- Młodak A. [2006], *Analiza taksonomiczna w statystyce regionalnej*, Difin, Warszawa.
- Moran P. [1950], *Notes on continuous stochastic phenomena*, *Biometrika*.
- Nishitaten S., Burke P.J. [2014], *The motorcycle Kuznets curve*, Working Paper in Trade and Development, No 2014/04, Australian National University, https://acde.crawford.anu.edu.au/.../acde_wp_econ_2014_04.pdf
- Olejnik K., Woźniak G. [2010], *Bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego (BRD) – identyfikacja zagrożeń i ryzyka w eksploatacji środków transportu*, ZN WSOWL, nr 4 (158), Wrocław.
- Ostasiewicz W. (red.) [1991], *Statystyczne metody analizy danych*, Akademia Ekonomiczna, Wrocław.
- Park S. H. [2010], *A Spatial Analysis Method for Identifying Hazardous Locations on Expressway*, Seoul National University, Ph.D. dissertation.
- Pawłowska B. [2009], *How much does the society pay for road transport development in terms of road accidents? – European experiences*, Proceedings of the 6th International Scientific Conference TRANSBALTICA 2009.
- Pawłowska B. [2012], *Rozwiązania poprawiające negatywne relacje środowiskowe i bezpieczeństwo w transporcie*, [w:] Bąk M., *Integracja transportu pasażerskiego w Unii Europejskiej*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego, Transport i Logistyka nr 45, Gdańsk.
- Pawłowska B. [2013], *Zrównoważony rozwój transport na tle współczesnych procesów społeczno-gospodarczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Pietrzykowski R. [2011], *Wykorzystanie metod statystycznej analizy przestrzennej w badaniach ekonomicznych*; *Roczniki Ekonomiczne Kujawsko-Pomorskiej Szkoły w Bydgoszczy* Nr 11, Bydgoszcz.

- Ponnaluri R. V. [2012], *Modeling road traffic fatalities in India: Smeed's law, time invariance and regional specificity*, IATSS Research 36.
- Puławska S. [2008], *Koszty zewnętrzne w polityce transportowej Unii Europejskiej*, [w:] Raczyński J. (red.), *Technika transportu szynowego*, Instytut Naukowo-Wydawniczy „TTS” Sp. z o.o., Łódź.
- Rajchel K., Nowakowski Z. [2006], *Pojęcie wypadku drogowego i system ewidencji*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, zeszyt nr 7, Rzeszów.
- Ratajczak W. [1980], *Analiza i modele wpływu czynników społeczno-gospodarczych na kształtowanie się sieci transportowej*, PWN, Poznań.
- Rogowski A. [2013], *Analiza wrażliwości modelu potęgowego zdarzeń drogowych w Polsce*, TMiR 5/2013, Kraków.
- Rothengatter W. [2000], *External effects of transport*, [w:] Polak J. (red.), Heertje A. (red), *Analytical transport economics*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, [w:] Huderek-Glapska S. [2014], *Efekty zewnętrzne transportu. Aspekty teoretyczne*, ZN Problemy Transportu i Logistyki nr 813, Szczecin.
- Schreyer D., Schneider Ch., Maibach M., Rothengatter W., Doll C., Schmedding D. [2004], *External costs of transport. Update study. Final Report*, INTRANS/IWW, Zurich/Karlsruhe.
- Schroten A., Essen H., Otten M., Sutter D., Schreyer Ch., Maibach M., Zandonella R., Rothengatter W., Doll C. [2011], *External costs of transport in Europe. Update study for 2008*, CE Delft, INTRANS, Fraunhofer ISI, Delft.
- Schwarz G. [1978], *Estimating the dimension of a model*, *The Annals of Statistics*, Vol. 6, No. 2.
- Selden T.M. Song D. [1994], *Environmental quality and development: Is there a Kuznets Curve for air pollution emissions?* *Journal of Environmental Economics and Management* 27.
- Sharmin E.S.C., Ashiqur R., Quazi S.H., Syed A.A. [2015], *Road accident models for Khulna metropolitan city, Bangladesh*, *Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 1(1).
- Sivets O. [2015], *Wybrane aspekty internalizacji kosztów zewnętrznych transportu*, *Logistyka* 2/2015, Poznań.
- Smeed R.J. [1949], *Some statistical aspects of safety research*, *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 112, No. 1, Serie A.
- Sobczak E. [2002], *Możliwości oceny rozwoju regionalnego na podstawie modeli ekonometrycznych*, [w:] Sobczak E. (red.), *Gospodarka lokalna w teorii i praktyce*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu.

- Sobczak E. [2013], *Zróźnicowanie struktury pracujących według sektorów intensywności działalności B + R w państwa Unii Europejskiej*, [w:] Sobczak E., Markowska M., *Problemy rozwoju regionalnego*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.
- Sobolewski M., Migala-Warchol A. [2015], *Poziom rozwoju infrastruktury drogowej w krajach europejskich – podejście subiektywne i obiektywne*, *Logistyka* 3/2015, Poznań,
<http://www.czasopismologistyka.pl/artykuly-naukowe/send/333-artykuly-na-plycie-cd-1/8051-sobolewski-migala-warchol-poziom-rozwoju>.
- Stapleton H. B., Woo K., Kim M. H., [2008] *Determinants of traffic fatalities in the U.S.*, *Journal of Undergraduate Research at Minnesota State University* Vol. 8, Mankato.
- Staszek A., Weszczak A. [2011], *Ekonometryczna analiza warunków pracy w Polsce w latach 2005 – 2008 w ujęciu regionalnym*, *Ekonometria* 34, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- Stern D.I. [2004], *The rise and fall of the Environmental Kuznets Curve*, *World Development*, Vol. 32, No 8,
https://www.steadystate.org/wp-content/uploads/Stern_KuznetsCurve.pdf.
- Suchecka J. [2014], *Statystyka przestrzenna. Metody analiz struktur przestrzennych*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa.
- Suchecki B. (red.) [2010], *Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa.
- Szczęśny P., Rymarz J. [2012], *Korelacja wybranych wskaźników bezpieczeństwa ruchu drogowego na przykładzie Polski i krajów sąsiednich*, *Czasopismo Techniczne, Mechanika* nr 5, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- Szczuraszek T. (red.) [2005], *Bezpieczeństwo ruchu miejskiego*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa.
- Szczuraszek T. (red.) [2009], *Badanie zagrożeń w ruchu drogowym*, *Studia z Zakresu Inżynierii* nr 53, Instytut Naukowo-Badawczy, ZTUREK, Bydgoszcz.
- Szlachta A. [2014], *Internalizacja kosztów zewnętrznych w transporcie*, *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu* Nr 5(43)/2014.
- Szymanek A. [2006], *Bezpieczeństwo i ryzyko w technice*, Politechnika Radomska, Radom
- Tobler W.R. [1970], *A computer movie simulating urban growth in the Detroit region*, *Economic Geography*, Vol. 46, Supplement: Proceedings. International Geographical Union. Commission on Quantitative Methods.
- Unarski J. [2012], *Rola kultury bezpieczeństwa w kształtowaniu bezpieczeństwa ruchu drogowego*, *Transport Miejski i Regionalny* Nr 2012/4, Kraków.

- Urbanek P. (red.), Walińska E. (red.) [2016], *Ekonomia i nauki o zarządzaniu w warunkach integracji gospodarczej*, Ekonomia i zarządzanie w teorii i praktyce, Tom 9, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Vijaya R.B. [2013], *Analysis of Road Accidents of Southern States in India Using Smeed's Model*, International Journal of Research in Mathematics & Computation, Vol. 1, Issue 1.
- Wachnicka J. [2012], *Badania czynników wpływających na bezpieczeństwo ruchu drogowego w województwach*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 2012/4, Kraków.
- Wachnicka J. [2013], *Identification and comparative analysis of factors influencing road safety in US regions and Polish voivodships*, Transport Problems, Vol. 8 Issue 3.
- Wachnicka J., Smolarek L. [2013], *Model of multilevel stochastic analysis of road safety on regional level*, RT&A 02(29), Vol. 8.
- Wagenaar A. [1984], *Effects of Macroeconomic Conditions on the Incidence of Motor Vehicle Accidents*, Accident Analysis and Prevention 16(3).
- Walawski J. [2010], *Droga – bezpieczeństwo ruchu*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1980, [w:] Barcik J., Czech P., *Wpływ infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu – Część 2*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport z. 69.
- Walesiak M. (red.), Gatnar E. (red.) [2009], *Statystyczna analiza danych z wykorzystaniem programu R*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Weszcak A., Staszek A. [2013], *Wydatki na ochronę zdrowia: analiza porównawcza podregionów w Polsce*, [w:] J. Suchecka, *Ekonometria przestrzenna i regionalne analizy ekonomiczne*, Acta Universitatis, Folia Oeconomica 293, Łódź.
- Weszcak A. [2014], *Model bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce w latach 2002 – 2011*, Transport Miejski i Regionalny Nr 2014/1, Kraków.
- Weszcak A. [2016], *Zastosowanie modeli panelowych do badania bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce w latach 2001 – 2012*, Folia Oeconomica 5(325), Acta Universitatis Lodziensis, Łódź.
- Wielądek A. [2008], *Koszty zewnętrzne transportu*, [w:] Mindur L. (red.) *Technologie transportowe XXI w.*, ITeE-PIB, Warszawa – Radom.
- Wigier M. [2012], *Czas i przestrzeń w długookresowym rozwoju rolnictw i obszarów wiejskich – ujęcie retrospektywne*, Journal of Agribusiness and Rural Development, 2(24).
- Wojewódzka-Król K. [2016], *Nowe wyzwania stojące przed transportem*, [w:] *Transport: nowe wyzwania*, Wojewódzka-Król K. (red.) i Załoga E. (red.), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- Wojewódzka-Król K. [2017], *Dylematy zrównoważonego rozwoju infrastruktury transportowej w Polsce*, [w:] Rolbiecki R. (red.), *Rozwój i funkcjonowanie transportu w świetle idei zrównoważonego rozwoju*, Część II, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Wołek M. [2010], *Wydatki na transport jednostek samorządu terytorialnego w Polsce w latach 2003 – 2008*, Logistyka, systemy transportowe, bezpieczeństwo w transporcie, LOGITRANS - VII Konferencja Naukowo-Techniczna, <http://www.czasopismologistyka.pl/artykuly-naukowe/send/190-efektywnosc-srodkow-transportu/1496-artykul>.
- Wontorczyk A. [2011], *Niebezpieczne zachowanie kierowców. Psychologiczny model regulacji zachowań w ruchu drogowym*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Woźniak A., Sikora J. [2007], *Autokorelacja przestrzenna wskaźników infrastruktury wodno-ściekowej woj. małopolskiego*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Nr 4/2007, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Techniczna Infrastruktury Wsi, Kraków.
- Wspólnota Europejska [1995], *W kierunku uczciwego i efektywnego systemu cen w transporcie. Opcje polityki dla internalizacji zewnętrznych kosztów transportu w UE. Zielona Księga*, Bruksela, COM (95) 691, [w:] Nowak S., Ostańska A., Halemba P., Franczak A. [2012], *Kreowanie zrównoważonego transportu w regionach turystycznych*, Logistyka 3/2012, http://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/transport-i-spedycja/item/download/77893_d8d5325e74ec9d0c274699814cb41413 [dostęp: 23.03.2016]
- Yannis G., Antoniou C., Papadimitriou E. [2011], *Autoregressive nonlinear time-series modeling of traffic fatalities in Europe*, European Transport Research Review No 3.
- Zeliaś A. (red.) [1991], *Ekonometria przestrzenna*, PWE, Warszawa.
- Zlatoper T. [1991], *Determinants of Motor Vehicle Deaths in the United States: Cross-Sectional Analysis*, Accident Analysis and Prevention 23(5).
- Zlatoper T. [1987], *Factors Affecting Motor Vehicle Deaths in the USA: Some Cross-Sectional Evidence*, Applied Economics 19.
- Żak J., Kłodawski M., Lewczuk K., Gołębiowski P., Jacyna-Gołda I. [2014], *Wybrane aspekty szacowania kosztów zewnętrznych w transporcie w transporcie*, Logistyka 2014/4, Poznań, http://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/transport-i-spedycja/item/download/79408_7c36cac993e108a5ddfeaf3e80e6821a [dostęp: 16.08.2017].

Źródła internetowe:

<http://www.euroinfrastructure.eu/bezpieczenstwo/komunikacja-spoleczna/gospodarka-traci-na-wypadkach-25-proc-pkb/I>
<http://www.gddkia.gov.pl/pl/1231/generalny-pomiar-ruchu>
http://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prace-naukowo-badawcze-zrealizow_3435/documents/roz-1.pdf
<http://www.krbrd.gov.pl/index.php/program-brd/program-realizacyjny-2013>
<http://www.krbrd.gov.pl/pl/aktualnosci/raport-koszty-wypadkow-drogowych-w-polsce-w-2013-r.html>
http://www.obserwatoriumbrd.pl/pl/analizy_brd/problemy_brd/alkohol1/alkohol_w_ruchu_drogowym/
<http://www.policja.pl/pol/aktualnosci/102338,Obowiazkowe-odblaski-dla-piesznych.html>

Akty prawne, opracowania, raporty, strategie itp.:

Dziennik Urzędowy Komendy Głównej Policji nr 11, Warszawa, dnia 31 lipca 2006 r.

Dz. U. Nr 128, poz. 1334, z późn. zm

Dz. U. z 2013 r. poz. 260, z późn. zm.

European Commissions [2015], *Road safety in the European Union. Trends, statistics and main challenges*, Brussels.

European Environment Agency [2015], *Transport emissions of air pollutants (TERM 003) - Assessment published Feb 2015*; <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-3> [dostęp: 01.04.2016].

GDDKiA [2013], *Raport o stanie technicznym sieci dróg krajowych na koniec 2012 roku*, Warszawa.

GDDKiA [2016], *Raport o stanie technicznym sieci dróg krajowych na koniec 2015 roku*, Warszawa.

GDDP [2002], *Katalog typowych uszkodzeń nawierzchni bitumicznych*, Warszawa.

GUS [2015], *Transport. Wyniki działalności w 2014 roku*, Warszawa.

Jażdżik-Osmólska A. [2013], *Metoda oraz wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec 2012 roku z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych zdarzeń drogowych na sieci TEN-T*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Zakład Ekonomiki, Warszawa.

Jażdżik-Osmólska A. (red.) [2014], *Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec 2013 roku – z wyodrębnieniem średnich kosztów*

społeczno-ekonomicznych wypadków na transeuropejskiej sieci transportowej, IBDiM, Wydawca Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju, Sekretariat KRBBRD, Warszawa.

Jażdżik-Osmólska A. (red.) [2016], *Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2015 – z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych wypadków na transeuropejskiej sieci transportowej*, IBDiM, Wydawca Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju, Sekretariat KRBBRD, Warszawa.

Komenda Główna Policji [2005], *Wypadki drogowe w Polsce w 2004 roku*, Biuro Taktyki Zwalczenia Przestępczości. Wydział Analiz Przestępczości, Warszawa.

Komenda Główna Policji [2006], *Wypadki drogowe w Polsce w 2005 roku*, Warszawa.

Komenda Główna Policji [2007], *Wypadki drogowe w Polsce w 2006 roku*, Biuro Prewencji i Ruchu Drogowego. Wydział Profilaktyki w Ruchu Drogowym, Warszawa.

Komenda Główna Policji [2008], *Wypadki drogowe w Polsce w 2007 roku*, Biuro Prewencji i Ruchu Drogowego. Wydział Profilaktyki w Ruchu Drogowym, Warszawa.

Komenda Główna Policji [2009], *Wypadki drogowe w Polsce w 2008 roku*, Biuro Ruchu Drogowego. Wydział Profilaktyki i Analiz, Warszawa.

Komenda Główna Policji [2010], *Wypadki drogowe w Polsce w 2009 roku*, Biuro Ruchu Drogowego. Wydział Profilaktyki i Analiz, Warszawa.

Komenda Główna Policji [2011], *Wypadki drogowe w Polsce w 2010 roku*, Biuro Ruchu Drogowego. Zespół Profilaktyki i Analiz, Warszawa.

Komenda Główna Policji [2012], *Wypadki drogowe w Polsce w 2011 roku*, Biuro Ruchu Drogowego. Zespół Profilaktyki i Analiz, Warszawa.

Komenda Główna Policji [2013], *Wypadki drogowe w Polsce w 2012 roku*, Biuro Ruchu Drogowego. Zespół Profilaktyki i Analiz, Warszawa.

Komisja Wspólnot Europejskich [2001], *Biała Księga – Europejska polityka transportowa w horyzoncie do 2010 r.: Czas wyborów*, Bruksela 2001, http://www.mdwe70.pl/uploads/article/files/4.2.%20Biala%20ksiega%20-%202001.%20Czas%20decyzji_95867.pdf.

Komisja Europejska [2011], *Biała Księga. Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i oszczędnego systemu transportu*, 28.03.2011, Bruksela.

Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE). Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy [2015], *Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO w układzie klasyfikacji SNAP i NFR. Raport podstawowy*, Warszawa.

- KRBRD [2013a], *Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013 – 2020*, Projekt z dn. 08.01.2013.
- KRBRD [2013b], *Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013 – 2020*, dokument przyjęty w dniu 20.06.2013.
- KRBRD [2014], *Program Realizacyjny na lata 2014 – 2015 – do Narodowego Programu Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013 – 2020*. Dokument przyjęty w dniu 27.03.2014, Warszawa.
- KRBRD [2014], *Stan bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz działania realizowane w tym zakresie w 2013*, Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju, Warszawa.
- KRBRD [2015a], *Prędkość pojazdów w Polsce w 2015 r. Sesja I*, Warszawa.
- KRBRD [2015b], *Stan bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz działania realizowane w tym zakresie w 2014*, Sekretariat KRBRD. Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju, Warszawa 2015.
- KRBRD [2015c], *Program Realizacyjny na lata 2015 – 2016 – do Narodowego Programu Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013 – 2020*. Dokument przyjęty w dniu 06.05.2015, zmieniony 03.06.2015, Warszawa.
- KRBRD [2016], *Stan bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz działania realizowane w tym zakresie w 2015 r.*
- KRBRD [2017], *Stan bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz działania realizowane w tym zakresie w 2016 r.*
- Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju [2014], *Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2014 – 2023*, z 22.12.2014,
https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/k/konsultacje-spoeczne-prognozy-o-18875/TOM%20D%20-%20Projekt%20PBDK_Konsultacje.pdf;
- Ministerstwo Infrastruktury [2005], *Krajowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2005 – 2007 – 2013. GAMBIT 2005*, Dokument przyjęty przez Radę Ministrów na posiedzeniu w dniu 19 kwietnia 2005 r.
- Ministerstwo Infrastruktury [2005], *Polityka Transportowa Państwa na lata 2006 – 2055*, Warszawa.
- OECD [2004], *Assessment & decision making for sustainable transport*, European Conference of Ministers of Transport.
- Opoczyński K. [2011], *Generalny pomiar ruchu 2000. Synteza wyników*, Biuro Projektowo-Badawcze Dróg i Mostów na zamówienie GDDKiA.
- Opoczyński K. [2016], *Synteza wyników GPR 2015 na zamiejskiej sieci dróg krajowych*, GDDKiA.

PwC, *Budowa dróg w Polsce. Fakty i mity, doświadczenia i perspektywy*, Raport opracowany na zlecenie GDDKiA przez grupę ekspertów PwC, https://www.pwc.pl/pl/publikacje/assets/budow_drog_w_polsce_raport_pwc.pdf

Ustawa z dn. 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (tekst jednolity z dn. 30.08.2012 r.)

WHO [2009], *Global status report on road safety. Time for action*, Genewa.

WHO [2010a], *Dekada Działań na Rzecz Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2011-2020. Ocalmy Miliony Istnień*, http://www.pck.pl/media/repository/news/201105/Decade_brochure_PL.pdf [dostęp: 12.01.2016].

WHO [2010b], *Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011 – 2020*, Genewa, http://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/plan/plan_english.pdf?ua=1. [dostęp: 15.01.2016].

WHO [2012], *World development indicators*, Washington D.C.

WHO [2013], *Global status report on road safety. Time for action*, Genewa.

WHO [2015], *Global status report on road safety*, Genewa.

SPIS TABLIC

Tablica 1.1. Klasyfikacja kosztów transportu.....	15
Tablica 1.2. Jednostkowe koszty ofiar oraz roczne koszty wypadków i kolizji drogowych w podziale na województwa w 2015 roku w mln PLN	25
Tablica 1.3. Grupy kosztów wypadków drogowych według metody PANDORA	28
Tablica 1.4. Filary Globalnego Planu na Dekadę Działań na Rzecz Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2011 - 2020.....	32
Tablica 2.1. Ofiary wypadków drogowych roku według wieku i płci w 2014.....	56
Tablica 2.2. Przyczyny wypadków drogowych spowodowanych przez kierujących w 2014 roku	57
Tablica 2.3. Długość sieci drogowej w poszczególnych województwach Polski w wybranych latach	67
Tablica 2.4. Wydatki na drogi krajowe w latach 2014 – 2023	71
Tablica 2.5. Wydatki jednostek samorządu terytorialnego w dziale 600 – Transport i łączność w poszczególnych województwach w 2014 roku	72
Tablica 2.6. Zróżnicowanie współczynnika zmotoryzowania w poszczególnych województwach w 2014 roku	79
Tablica 2.7. Zróżnicowanie średniego dobowego ruchu pojazdów silnikowych w poszczególnych województwach w 2015 roku.....	81
Tablica 2.8. Przestrzenne zróżnicowanie liczby wypadków oraz ich skutków z uczestnictwem osób nietrzeźwych w 2014	83
Tablica 2.9. Ofiary wypadków drogowych według grup wiekowych w 2014 roku.....	86
Tablica 4.1. Zestawienie modeli z wzorami wykorzystanymi przez I. M. Abdalla w modelowaniu BRD w Zjednoczonych Emiratach Arabskich	121

Tablica 4.2. Zestawienie zmiennych endogenicznych wraz z określeniem oczekiwanego kierunku oddziaływania na analizowany wskaźnik śmiertelności	128
Tablica 4.3. Zmienne zastosowane w modelowaniu BRD	141
Tablica 4.4.1. Macierz współczynników korelacji między poszczególnymi zmiennymi (próba przekrojowo-czasowa).....	143
Tablica 4.4.2. Macierz współczynników korelacji między poszczególnymi zmiennymi (próba przestrzenna) w 2014 roku	144
Tablica 4.5. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik ofiar śmiertelnych przypadających na 100 wypadków według podregionów w 2014 roku	155
Tablica 4.6. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik ofiar śmiertelnych przypadających na 1000 ludności według podregionów w 2014 roku	156
Tablica 4.7. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik ofiar śmiertelnych przypadających na 100 km dróg publicznych według podregionów w 2014 roku	158
Tablica 4.8. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik ofiar śmiertelnych przypadających na 1 mln pojazdów według podregionów w 2014 roku	160
Tablica 4.9. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik wypadków drogowych przypadających na 1000 ludności według podregionów w 2014 roku	161
Tablica 4.10. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik wypadków drogowych przypadających na 1 mln pojazdów według podregionów w 2014 roku	163

Tablica 4.11. Wyniki estymacji modeli poziomu bezpieczeństwa drogowego wyrażonego jako wskaźnik wypadków drogowych przypadających na 100 km dróg publicznych o twardej nawierzchni według podregionów w 2014 roku 164

Tablica 4.12. Wyniki estymacji BRD w latach 1995-2014 przy zastosowaniu modeli panelowych 167

[Załączniki:](#)

Tablica 1. Wyniki estymacji wskaźnika śmiertelności w wypadkach drogowych w 27 krajach Unii Europejskiej w latach 2000 - 2007..... 200

Tablica 2a. Wyniki modelowania śmiertelności w wypadkach drogowych w oparciu o Środowiskowe Krzywe Kuzneta w latach 1972-2004 200

Tablica 2b. Wyniki modelowania śmiertelności w wypadkach drogowych w oparciu o Środowiskowe Krzywe Kuzneta w latach 1972-2004 201

Tablica 3. Wyniki estymacji wskaźników zmotoryzowania w 153 krajach w latach 1963-2010. 202

Tablica 4. Wyniki estymacji wskaźników śmiertelności w 153 krajach w latach 1963-2010 203

Tablica 5. Wyniki oszacowania liczby ofiar śmiertelnych w wyniku wypadków drogowych w USA w latach 1994-2005 204

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1.1. Udział poszczególnych kosztów w całkowitych kosztach transportu w 2008 roku	19
Rysunek 1.2. Roczne koszty wypadków drogowych, ofiar i strat materialnych w Polsce w latach 2002 – 2012 w cenach stałych w PLN zgodnie z metodami PANDORA’1993 oraz PANDORA’2013	24
Rysunek 1.3. Struktura kosztów zdarzeń drogowych w Polsce w 2015 roku według metody PANDORA	26
Rysunek 1.4. Udział kosztów jednostkowych w wartości zdarzeń drogowych w Polsce w 2015 roku według PANDORA	27
Rysunek 1.5. Etapy realizacji celu strategicznego GAMBIT 2005	39
Rysunek 2.1. Struktura populacji, ofiar śmiertelnych w wyniku wypadków drogowych oraz liczby zarejestrowanych pojazdów w odniesieniu do stopnia rozwoju gospodarczego kraju 2013 roku	50
Rysunek 2.2. Zróżnicowanie wskaźnika śmiertelności w wypadkach drogowych w Europie w 2014 roku	51
Rysunek 2.3. Udział niechronionych uczestników ruchu drogowego w całkowitej liczbie zabitych w wypadkach drogowych w Unii Europejskiej w 2014 roku	52
Rysunek 2.4. Wypadki drogowe oraz ich ofiary na tle rozwoju motoryzacji w Polsce w latach 1995 - 2014	54
Rysunek 2.5. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika rannych oraz zabitych na 100 wypadków drogowych w 2014 roku	59
Rysunek 2.6. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika zabitych na 1 milion mieszkańców podregionu w 2014 roku	60

Rysunek 2.7. Przestrzenne zróżnicowanie Produktu Krajowego Brutto <i>per capita</i> w wybranych latach w cenach z 2014 roku	63
Rysunek 2.8. Przestrzenne zróżnicowanie Produktu Krajowego Brutto <i>per capita</i> w 2014 roku według podregionów	65
Rysunek 2.9. Przestrzenne zróżnicowanie gęstości sieci drogowej na 100 km ² powierzchni w układzie wojewódzkim w 2014 roku	68
Rysunek 2.10. Sieć autostrad i dróg ekspresowych zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z 15.05.2004 roku.....	69
Rysunek 2.11. Ocena stanu technicznego nawierzchni na drogach krajowych w Polsce w latach 2000 i 2014.....	75
Rysunek 2.12. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika natychmiastowych potrzeb remontowych w 2014 roku	75
Rysunek 2.13. Przykładowe uszkodzenia nawierzchni	76
Rysunek 2.14. Struktura wieku samochodów osobowych w Polsce w 2014 roku	78
Rysunek 2.15. Zależność między prędkością jazdy a drogą zatrzymania	84
Rysunek 2.16. Udziały pojazdów przekraczających prędkość dopuszczalną w poszczególnych województwach	85
Rysunek 3.1. Chronologia grup teorii bezpieczeństwa ruchu drogowego.....	91
Rysunek 3.2. Moranowski wykres rozproszenia	99
Rysunek 3.3. Środowiskowa Krzywa Kuzneta	105
Rysunek 3.4. Zmodyfikowana Środowiskowa Krzywa Kuzneta.....	107
Rysunek 3.5. Odległości międzygrupowe w metodzie najbliższego sąsiada	113
Rysunek 3.6. Odległości międzygrupowe w metodzie najdalszego sąsiada	113
Rysunek 3.7. Odległości międzygrupowe w metodzie Warda	114
Rysunek 3.8. Odległości międzygrupowe w metodzie środków ciężkości	114

Rysunek 3.9. Odległości międzygrupowe w metodzie mediany	114
Rysunek 3.10. Odległości międzygrupowe w metodzie średnich wiązań	115
Rysunek 4.1. Zależności między liczbą ofiar śmiertelnych przypadających na 10 000 zarejestrowanych pojazdów a liczbą pojazdów przypadającą na 1 000 mieszkańców danego regionu w 1938 roku.....	118
Rysunek 4.2. Zależności między liczbą ofiar śmiertelnych a liczbą pojazdów przypadającą na 1 000 mieszkańców danego regionu w 1938 roku.....	119
Rysunek 4.3. Krzywe korelacji wskaźnika śmiertelności oraz stopnia zmotoryzowania w wybranych krajach	123
Rysunek 4.4. Korelacja zachodząca między poziomem dochodu per capita a wskaźnikiem śmiertelności w wypadkach drogowych.....	126
Rysunek 4.5. Prognoza liczby ofiar śmiertelnych w Polsce do roku 2020 z uwzględnieniem różnych scenariuszy rozwoju	135
Rysunek 4.6. Korelacja wskaźników zagrożenia wraz z linią trendu.....	137
Rysunek 4.7. Wykres rzeczywistych i prognozowanych wartości liczbowych wskaźnika śmiertelności demograficznej w wypadkach drogowych	139
Rysunek 4.8. Dendryt grupujący województwa Polski pod względem cech opisujących poziom bezpieczeństwa drogowego w 1995 roku	146
Rysunek 4.9. Dendryt grupujący województwa Polski pod względem cech opisujących poziom bezpieczeństwa drogowego w 2014 roku	147
.....	147
Rysunek 4.10. Dendryt grupujący powiaty i miasta na prawach powiatów Polski pod względem cech opisujących poziom bezpieczeństwa drogowego w 2014 roku	149
Rysunek 4.11. Wartości globalnej i lokalnej miary autokorelacji przestrzennej zmiennych objaśnianych w 2014 roku	150

Rysunek 4.12. Wartości globalnej i lokalnej miary autokorelacji przestrzennej zmiennych objaśniających w 2014 roku 152

ZAŁĄCZNIKI

Tablica 1. Wyniki estymacji wskaźnika śmiertelności w wypadkach drogowych w 27 krajach Unii Europejskiej w latach 2000 - 2007

Independent variables	Fixed effect (within estimator)	Ordinary Least Squares
GDP per capita	0,000012 (0,000011)	0,000012 (0,000011)
Motorization	-0,0013 (0,0005)**	-0,0012 (0,0005)**
Vehicles – km driven	0,05 (0,02)**	0,05 (0,02)**
Density of motorways	-0,14 (0,04)***	-0,14 (0,05)**
Upper secondary education	0,007 (0,05)	0,007 (0,005)
Young	0,003 (0,015)	0,003 (0,01)
Old	0,07 (0,02)**	0,08 (0,03)**
Europeanization	-0,07 (0,02)***	-0,07 (0,02)***
BAC_05	-	-2,38 (1,10)**
PPS	-	-0,90 (0,23)***
Speed limits	-	0,05 (0,02)**
Constant term	4,01 (1,13)***	-1,11 (1,52)
Country fixed effects	NO	YES
Time fixed effects	YES	YES
R-Sq	0,77	0,95
Number observations	258	258

Źródło: Castillo-Manzano, *Could being ...*, op. cit., s.30

Tablica 2a. Wyniki modelowania śmiertelności w wypadkach drogowych w oparciu o Środowiskowe Krzywe Kuznetsa w latach 1972-2004

Variable	Model A	Model B	Model C	Model D	Model E
	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.
ln(RGDPCH per capita) (less developed countries)	2,289**	1,209**	-1,901**	-1,748**	-1,793**
ln(RGDPCH per capita) ² (less developed countries)	-0,102**	-0,057*	0,150**	0,138**	0,145**
ln(RGDPCH per capita) (highly developed countries)	9,916**	6,872**	-12,506**	-8,656**	-10,081**
ln(RGDPCH per capita) ² (highly developed countries)	-0,540**	-0,388**	0,650**	0,455**	0,527**
ln(pop14) (less developed countries)			0,534**	0,293	0,407
ln(pop14) (highly developed countries)			-0,078	0,143	0,051
ln(pop64) (less developed countries)			0,280	0,183	0,175
ln(pop64) (highly developed countries)			0,562**	0,557**	0,566**
ln(vehicles per capita)			0,007	0,008**	0,008**
Urban to rural population ratio			0,098**		0,095**
Political rights (1 if 1 ≤ political rights ≤ 2; 0 otherwise)					
Political rights (less developed countries)					
Political rights (highly developed countries)					
ln(infant mortality rates) (deaths per thousand live births)				0,357**	0,344**
ln(physicians per thousand capita)				-0,059**	-0,073**

Alcohol consumption (liters per capita)		0,019**	0,0001	-0,005	-0,005
Year			-0,041**	-0,027**	-0,028**
Constant (less developed countries)	-26,804**	-20,465**	71,945**	43,170**	44,658**
Constant (highly developed countries)	-58,764	-43,475**	128,578**	82,314**	91,356**
Groups	60	60	60	60	60
N	1411	1411	1411	1411	1411
Log likelihood	-10,388	-10,357	-10,145	-10,116	-10,106
Likelihood ratio test (χ^2)	2167**	2230**	2645**	2711**	2731**
Turning point (for less developed countries)	74,651	40,346	565	563	484
Turning point (for highly developed countries)	9 716	7 014	15 063	13 522	14 250

Notes: The effect of income, age and political institutions variable for the highly developed countries is derived by adding the interaction coefficient with the country dummy variable to the base coefficient. The intercept for highly developed countries is computed by adding the country dummy variable to the model intercept.

Źródło: Law T. H., Noland R. B., Evans A. W., *The source of the Kuznets ...*, op. cit., s. 360.

Tablica 2b. Wyniki modelowania śmiertelności w wypadkach drogowych w oparciu o Środowiskowe Krzywe Kuzneta w latach 1972-2004

Variable	Model F	Model G	Model H	Model I	Model J
	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.
ln(RGDPCH per capita) (less developed countries)	-0,867*	1,537**	-1,464**	-1,554**	-2,171**
ln(RGDPCH per capita) ² (less developed countries)	0,097**	-0,004*	0,124**	0,129**	0,169**
ln(RGDPCH per capita) (highly developed countries)	-0,657**	3,856**	-11,750**	-9,920**	-12,574**
ln(RGDPCH per capita) ² (highly developed countries)	0,021**	-0,195**	0,611**	0,519**	0,654**
ln(pop14) (less developed countries)	1,121**	1,160**	0,125	0,375	0,577**
ln(pop14) (highly developed countries)	-0,533**	-0,508**	-0,465**	-0,314**	-0,129**
ln(pop64) (less developed countries)	0,117	0,086	0,192	0,079	0,060
ln(pop64) (highly developed countries)	0,052	0,155	0,0191	0,220	0,231
ln(vehicles per capita)	0,380**		0,515**	0,555**	0,575**
Urban to rural population ratio	-0,0002		0,098**		0,095**
Political rights (1 if 1 ≤ political rights ≤ 2; 0 otherwise)	0,063**	0,092**		0,088**	0,106**
Political rights (less developed countries)			-0,033		
Political rights (highly developed countries)			0,367**		
ln(infant mortality rates) (deaths per thousand live births)	0,576**	0,319**	0,396**	0,349**	
ln(physicians per thousand capita)	-0,123**	-0,018	-0,039		-0,082**
Alcohol consumption (liters per capita)	0,001	0,005	-0,004	-0,004	-0,004
Year		-0,012**	-0,028**	-0,029**	-0,040**
Constant (less developed countries)	-19,638**	-9,675**	43,433**	46,031**	70,068**

Constant (highly developed countries)	-8,033**	-8,605**	98,994**	92,323**	126,62**
Groups	60	60	60	60	60
N	1411	1411	1411	1411	1411
Log likelihood	-10,168	-10,242	-10,065	-10,110	-10,141
Likelihood ratio test (χ^2)	2696**	2459**	2814**	2725**	2662**
Turning point (for less developed countries)	87	NT	366	413	616
Turning point (for highly developed countries)	6 217	19 676	14 993	14 141	14 960

Notes: The effect of income, age and political institutions variable for the highly developed countries is derived by adding the interaction coefficient with the country dummy variable to the base coefficient. The intercept for highly developed countries is computed by adding the country dummy variable to the model intercept.

Źródło: Law T. H., Noland R. B., Evans A. W., *The source of the Kuznets ...*, op. cit., s. 360.

Tablica 3. Wyniki estymacji wskaźników zmotoryzowania w 153 krajach w latach 1963-2010.

Dependent variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	ln per '000 population					
	Motorcycles	Othet motor vehicles	Cars	Buses	Trucks	% Motorcycle share of road motor vehicles
Specification A						
Ln GDP per capita	0,26 (0,21)	0,59*** (0,17)	0,72*** (0,17)	0,21 (0,18)	0,46** (0,20)	-1,63 (2,73)
LN population density	1,33** (0,48)	0,27 (0,17)	0,23 (0,18)	1,48*** (0,23)	0,27 (0,22)	23,96*** (5,54)
R ² (within)	0,19	0,65	0,63	0,45	0,42	0,13
Specification B						
Ln GDP per capita	3,87** (1,52)	1,70 (1,32)	1,76 (1,23)	2,44,* (1,34)	1,65 (1,55)	55,63*** (18,48)
(Ln GDP per capita) ²	-0,22** (0,09)	-0,07 (0,07)	-0,06 (0,07)	-0,13* (0,07)	-0,07 (0,08)	-3,44*** (1,13)
LN population density	0,74 (0,50)	0,09 (0,21)	0,06 (0,26)	1,11*** (0,22)	0,08 (0,27)	14,58** (5,96)
GDB per capita turning point (\$)	7 468	338 124	1 229 440	8 884	99 228	3 219
R ² (within)	(3 945) 0,22	(1 264 460) 0,66	(6 511 012) 0,63	(4 860) 0,47	(265 981) 0,43	(974) 0,18
Specification C						
Ln GDP per capita	-1,51 (2,74)	0,39 (1,09)	0,28 (1,21)	4,44*** (1,51)	0,44 (1,39)	-4,98 (43,55)
(Ln GDP per capita) ²	0,07 (0,16)	0,00 (0,07)	0,02 (0,07)	-0,22 (0,09)	-0,00 (0,08)	-0,16 (2,56)
LN population density	-5,30** (2,63)	-1,30 (1,86)	-1,56 (1,84)	3,97** (1,75)	-1,14 (2,24)	-50,47 (35,52)
Ln GDP per capita * Ln population density	1,36** (0,60)	0,32 (0,39)	0,37 (0,39)	-0,60 (0,39)	0,28 (0,47)	14,88* (8,17)
(Ln GDP per capita) ² * Ln population density	-0,07** (0,03)	-0,02 (0,02)	-0,02 (0,02)	0,03 (0,02)	-0,02 (0,02)	-0,79* (0,45)
GDB per capita turning point (\$)	8 655	404 270	1 243 692	10 563	132 739	3 757
R ² (within)	(4 544) 0,24	(1 805 889) 0,66	(20 300 000) 0,63	(6 568) 0,48	(477 197) 0,43	(1 024) 0,20
Conclusion	Inverse U	Increasing	Increasing	Inverse U	Increasing	Inverse U

Country fixed effect: Yes
Year fixed effect: Yes
Observations: 3 141
Countries: 153

Notes: ***, **, and * indicate statistical significance at 1%, 5%, and 10%. Coefficients on constants not reported. For coefficient estimates: robust standard errors clustered by country are in parentheses. For predicted GDP per capita turning points: robust standard errors based on the delta method are in parentheses. The R²s reflect the power of the explanatory variables and year dummies. GDP per capita turning points are for countries with sample -mean log population densities. Other motor vehicles = cars + trucks + buses.

Źródło: Nishitaten S., Burke P.J., *The motorcycle Kuznets curve*, op. cit., s. 26.

Tablica 4. Wyniki estymacji wskaźników śmiertelności w 153 krajach w latach 1963-2010

Dependent variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Ln road deaths per 100 000 populations			Road deaths per 100 000 populations		
Motorcycle share of road motor vehicles (%)	0,012*** (0,003)	0,005* (0,003)	0,001 (0,002)			
Motorcycles per '000 population				0,04*** (0,01)	0,03*** (0,01)	0,03*** (0,01)
Cars per '000 population				-0,03*** (0,00)	-0,01* (0,01)	-0,01 (0,01)
Buses per '000 population				0,27*** (0,11)	0,22* (0,11)	0,13 (0,09)
Trucks per '000 population				-0,00 (0,01)	29,36*** (8,34)	0,00 (0,00)
Ln GDP per capita		3,62*** (0,87)	1,93*** (0,45)		-1,53*** (0,46)	18,80** (8,57)
(Ln GDP per capita) ²		-0,20*** (0,05)	-0,10*** (0,03)		8,04*** (2,16)	-1,00* (0,52)
Ln population density		0,68*** (0,21)	0,21 (0,22)			2,01 (2,84)
Ln road length per capita			0,02 (0,04)			0,44 (0,61)
Paved road share (%)			0,00 (0,00)			0,02* (0,01)
Ln total motor vehicles per '000 population			0,26*** (0,08)			
Rail share of Energy used in transport (%)			-0,01* (0,00)			-0,14** (0,06)
Ln Air passengers per capita			0,02 (0,03)			0,57 (0,45)
Population aged 15-24 (%)			0,02* (0,01)			0,51*** (0,19)
Urban population (%)			0,00 (0,01)			0,16* (0,09)
Ln alcohol consumption per adult			0,09*** (0,04)			1,68*** (0,52)
Ln infant mortality rate			0,21 (0,14)			1,26 (1,72)
Country fixed effect: Yes Year fixed effect: Yes						
GDP per capita turning points (\$)	-	10 748 (2 940)	9 866 (5 785)	-	14 774 (6 245)	12 386 (12 075)

p-value for test:						
Effect of motorcycle equals that of cars				0,00	0,00	0,00
Effect of motorcycle equals that of buses				0,04	0,10	0,30
Effect of motorcycle equals that of trucks				0,05	0,11	0,00
R ² (within)	0,22	0,45	0,48	0,36	0,47	0,48

Notes: ***, **, and * indicate statistical significance at 1%, 5%, and 10%. Coefficients on constants not reported. For coefficient estimates: robust standard errors clustered by country are in parentheses. For predicted GDP per capita turning points: robust standard errors based on the delta method are in parentheses. The R²s reflect the power of the explanatory variables and year dummies.

Źródło: Nishitaten S., Burke P.J., *The motorcycle Kuznets curve*, op. cit., s. 27.

Tablica 5. Wyniki oszacowania liczby ofiar śmiertelnych w wyniku wypadków drogowych w USA w latach 1994-2005

Variable	General form		Specific form	
Safety belts	0,130 (0,215)	0,638 (0,525)	0,128 (0,215)	
Driver	0,760** (0,069)	0,766** (0,070)	0,761** (0,068)	0,748** (0,069)
Male per Female	-1,065** (0,379)	-1,473** (0,057)	-1,065** (0,381)	-0,956** (0,384)
Vehicle per road	0,102 (0,054)	0,136** (0,059)	0,103* (0,054)	0,096* (0,055)
VMT	0,221** (0,065)	0,201** (0,069)	0,221** (0,065)	0,236** (0,065)
BAC	-0,008 (0,055)	-0,018 (0,062)		
Speed	0,313** (0,065)	0,299** (0,079)	0,323** (0,064)	0,317** (0,064)
Fine	0,160* (0,066)	0,172** (0,072)	0,161** (0,065)	0,147** (0,067)
Constant	0,160* (0,066)	-12,332** (1,892)	-10,689** (1,058)	-10,35** (0,765)
Observation ¹	601	601	601	601
R ²	0,955	0,950	0,955	0,955

Notes: ** and * denote significant at 99 and 95 percent, respectively. ¹ State of Maine (2000-2003), New Hampshire (2000-2002, 2004, 2004) and Wyoming (2003, 2005) did not report safety belt use rate.

Źródło: H.B. Stapleton, K. Woo, M.H. Kim, *Determinants of traffic ...*, op. cit., s. 4.