

ANNA WESZCZAK

mgr, Uniwersytet Łódzki, Katedra Ekono-  
metrii Przestrzennej, doktorantka,  
tel. 509 879 134, annaweszczak@  
interia.pl

# Model bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce w latach 2002–2011<sup>1</sup>

**Streszczenie.** Rozwój infrastruktury transportowej determinuje rozwój regionu, jednak wzrastającej liczbie przewozów osób i towarów towarzyszą także negatywne konsekwencje w postaci zdarzeń drogowych. W ich wyniku każdego roku około miliona osób traci życie, co generuje olbrzymie straty finansowe i społeczne. Szacuje się, iż koszty wypadków drogowych w Polsce sięgają 2% PKB. Poznanie czynników przyczyniających się do powstawania wypadków ma zatem ogromne znaczenie dla rozwoju gospodarki. Przedmiotem artykułu jest charakterystyka bezpieczeństwa w ruchu drogowym w Polsce przy zastosowaniu modelu ekonometrycznego. Opracowanie stanowi próbę wyjaśnienia zależności zachodzących pomiędzy wybranymi zmiennymi społeczno-ekonomicznymi i wypadkami drogowymi. Na podstawie literatury przedmiotu oraz uwzględniając dostępność danych liczbowych za zmienne takie uznano: wydatki jednostek samorządowych w dziale 600 – Transport i łączność, udział dróg ekspresowych i autostrad w całej sieci dróg w województwie, dobowe natężenie ruchu na drogach krajowych, jakość dróg mierzona stosunkiem dróg wymagających natychmiastowego remontu do wszystkich dróg oraz udział pojazdów ciężarowych w ogóle pojazdów. Badanie przeprowadzone zostało na podstawie danych z lat 2002–2011 na poziomie NUTS2. Do estymacji parametrów równania wykorzystano metody panelowe – modele z efektami stałymi (fixed effect model FEM) i modele z efektami losowymi (random effect models REM). Metody te umożliwiły ustalenie różnic w wypadkowości pomiędzy poszczególnymi województwami.

**Słowa kluczowe:** wypadki drogowe, modele panelowe, transport

## Wprowadzenie

Wynalezienie i rozpowszechnienie się samochodu przyniosło wiele korzyści i przyspieszyło rozwój społeczno-gospodarczy. Równocześnie można jednak zaobserwować wiele związanych z tym negatywnych zjawisk, wśród których na czoło wysuwają się zdarzenia drogowe w postaci wypadków oraz kolizji drogowych. W niniejszym opracowaniu analizie zostaną poddane wypadki drogowe, tj. zdarzenia drogowe w których oprócz wystąpienia szkody materialnej dochodzi do obrażeń ciała uczestników.

Celem niniejszego opracowania jest charakterystyka bezpieczeństwa ruchu drogowego w poszczególnych regionach Polski, a także wskazanie czynników determinujących poziom wypadkowości. Opisany w artykule model ma stanowić narzędzie umożliwiające wsparcie działań ukierunkowanych na poprawę stanu bezpieczeństwa prowadzonych przez właściwe instytucje, a także przez samych uczestników ruchu. W działaniach tych ważne jest, że oprócz czysto humanitarnego wymiaru, jaki ma redukcja ludzkiego bólu i cierpienia, dzięki inwestycjom w efek-

tywną redukcję liczby wypadków drogowych i ich ofiar możliwe jest zaoszczędzenie zasobów znacznie przewyższających nakłady, które obecnie pochłania utrata produktywności, rehabilitacja ofiar i likwidacja skutków wypadków [1].

## Działania zmierzające do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego

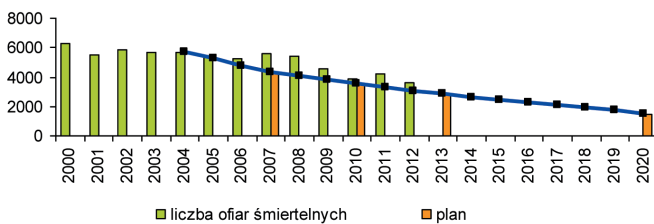
Szacuje się, że od wynalezienia samochodu ponad 100 lat temu, w wypadkach drogowych poniosło śmierć około 25 milionów osób. Szacunki te dotyczą okresu od 17 sierpnia 1896 roku, kiedy to odnotowano w Londynie pierwszy śmiertelny wypadek. Według Światowej Organizacji Zdrowia co 30 sekund na wszystkich kontynentach ginie 1 osoba, co oznacza, iż każdego roku w wypadkach traci życie około 1,2 miliona osób. Szacuje się, iż do 2020 roku liczba ta wzrośnie do 2,0 milionów osób rocznie. Straty materialne, jakie ponosi społeczeństwo z tytułu wypadków drogowych, mierzone wielkością niewytworzonego dochodu narodowego, przewyższają wielkość wydatków budżetu naszego państwa na opiekę zdrowotną i pomoc społeczną [2]. W Polsce straty wynikające z wypadków drogowych sięgają rocznie około 2% PKB, a koszt społeczny jednej ofiary śmiertelnej w 2011 roku szacowany był na 1 558 tysięcy PLN. W wielu krajach rozpoczęto działania ukierunkowane na poprawę bezpieczeństwa na drogach, a zwłaszcza ograniczenia śmiertelności w warunkach stale rosnącego zapotrzebowania na transport. W krajach wysoko zmotoryzowanych pierwsze prace zostały podjęte ponad 30 lat temu, kiedy zagrożenie na drogach osiągnęło poziom krytyczny. W Polsce z kolei prace te trwają od lat 90. Ich przejawem jest 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 [3]. Poprawa bezpieczeństwa miała być możliwa dzięki działaniom ukierunkowanym na:

- zachęcaniu użytkowników dróg do poprawnego zachowania na drodze m.in. poprzez kampanie edukacyjne, harmonizowanie kar za wykroczenia drogowe, odbieranie prawa jazdy szczególnie niebezpiecznym uczestnikom ruchu drogowego, ujednoczenie zasad szkolenia i egzaminowania kierowców;
- usprawnieniu działań dotyczących kontroli stanu technicznego;

<sup>1</sup> © Transport Miejski i Regionalny, 2014.

- rozwój ratownictwa na drogach poprzez stworzenie systemu zapewniającego szybkie dotarcie służb ratowniczych do miejsca wypadku, wyposażenie jednostek ratowniczych w odpowiedni sprzęt;
- poprawę infrastruktury drogowej poprzez usuwanie wad geometrii i oznakowania dróg, wykonanie przeglądu dróg, podjęcie działań promujących środki transportu zbiorowego w celu ograniczenia ruchu samochodowego, rozgraniczenie funkcji dróg i ulic.

Celem programu 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). 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 miliardów PLN, licząc same bezpośrednie koszty wypadków. Oznacza to, iż około 7,5 miliarda PLN rocznie mogłoby zostać przeznaczona na poprawę BRD, co dodatkowo przynosiłoby zysk równoważony kosztem pośrednim.



Rys. 1. Etapy realizacji celu strategicznego Gambit 2005

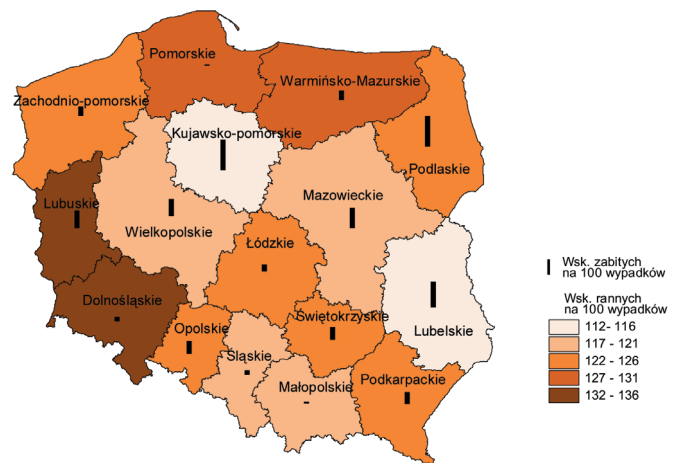
Źródło: opracowanie własne na podstawie planów KPBRD oraz statystyk policyjnych

W samym 2011 roku koszty z tytułu wypadków i kolizji drogowych w Polsce osiągnęły poziom 20,1 miliarda PLN. Aktualnie w krajach członkowskich OECD około 2–3% wszystkich wydatków na drogi przeznaczane jest na poprawę bezpieczeństwa w transporcie, a na realizację programów BRD od 5 do 7% kosztów społecznych i materialnych powstałych na skutek zdarzeń drogowych.

### Statystyka zdarzeń drogowych w Polsce

W ostatnim dziesięcioleciu liczba zdarzeń drogowych w Polsce sukcesywnie malała. Wyjątkiem był rok 2007 oraz 2011, kiedy odnotowano wzrost odpowiednio z 46 876 do 49 536 oraz z 38 832 do 40 065 zdarzeń. W latach 2002–2012 liczba wypadków i kolizji drogowych spadła o 30,8% z poziomu 53 559 do 37 062. Również liczba rannych oraz ofiar śmiertelnych uległa zmniejszeniu odpowiednio o 32,2% oraz 38,6%. W ostatnim dziesięcioleciu największą liczbę rannych jak i liczbę zabitych odnotowano w 2002, kiedy ich poziom wynosił odpowiednio 67 498 osób oraz 5827 osoby. Odnosząc jednak te wartości do liczby zdarzeń drogowych, można zauważyć, iż najwyższy wskaźnik liczby zabitych na 100 zdarzeń drogowych został odnotowany w 2005 roku, a wskaźnik rannych w 2007 roku, kiedy to wskaźniki te wynosiły odpowiednio 11,3 i 127,6 osoby. Analizując rozmieszczenie przestrzenne wypadków, można zauważyć, iż w całym analizowanym

okresie w niechlubnej czołówce znajdują się cztery województwa: śląskie, którego udział w ogóle zarejestrowanych wypadków wynosił w 2012 roku aż 12,6%, mazowieckie (12,1%), małopolskie oraz łódzkie (10,5%). Pomijając lata 2012 oraz 2004 na pierwszym miejscu znajdowało się województwo mazowieckie. Z kolei najmniejszą liczbę zdarzeń drogowych notowano w województwach: podlaskim (2,1% ogółu) oraz lubuskim i opolskim (po 2,2% ogółu). Należy zwrócić uwagę, iż poszczególne regiony nie są jednakowe, lecz różnią się ze względu na wielkość powierzchni, liczbę mieszkańców, liczbę samochodów przypadającą na mieszkańca, natężenie ruchu. Do celów porównawczych zatem bardziej zasadne jest operowanie wskaźnikiem demograficznym (liczby zdarzeń i ich ofiar na 100 tysięcy mieszkańców) lub liczby zabitych i liczby rannych na 100 zdarzeń drogowych (rys. 2). Patrząc na badane zagadnienie pod tym kątem, okazuje się, iż w 2012 roku województwo podlaskie miało najwyższy współczynnik liczby ofiar śmiertelnych sięgający 17,1 osób. Na nieco niższym, choć również bardzo wysokim poziomie, uplasowały się województwa kujawsko-pomorskie (16,8), lubelskie (15,0) oraz mazowieckie (13,1). W latach 2002–2012 najwyższy poziom tego wskaźnika rejestrowano w województwach: podlaskim, kujawsko-pomorskim oraz lubuskim.



Rys. 2. Przestrzenne różnicowanie wskaźnika rannych oraz zabitych na 100 wypadków drogowych w 2012 roku

Źródło: opracowanie własne

Należy zauważyć, iż w przypadku województwa lubuskiego odnotowano znaczny spadek tego wskaźnika z poziomu 22,2 w 2002 do 12,3 osób w 2012 roku. Z kolei najgorsza sytuacja pod względem liczby rannych przypadających na 100 zdarzeń drogowych we wszystkich latach badania była udziałem województw: lubuskiego (135,2 w 2012 roku), dolnośląskiego (132,6), pomorskiego (129,1) i warmińsko-mazurskiego (128,1).

Zgodnie z danymi Komendy Głównej Policji wśród wielu przyczyn powstawania zdarzeń drogowych zawinionych przez kierujących pojazdami na czoło wysuwają się trzy podstawowe:

- 1) prędkość niedostosowana do panujących warunków (21,9%),
- 2) nieprzestrzeganie pierwszeństwa przejazdu (20,3%),
- 3) nieprawidłowe zachowania wobec pieszego (11,2%).

Na podstawie kontroli polskich dróg NIK utworzyła listę najważniejszych przyczyn braku bezpieczeństwa. Są to: zły stan techniczny jezdni (niewystarczający poziom bezpieczeństwa stwierdzono nawet na niektórych odcinkach autostrad), nieskuteczny system szkolenia i egzaminowania kandydatów na kierowców, zły stan techniczny pojazdów oraz wadliwa organizacja ruchu drogowego [4].

### Przykładowe badania zależności bezpieczeństwa ruchu od wskaźników makroekonomicznych

Bezpieczeństwo w ruchu drogowym jest nieustannie przedmiotem wielu analiz i badań, których zadaniem jest odnalezienie czynników makroekonomicznych wywierających największy wpływ na liczbę wypadków drogowych. Przykładowo w opracowaniach P.P. Valli [5] oraz A.P. Akgungora i E. Dogana [6] do badania bezpieczeństwa w ruchu drogowym wykorzystano formułę Smeeda z 1938 roku oraz formułę Andreassena, która miała zapewnić większą uniwersalność zastosowania modelu. W modelu Smeeda bada się zależność pomiędzy liczbą ofiar śmiertelnych ( $D$ ) a liczbą pojazdów ( $N$ ) oraz liczbą mieszkańców danego regionu ( $P$ ).

$$D/N = 0,0003(N/P)^{-0,67} \quad (1)$$

Z kolei propozycja Andreassena przybiera postać:

$$D = const * (N)^{M_1} * (P)^{M_2} \quad (2)$$

Z kolei Kopits E. i Cropper M. [7], opierając się krzywej Kuzneta, podjęły się próby odpowiedzi na pytanie czy poziom uprzemysłowienia kraju determinuje poziom wypadkowości. Umożliwić to miało wyznaczenie poziomu dochodu per capita, od którego wskaźnik śmiertelności ( $F/P$  – fatalities/population) zaczyna maleć. Kolejnym etapem badania było sporządzenie prognozy do 2020 roku. Badanie zostało przeprowadzone za pomocą modeli panelowych FEM na 88 krajach w latach 1963–1999. W modelu zastosowano cztery sposoby wyznaczenia linii trendu: liniową oraz logarytmiczną linię trendu wspólną dla wszystkich krajów oraz regionalne trendy liniowe i logarytmiczne. Ogólne postaci modelu można opisać wzorami:

$$\ln(F/P)_{it} = a_i + G(t) + b \ln Y_{it} + c(\ln Y_{it})^2 + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\ln(F/P)_{it} = a_i + G(t) + b \ln Y_{it} + \sum_s [c_s D_s (\ln Y_{it} - \ln Y_s)] + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

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  $Y_{it}$ ,

dla grupy dochodu pomiędzy  $s$  i  $s+1$ . Kraje zostały podzielone na 10 grup dochodowych

$\varepsilon_{it}$  – składnik losowy.

Uzyskane wyniki potwierdziły hipotezę o wpływie dochodu per capita na wskaźnik śmiertelności w wyniku wypadków drogowych, który początkowo rośnie wraz ze wzrostem dochodu, a następnie zaczyna spadać.

Do podobnych wniosków doszedł również M.J. Koornstra [8], który, ze względu na różnice definicji ofiary śmiertelnej w wypadku drogowym, dodatkowo skorygował te dane, by doprowadzić je do porównywalności. Różnice definicyjne wynikały z faktu, iż niektóre kraje za śmierć w wyniku wypadku drogowego uznają jedynie zgon na miejscu wypadku, inne zaś rozciągają ten okres do 30 dni od daty zdarzenia.

Na podstawie przeprowadzonych badań można zauważyć, iż im szybciej dany kraj osiągnie odpowiedni poziom motoryzacji (liczbę pojazdów przypadającą na mieszkańca), tym szybciej wystąpi i tym większy będzie spadek wskaźnika śmiertelności. Wynika to z faktu, iż kraje rozwijające się uczą się na podstawie doświadczeń krajów rozwiniętych i stosują wypróbowane przez nie pozytywne rozwiązania. Stopień motoryzacji jest z kolei silnie związany z sytuacją gospodarczą kraju, wyższy dochód per capita sprzyja podnoszeniu stopnia zmotoryzowania społeczeństwa.

Bardzo dużym wkładem w prace nad badaniem bezpieczeństwa jest opracowana przez K. Jamroza [9] metoda szacowania ryzyka w ruchu drogowym, której podstawą jest uzależnienie zmian poszczególnych czynników i miar ryzyka od zmian poziomu rozwoju społecznego kraju, jako głównego wyznacznika funkcjonowania systemu transportu drogowego. Wyniki badania potwierdziły założenie o występowaniu zależności między poszczególnymi miarami ryzyka ekonomicznego (definiowanymi jako koszty wypadków drogowych) i ryzyka osobowego (osobami, które w wyniku wypadku poniosły śmierć lub obrażenia) a szerokim wachlarzem zmiennych niezależnych, które autor pogrupował według źródeł ryzyka na parametry demograficzne, geograficzne, motoryzacyjne, infrastrukturalne, mobilnościowe, ekonomiczne oraz społeczne. Trzy ostatnie grupy okazały się być głównymi determinantami poziomu ryzyka. Dodatkowo autor przedstawił metodę ROAD-RISK dla społecznego ryzyka strategicznego na przykładzie Polski oraz wybranych krajów.

### Specyfikacja podstawowych zależności i równań modelu wypadków drogowych

Każdy wypadek drogowy generuje olbrzymie straty dla gospodarki, zatem wyznaczenie czynników generujących ich powstawanie ma olbrzymie znaczenie. Na przestrzeni lat powstało wiele teorii i modeli opisujących to zagadnienie. Głównym celem niniejszej analizy jest wyznaczenie oraz zmierzenie siły oddziaływania czynników makroekonomicznych kształtujących liczbę wypadków drogowych, co może stanowić wsparcie w podejmowaniu stosownych działań zmierzających do poprawy bezpieczeństwa na polskich drogach. Zgodnie z raportem KRBRD jedną z podstawowych determinant powstawania wypadków drogowych jest nadmierna prędkość jazdy oraz błędy występujące w infrastrukturze drogowej. W raportach powypadkowych

stan infrastruktury drogowej rzadko podawany jest jako bezpośrednia przyczyna wypadków, jednak to nieprawidłowości na drogach sprzyjają popełnianiu przez uczestników ruchu błędów, stając się tym samym bardzo ważną pośrednią przyczyną wypadków [10]. KRBRD zwraca uwagę na takie ułomności infrastruktury drogowej jak np.:

- nieznaczny udział dróg ekspresowych i autostrad, będących drogami o najwyższym standardzie, w ogóle dróg;
- wielofunkcyjność przeważającej części głównych dróg i ulic, mieszana struktura potoków pojazdów na drogach (szybkie samochody osobowe i ciężarowe, ciągniki, rowery i ruch pieszny) [10];
- niska jakość dróg oraz niewystarczający standard odnowy nawierzchni drogowej.

Powyższy raport stanowił podstawę do wyznaczenia zmiennych objaśniających poziom wypadkowości w Polsce. Za zmienne egzogeniczne uznano:

- wydatki jednostek samorządowych w dziale 600 – Transport i łączność w PLN (wydatki),
- wydatki jednostek samorządowych w dziale 600 – Transport i łączność w PLN opóźnione o jeden okres (wydatki-1),
- udział dróg ekspresowych i autostrad w ogóle dróg w województwie (autostrady),
- udział liczby kilometrów dróg w stanie wymagającym natychmiastowego remontu w ogólnej liczbie kilometrów dróg (UZD),
- średni dobowy ruch na drogach krajowych ogółem (SDR),
- udział w ruchu pojazdów ciężkich, przy czym za ogół pojazdów uznano samochody osobowe, samochody ciężarowe oraz motocykle (UPC).

Badaniem objęto 16 województw Polski, uwzględniając dane z lat 2002–2011.

Pomiar stanu nawierzchni dróg (UZD) prowadzony jest w ramach Systemu Oceny Stanu Nawierzchni (OSSN) oraz Systemu Oceny Stanu Nawierzchni Betonowych (OSSN-B) [11]. Co roku w systemach tych gromadzone są informacje dotyczące stanu spękań, równości podłużnej, głębokości kolein, stanu powierzchni oraz właściwości poślizgowych. Poszczególne parametry oceniane są według czterostopniowej skali – A, B, C oraz D. Jako A zostały sklasyfikowane drogi, których stan należy uznać za dobry; kod B odnosi się do stanu zadowalającego; C do stanu niezadowalającego; a D oznacza, iż droga jest w bardzo złym stanie i kwalifikowana jest do natychmiastowego remontu. Zmienna UZD stanowi udział dróg kategorii D w całej sieci drogowej.

Informacje dotyczące średniego dobowego natężenia ruchu (SDR) na drogach krajowych zostały uzyskane z raportów publikowanych przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad [11]. Niestety, ze względu na koszty przeprowadzenia, pomiarów tych dokonuje się co 5 lat. W celu uzyskania danych dotyczących okresów, w których takie badania nie były prowadzone, dla potrzeb niniejszej

analizy szacowano SDR, zakładając liniową zmianę natężenia ruchu. Takie uproszczenie przyjęto z braku innych możliwości wyznaczenia wartości SDR.

Czynnikami determinującymi liczbę zdarzeń drogowych mogą również być złe warunki atmosferyczne, bądź zachowania kierowców wynikające z niedostatecznych umiejętności (wadliwy system szkoleń), zmęczenia, takich cech charakteru jak skłonność do ryzyka czy agresja. Ze względu na niemożliwość uzyskania takich danych, czynniki te nie zostały uwzględnione w zaproponowanym modelu.

Można zauważyć, iż rozwój nauki oraz większa dostępność danych, a także wyspecjalizowanego oprogramowania komputerowego przyczynia się do sięgania po coraz bardziej nowoczesne metody badawcze. Ciekawym rozwiązaniem metodycznym wydaje się budowa modeli z wykorzystaniem danych panelowych (przekrojowo-czasowych). Dane panelowe to takie dane, które obserwowane są w co najmniej dwóch wymiarach. Najlepszym przykładem danych panelowych są dane przestrzenno-czasowe, tzn. obserwowane na wielu obiektach, obszarach, przez wiele okresów [12]. Niewątpliwą zaletą stosowania tego typu modeli jest możliwość przeprowadzenia bardzo wnikliwych analiz i uzyskania szczegółowych informacji. W budowie modeli panelowych przyjmuje się założenie o niezmienności parametrów stojących przy zmiennych egzogenicznych względem czasu i obiektów. 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 [13]. Powodem takiej konstrukcji modelu jest założenie, iż występowanie heterogeniczności jest spowodowane pominięciem zmiennych mogących mieć istotny wpływ na kształtowanie się szacowanego zjawiska. Wpływ zmiennych nieuwzględnionych w modelu może być stały w czasie i zmieniający się w przypadku obiektów lub specyficzny dla obiektów i stały w czasie. Przyjmuje się założenie, iż łączne oddziaływanie pominiętych czynników jest istotne, z kolei ich indywidualny wpływ nie. Dodatkowo efekty te nie są skorelowane ze zmiennymi egzogenicznymi lecz są zawarte w składniku losowym.

Do estymacji danych panelowych stosuje się metody oparte na klasycznej lub uogólnionej metodzie najmniejszych kwadratów (KMNK lub UMNK). Statyczny model, zwany modelem z efektami grupowymi przyjmuje postać:

$$y_{it} = x_{it}^T \beta + (\alpha_i + \varepsilon_{it}), \quad (5)$$

gdzie:

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

$t$  – numer okresu

$x_{it}^T = [x_{it1}, \dots, x_{itk}]$  – 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 ( $\alpha_i$ ) oraz właściwego składnika losowego ( $\varepsilon_{it}$ ).

Efekty grupowe mogą być utożsamiane z wyrazem wolnym, zróżnicowanym względem obiektów bądź jako składnik losowy. Do estymacji tych pierwszych wykorzystuje się modele zwane modelami ze zmiennymi sztucznymi lub modelami z efektami nielosowymi, ustalonymi, stałymi (ang. *fixed effect models*, FEM). Można je opisać za pomocą wzoru:

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it}^T \beta + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

Wyraz wolny  $\alpha_i$  różni się względem obiektów i odzwierciedla nieobserwowalny i nieuwzględniony w równaniu regresji efekt specyficzny dla  $i$ -tego obiektu, a parametry przy zmiennych objaśniających są jednakowe dla wszystkich obiektów i okresów. Oznacza to, że efekty zmian zmiennych  $x_{it}$  są identyczne we wszystkich okresach i dla wszystkich obiektów, ale przeciętny poziom zjawiska może być różny dla różnych obiektów [12].

Drugą grupą modeli są modele z efektami losowymi inaczej nazywane modelami z dekompozycją składnika losowego (ang. *random effect models*, REM), które mogą przybierać postać:

$$y_{it} = \alpha + x_{it}^T \beta + (\alpha_i + \varepsilon_{it}) = \alpha + x_{it}^T u_{it} \quad (7)$$

W przypadku modeli REM przyjmuje się, że składnik losowy  $u_{it}$  składa się ze stałego w czasie efektu grupowego oraz ze zmiennego w czasie i po obiektach tzw. właściwego składnika losowego  $\alpha_i$ . Obie części składnika losowego  $\varepsilon_{it}$  są niezależne zarówno od siebie, jak i od zmiennych  $x_{it}$ .

W celu dokonania wyboru pomiędzy modelem z efektami ustalonymi i modelem z efektami losowymi stosuje się zwykle test zaproponowany przez J.A. Hausmana. Służy on do zweryfikowania hipotezy, który z estymatorów  $\hat{\beta}_{UMNK}$  czy  $\hat{\beta}_w$  posiada cechy dobrego estymatora. Weryfikuje się hipotezę zerową, 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  $\chi^2$  z  $k$  stopniami swobody, gdzie  $k$  określa wymiar [14].

## Rezultaty estymacji

Celem przedstawianego badania jest wszechstronna analiza zależności zachodzących między liczbą wypadków drogowych a zdefiniowanymi powyżej zmiennymi egzogenicznymi. Wszystkie wyliczenia przeprowadzone zostały w programie Gretl, a uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 1, przy czym zawiera ona jedynie zmienne istotnie statystycznie. Estymację przeprowadzono przy wykorzystaniu zarówno modeli z efektami ustalonymi, jak i modeli z efektami losowymi. Ostatecznie, na podstawie testu Hausmana oraz faktu, iż model FEM nie posiadał cech rozkładu normalnego, dokonano wyboru modelu REM.

Tabela 1

Wyniki estymacji równań modelu wypadków drogowych dla lat 2004–2011					
		Wartości współczynników	t-Student	p-value	istotność
Wyraz wolny	const	8,60	9,892	0,000	***
Wydatki jednostek samorządowych w dziale 600 w PLN opóźnione o jeden okres	wydatki-1	-0,17	-5,991	0,000	***
udział dróg ekspresowych i autostrad w ogólnej liczbie kilometrów dróg	autostrady	-0,02	2,617	0,009	***
udział złych dróg w ogólnej liczbie kilometrów dróg	UZD	0,08	1,754	0,082	*
*** – statystycznie istotne przy poziomie istotności 1%, ** statystycznie istotne przy poziomie istotności 5%, * – statystycznie istotne przy poziomie istotności 10%.					

Źródło: opracowanie własne

W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono, że na kształtowanie się liczby wypadków drogowych w poszczególnych województwach wpływ miały jedynie trzy zmienne: wydatki w dziale 600 – Transport i łączność ponoszone przez jednostki samorządowe opóźnione o jeden okres (wydatki-1), udział autostrad i dróg ekspresowych w ogólnej długości dróg oraz stosunek dróg w stanie wymagającym natychmiastowego remontu do ogólnej liczby kilometrów dróg. Otrzymany w badaniu kierunek oddziaływania powyższych zmiennych na zmienną objaśnianą jest zgodny z oczekiwaniami.

Z przeprowadzonych badań wynika, iż województwa, w których jednostki samorządowe dokonywały większych wydatków na infrastrukturę transportową charakteryzowały się niższą wypadkowością. Każde zwiększenie wydatków o jeden procent przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa na drogach o około 0,17%. Stosunkowo nieduża siła wpływu może wynikać z faktu, iż środki budżetowe działu 600 przeznaczane są nie tylko na finansowanie poprawy bezpieczeństwa. Ze środków tych pokrywa się również między innymi koszty usuwania skutków klęsk żywiołowych, utrzymania lokalnego transportu zbiorowego, utrzymanie infrastruktury drogowej.

Województwa, które odznaczają się większym odsetkiem dróg ekspresowych i autostrad – w ogólnej liczbie dróg, są w mniejszym stopniu narażone na występowanie zdarzeń drogowych, co stanowi potwierdzenie raportu KRBRD. Można zatem oczekiwać, iż budowa autostrad i dróg ekspresowych pozytywnie wpłynie na poprawę bezpieczeństwa w ruchu drogowym.

Zgodnie z oczekiwaniami zależność występująca pomiędzy stanem nawierzchni a liczbą zdarzeń drogowych ma charakter dodatni. Zgodnie z analizami KRBRD (...) błędy infrastruktury drogowej to jedna z głównych przyczyn powstawania wypadków drogowych i ich ciężkości (ofiar rannych i śmiertelnych) [15]. Niska siła oddziaływania tej zmiennej (0,08%) może wynikać z faktu, iż błędy infrastruktury to nie tylko zły stan techniczny nawierzchni, ale także wady geometryczne i mankamenty organizacji ruchu, brak hierarchizacji dróg bądź brak urządzeń bezpieczeństwa ruchu dla pieszych i rowerzystów.

## Podsumowanie

Rzeczywisty rozwój transportu, a zwłaszcza motoryzacji przyniósł olbrzymie korzyści dla gospodarki kraju i poprawy jakości życia społeczeństwa, ale ma także takie oddziaływania negatywne, jak wypadki i kolizje drogowe. Wypadki drogowe powodują nie tylko straty materialne, ale przede wszystkim prowadzą do śmierci bądź kalectwa wielu ludzi.

Złożony charakter powstawania zjawiska wypadków i kolizji drogowych sprawia, że skuteczne działania prewencyjne powinny być prowadzone w sposób całościowy, skoordynowany i uporządkowany, z zaangażowaniem spójnego zespołu metod oraz odpowiednich środków technicznych i organizacyjnych [16]. Tego typu działania są podejmowane w ramach krajowego i regionalnych programów bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Przeprowadzone badanie potwierdziło wnioski wynikające z raportu KRBRD. Dużym problemem w Polsce jest niski poziom jakości dróg, przez co każdego roku w Polsce wiele osób traci życie. Wymusza to konieczność podjęcia prac ukierunkowanych na poprawę stanu dróg. Zgodnie z poglądem, iż „bezpieczne drogi chronią życie”, do 2020 roku w Polsce ma zostać utworzona nowoczesna i bezpieczna infrastruktura drogowa, której jakość będzie odpowiadać standardom rozwiniętych krajów Europy Zachodniej. W tym celu mają zostać wykorzystane środki finansowe pochodzące zarówno z UE, jak i fundusze krajowe. Przeprowadzone badania potwierdzają, że wzrost nakładów na infrastrukturę drogową i rozwój hierarchicznej sieci drogowej pozytywnie wpłynie na poprawę poziomu bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Poprawa jakości dróg, zwiększenie ich długości oraz udziału autostrad w ogóle dróg stanowi istotny czynnik wpływający na poprawę bezpieczeństwa, a więc ograniczenia liczby wypadków.

Ograniczenie liczby zdarzeń drogowych jest również możliwe dzięki podejmowaniu działań w zakresie rozwoju:

- systemu instytucjonalno-prawnego,
- metod ocen ryzyka w systemie transportu,
- systemu reagowania na pojawienie się zagrożenia,
- systemu działań powypadkowych (komisje badania wypadków i procedury ich działania, wdrażanie rekomendacji powypadkowych) [17].

Należy jednak pamiętać, iż zdarzenia drogowe są również następstwem niewłaściwego zachowania samych uczestników ruchu. Niedostosowanie prędkości do warunków ruchu oraz nieprzebranie pierwszeństwa przejazdu przez kierujących w 2012 roku stanowiło przyczynę ponad 16 tysięcy wypadków, w których życie straciło niemalże 1700 osób. Niestety wiele osób ignoruje zagrożenia, podejmując ryzykowne zachowania na drodze. Jazda: pod wpływem alkoholu, bez zapiętych pasów bezpieczeństwa, w stanie nadmiernego zmęczenia, bez kasku oraz brawura to tylko niektóre z bezmyślnych zachowań uczestników ruchu. Problem bezpieczeństwa w ruchu drogowym jest bardzo złożonym zagadnieniem i dlatego przeprowadzone badanie nie zaspokaja całkowitych potrzeb badawczych

w tym zakresie. Niniejszy artykuł stanowił próbę zweryfikowania wniosków płynących z raportu KRBRD, co zostało potwierdzone otrzymanymi wynikami. W kolejnym etapie zostanie podjęta próba odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu uwzględnienie zmiennych demograficznych w modelu mogłoby rozszerzyć wiedzę o determinantach wypadkowości.

## Literatura

1. *Stan bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz działania realizowane w tym zakresie w 2008 roku*. Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 30 czerwca 2009 r.
2. [http://www.pck.pl/pages,147\\_190.html](http://www.pck.pl/pages,147_190.html)
3. Krajowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2005 – 2007 – 2013. GAMBIT 2005, Ministerstwo Infrastruktury, przyjęty przez Radę Ministrów na posiedzeniu w dniu 19 kwietnia 2005 r.
4. <http://www.nik.gov.pl/aktualnosci/nik-o-przyczynach-wypadkow-drogowych.html>
5. Valli P.P., *Road accident models for large metropolitan cities of India*, IATSS Research Vol. 29, N 1, 2005.
6. Akgungor A.P., Dogan E., *An application of modified Smeed, adapted Andereassen and artificial neural network accident models to three metropolitan cities of Turkey*, „Scientific Research and Essay” 2009, Vol. 4 (9).
7. Kopits E., Cropper M., *Traffic fatalities and economic growth*, Policy Research Working Paper, The World Bank Development Research Group Infrastructure and Environment, April 2003.
8. Koornstra M.J., *Prediction of traffic fatalities and prospects for mobility becoming sustainable-safe*, Sadhana, Vol. 32, Part 4, 2007.
9. Jamroz K., *Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2011.
10. Generalny pomiar ruchu. Synteza wyników, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad.
11. Raport o stanie technicznym nawierzchni asfaltowych i betonowych sieci dróg krajowych (2004–2010), Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad;
12. Kufel T., *Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem programu GRETL*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
13. Dańska-Borsiak B., *Dynamiczne modele panelowe w badaniach ekonomicznych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2011.
14. Maddala G.S., *Ekonometria*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
15. Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013–2020. Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Materiał na posiedzenie plenarne KRBRD w dniu 08.01.2013 r.
16. Jamroz K., *Główne strategie działań BRD na drogach krajowych do roku 2013*, VII Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, „Badania bezpieczeństwa transportu – czas na integrację, w GAMBIT 2008”, Gdańsk 2008.
17. Michalski L., *Bezpieczeństwo ruchu drogowego w systemie bezpieczeństwa transportu*, VII Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, „Badania bezpieczeństwa transportu – czas na integrację, w GAMBIT 2008”, Gdańsk 2008.