

WYKORZYSTANIE WYBRANYCH METOD WAP W OCENIE RELACJI POMIĘDZY STANEM INFRASTRUKTURY DROGOWEJ A BEZPIECZEŃSTWEM NA DROGACH W POLSCE

Elżbieta Badach, Monika Ziolo

Katedra Statystyki i Ekonometrii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: mziolo@ar.krakow.pl

Streszczenie: Podstawowym celem opracowania jest ocena zróżnicowania przestrzennego infrastruktury drogowej w Polsce z uwzględnieniem jej wpływu na liczbę wypadków na drogach. W analizie uwzględniono liczbę osób zabitych, rannych oraz liczbę kolizji drogowych. Przy ocenie infrastruktury drogowej uwzględniono zmienne charakteryzujące rodzaj i jakość dróg w układzie województw, obciążenie sieci dróg wojewódzkich, jak również przewozy ładunków i towarów.

Słowa kluczowe: infrastruktura drogowa, bezpieczeństwo na drogach, wielowymiarowa analiza porównawcza

WSTĘP

Tranzytowe położenie Polski umożliwia wzrost dochodów podmiotów gospodarczych związany z pełnieniem funkcji transportowych [Rogacki 2007]. Niewystarczająco rozwinięta infrastruktura drogowa hamuje niestety ten rozwój w wielu przypadkach stając się niebezpieczną dla mieszkańców, w konsekwencji powodując mniej lub bardziej zagrażające życiu wypadki.

Wyniki wielu badań wskazują, że dobrze rozwinięta infrastruktura drogowa pozwala zmniejszyć koszty transportu, magazynowania oraz kontaktów z kontrahentami. Ułatwia specjalizację, bo redukuje ryzyko nieterminowych dostaw. Sprzyja rozszerzeniu sieci sprzedaży towarów poza lokalne rynki, co pozwala przedsiębiorcom na osiągnięcie korzyści z dużej skali produkcji [Ciesielski, Szudrowicz 2001]. Ułatwia przepływ pracowników z rolnictwa do bardziej produktywnych sektorów. Umożliwia podejmowanie pracy poza miejscem zamieszkania pozwalając na szybkie pokonywanie nawet dużych odległości. Ludziom z małych miejscowości ułatwia dostęp do szerszej oferty edukacyjnej

[Chudzik, Więckowicz 1998]. Podnosi opłacalność pracy, bo tańsze staje się jej poszukiwanie, a po jej znalezieniu obniża koszty dojazdu. Ułatwia znalezienie pracy odpowiadającej kwalifikacjom pracownika, bo czyni opłacalnym poszukiwanie jej na znacznie większym obszarze. Za pośrednictwem wszystkich wymienionych kanałów poszerza możliwości zyskownego lokowania kapitału, a zwiększając zyski podnosi zarówno zdolność, jak i skłonność firm do inwestowania [Herrera, Pang 2005].

Mając na uwadze znaczenie dróg i wzrastające potrzeby transportowe istotnym jest śledzenie zmian zachodzących w infrastrukturze drogowej. Celem analizy było zbadanie zróżnicowania i dynamiki rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce w układzie województw ze zwróceniem szczególnej uwagi na drogi szybkiego ruchu, oraz zagrożenie wypadkami. Postawiono również tezę, że w województwach z lepiej rozwiniętą infrastrukturą drogową wyższy jest dochód mieszkańców oceniany za pomocą wskaźnika dochodów per capita.

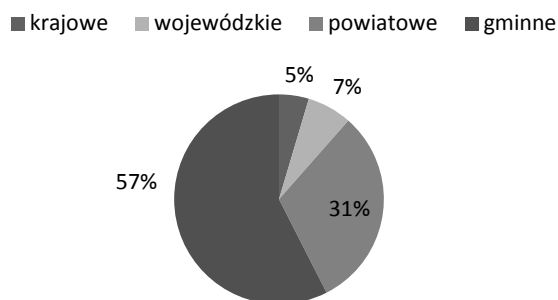
STAN INFRASTRUKTURY DROGOWEJ

Zgodnie z art. 2. Ustawy o drogach publicznych [Dz. U. 1985 Nr 14 poz. 60] drogi publiczne ze względu na funkcje pełnione w sieci drogowej dzielą się na następujące kategorie:

- drogi krajowe,
- drogi wojewódzkie,
- drogi powiatowe,
- drogi gminne.

Z czego zdecydowaną większość, bo około 58%, stanowią drogi gminne (rysunek 1).

Rysunek 1. Udział poszczególnych typów dróg tworzących ogólnopolską sieć dróg publicznych w 2014 roku



Źródło: opracowanie własne na podstawie GDDKIA

Długość dróg wojewódzkich w 2014 roku wynosiła 28 475,5 km, z czego 99,8% stanowiły drogi o nawierzchni twardej, 91,1% spośród 12 7743,2 km dróg powiatowych posiadało nawierzchnię twardą a w przypadku dróg gminnych odsetek ten wynosił 49,2% (247 243,2 km). W 2014 r. mieliśmy w Polsce niemal 280 tys. km dróg publicznych o twardej nawierzchni (tj. 89,7 km na 100 km² powierzchni kraju). Autostrad oraz dróg ekspresowych, od koniec 2014 r. było, odpowiednio, ponad 1070 km oraz blisko 738 km.

Pod względem dynamiki rozwoju sieci autostradowej Polska z 134% przyrostem liczby kilometrów autostrad w latach 2007-2014 zajmuje pierwsze miejsce wśród krajów europejskich. Natomiast sieć dróg ekspresowych wzrosła w tym samym czasie o 230%.

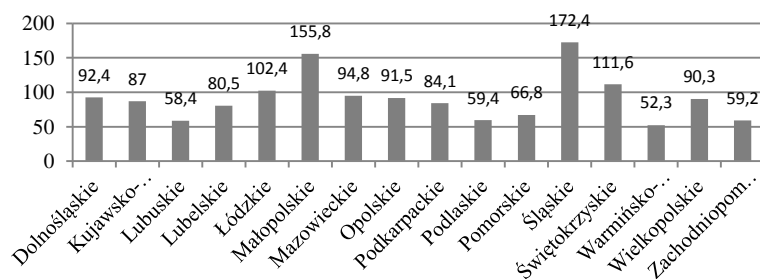
Tabela 1. Dynamika wzrostu liczby kilometrów autostrad w wybranych krajach europejskich w latach 2007-2014 w (%)

Kraj	Przyrost sieci autostrad
Polska	134%
Węgry	61%
Hiszpania	25%
Słowacja	15%
Czechy	12%
Niemcy	2%

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS Transport drogowy w Polsce w 2014, EU transport in figures statistical pocketbook 2015

Istotne znaczenie dla przewozów pasażerów i towarów ma gęstość dróg. Wykazuje ona znaczne zróżnicowanie w poszczególnych województwach. Największa gęstość sieci drogowej w Polsce, na 100 km² powierzchni, występuje na Śląsku (172,4 km) i w Małopolsce (155,8 km), a najniższa w warmińsko-mazurskim (52,3 km), lubuskim (58,4 km) zachodniopomorskim (59,2 km) (rysunek 2).

Rysunek 2. Gęstość sieci drogowej w poszczególnych województwach w Polsce (km/100 km²) w 2014 roku



Źródło: obliczenia własne na podstawie Transport drogowy w Polsce w 2014 roku

W przeliczeniu na 100 km² powierzchni w województwie śląskim jest ponad 3-krotnie więcej dróg niż w województwie warmińsko - mazurskim. Dysproporcje te wynikają przede wszystkim z różnic w gęstości zaludnienia w poszczególnych regionach.

W województwie śląskim jest zarejestrowana znacznie większa liczba samochodów niż w województwie warmińsko - mazurskim, a samochody są tam przeciętnie znacznie intensywniej używane. W rezultacie natężenie ruchu jest trzykrotnie mniejsze w województwie warmińsko - mazurskim.

MATERIAŁ I METODA ANALIZY

Podstawowym celem opracowania jest zaprezentowanie infrastruktury drogowej w Polsce i zestawienie tych informacji z danymi o wypadkach drogowych w celu zaprezentowania zróżnicowania przestrzennego badanych zjawisk. Przy ocenie infrastruktury drogowej uwzględniono zmienne charakteryzujące rodzaj i jakość dróg w układzie województw, obciążenie sieci dróg wojewódzkich czy średni dobowy ruch pojazdów jak również przewozy ładunków i towarów. Wszystkie zmienne opisujące infrastrukturę drogową zaklasyfikowano do grupy stymulant.

Do weryfikacji związku pomiędzy zmiennymi wykorzystano współczynnik korelacji liniowej Pearsona. Zmienne skorelowane na poziomie powyżej 0,7 zostały pominięte. Podczas doboru zmiennych uwzględniono również współczynnik względnej amplitudy wahań $A(W_j)$ w celu wyeliminowania cech quasi stałych. Dane rozpatrywano w układzie województw w roku 2014. Wskazano województwa gdzie infrastruktura drogowa jest najlepiej rozwinięta i grupę województw, które wymagają doinwestowania ze względu na złą jakość dróg skutkującą dużą liczbą osób zabitych i rannych. W analizie wykorzystano następujące zmienne:

- X₁ - drogi krajowe na 100 km² powierzchni,
- X₂ - drogi wojewódzkie na 100 km² powierzchni,
- X₃ - drogi powiatowe na 100 km² powierzchni,
- X₄ - drogi gminne 100 km² powierzchni,
- X₅ - drogi ekspresowe na 100 km² powierzchni,
- X₆ - autostrady na 100 km² powierzchni,
- X₇ - średni dobowy ruch pojazdów,
- X₈ - ładunki nadane do przewozu w mln t/km,
- X₉ - przewozy pasażerów w komunikacji miejskiej na mieszkańca,
- X₁₀ - nakłady na drogi publiczne w tys. zł na km drogi.

Tabela 2. Podstawowe statystyki opisowe analizowanych zmiennych opisujących infrastrukturę drogową w 2014 roku

Zmienne	Średnia	Minimum	Maksimum	Współczynnik zmienności (%)
X1	6,21	4,21	9,47	22,99
X2	9,31	6,15	11,84	17,25
X3	41,22	30,22	52,89	15,94
X4	77,29	35,24	141,74	38,41
X5	0,27	0,01	0,98	124,23
X6	0,16	0,00	0,49	95,40
X7	3416,69	189,00	5523,00	29,19
X8	8388,31	4335,00	17809,00	53,66
X9	78,17	25,34	209,54	62,88
X10	100,35	33,42	233,22	67,63

Źródło: opracowanie własne

W przypadku badania bezpieczeństwa na drogach spośród danych opisujących liczbę wypadków, kolizji, liczbę zabitych i rannych po przeprowadzeniu analizy merytorycznej i statystycznej pozostały trzy zmienne. Wszystkie zmienne uznano za destymulanty.

X₁ - ofiary śmiertelne na 100 tys. ludności,

X₂ - ranni na 100 pojazdów,

X₃ - liczba wypadków drogowych na 100 tys. ludności,

X₄ - ofiary śmiertelne na 100 tys. pojazdów.

Tabela 3. Podstawowe statystyki opisowe analizowanych zmiennych przedstawiające liczbę wypadków na drogach

Zmienne	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności (%)
X ₁	8,7	5,4	10,6	1,47	16,95
X ₂	160,5	78,0	268,9	53,13	33,09
X ₃	89,1	50,0	159,2	26,92	30,23
X ₄	12,7	8,7	16,5	2,11	16,66

Źródło: obliczenia własne

Analiza zróżnicowanych zmiennych wymagała zastosowania metody, która umożliwia porównywanie cech o różnych mianach. W tym celu wykorzystano jedną z metod wielowymiarowej analizy porównawczej – metodę unitaryzacji zerowanej (MUZ) dla której formuła normalizacyjna dla stymulant jest następująca [Kukuła 2000]:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}, \text{ gdy } X_j \in \{S\}, \quad (1)$$

w przypadku normowania destymulant zastosowano następującą formułę:

$$z_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}, \text{ gdy } X_j \in \{D\}, \quad (2)$$

Zastąpienie zbioru cech, charakteryzujących dany obiekt, zmienną syntetyczną (zmienną agregatową Q_i) będącą sumą wszystkich unormowanych cech pozwala określić stan zjawiska za pomocą jednej liczby.

Umożliwia to hierarchizację zbioru obiektów analizowanych, tworzenie grup obiektów podobnych, a tym samym przeprowadzenie badań porównawczych pod względem osiągniętego poziomu rozwoju.

W tabeli 4 zaprezentowano rankingi województw sporządzone dla wytypowanych zmiennych. Pierwszy przedstawia układ województw pod względem rozwoju infrastruktury drogowej, drugi natomiast uwzględnia bezpieczeństwo na drogach oceniane za pomocą danych o liczbie wypadków i kolizji.

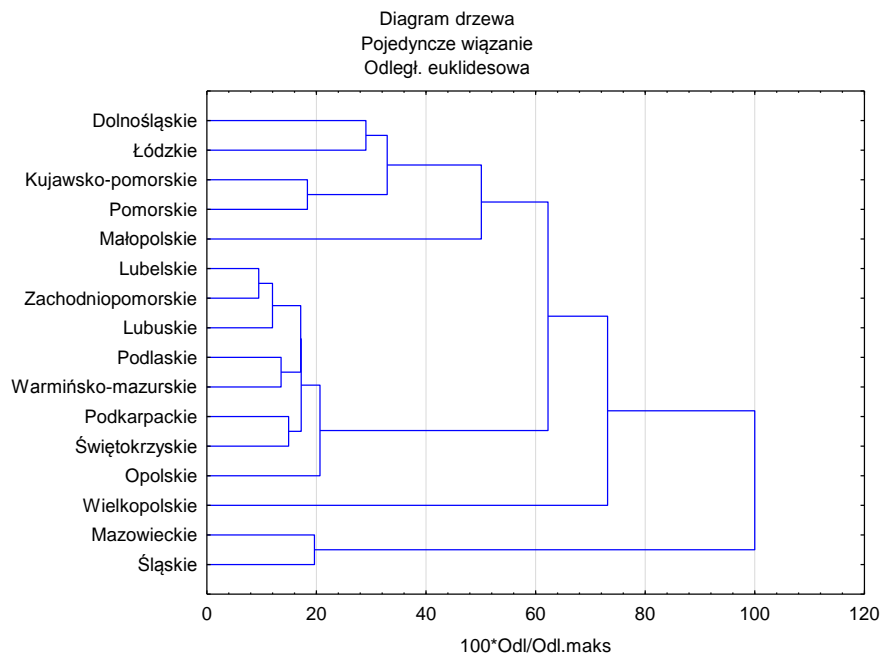
Tabela 4. Rankingi województw ze względu na zróżnicowani infrastruktury drogowej i bezpieczeństwo na drogach w 2014 roku

Lp.	Województwo	Wskaźnik infrastruktury drogowej Q_i	PKB per capita w zł	Lp.	Województwo	Wskaźnik wypadków drogowych Q_i
1	ŚLĄSKIE	7,53	42 830	1	WIELKOPOLSKIE	3,08
2	MAZOWIECKIE	5,53	64 790	2	ŚLĄSKIE	3,02
3	DOLNOŚLĄSKIE	5,88	44 961	3	KUJAWSKO-POMORSKIE	2,89
4	MAŁOPOLSKIE	5,03	34 107	4	PODKARPACKIE	2,76
5	WIELKOPOLSKIE	4,61	41 285	5	LUBUSKIE	2,70
6	ŁÓDZKIE	4,47	36 750	6	ŁÓDZKIE	2,46
7	ŚWIĘTOKRZYSKIE	4,01	29 552	7	DOLNOŚLĄSKIE	2,19
8	KUJAWSKO-POMORSKIE	3,91	32 596	8	MAZOWIECKIE	2,09
9	POMORSKIE	3,51	37 822	9	MAŁOPOLSKIE	2,09
10	LUBUSKIE	3,50	32 795	10	ZACHODNIOPOMORSKIE	2,08
11	OPOLSKIE	3,22	31 771	11	OPOLSKIE	1,86
12	PODKARPACKIE	3,39	26 801	12	PODLASKIE	1,86
13	ZACHODNIOPOMORSKIE	2,20	33 485	13	POMORSKIE	1,71
14	WARMIŃSKO-MAZURSKIE	2,18	28 635	14	ŚWIĘTOKRZYSKIE	1,23
15	PODLASKIE	2,01	28 485	15	WARMIŃSKO-MAZURSKIE	0,69
16	LUBELSKIE	1,89	26 919	16	LUBELSKIE	0,35

Źródło: obliczenia własne

W celu zobrazowania grup województw podobnych pod względem rozwoju infrastruktury drogowej wykorzystano metodę Warda.

Rysunek 3. Grupowanie województw ze względu na zróżnicowani infrastruktury drogowej metodą Warda w 2014 roku



Źródło: obliczenia własne

W analizie grupowanie metodą Warda województwa najlepsze (śląskie, mazowieckie) i najgorsze (lubelskie, podlaskie, warmińsko-mazurskie i zachodniopomorskie) z rankingu znalazły się w tych samych grupach. Województwo wielkopolskie zakwalifikowano do osobnej grupy ze względu na stosunkowo słabo rozwiniętą sieć drogową, natomiast czwarte miejsce pod względem przewozu towarów.

Zaobserwowano również bardzo silny związek pomiędzy rozwojem infrastruktury drogowej a dochodami na mieszkańca w poszczególnych województwach. Współczynnik korelacji r był na poziomie 0,84, co wskazuje na silną zależność między badanymi zmiennymi.

Ocena zróżnicowania infrastruktury drogowej za pomocą wielowymiarowej analiza statystycznej wskazuje, że województwa śląskie, mazowieckie i małopolskie mają najlepiej rozwiniętą infrastrukturę drogową w Polsce podczas gdy jest ona najslabiej rozwinięta w województwach zachodniopomorskim, warmińsko-mazurskim, lubelskim, podlaskim. Sieć dróg krajowych i wojewódzkich jest najbardziej zagęszczona na 100 km² w województwach śląskim i dolnośląskim. Dróg powiatowych jest stosunkowo najwięcej

w województwach świętokrzyskim, śląskim i łódzkim a dróg gminnych w województwie śląskim i małopolskim. Najkrótsza sieć autostrad przebiega w województwach warmińsko-mazurskim, podlaskim, świętokrzyskim i lubelskim. Wydatki na drogi publiczne były bardzo zróżnicowane. Największe dofinansowanie na km drogi, bo aż powyżej 200 tys., uzyskały województwa lubuskie i podkarpackie. Związane to było przede wszystkim z inwestowaniem w drogi szybkiego ruchu. Następne w kolejności były śląskie i łódzkie z kwotą około 180 tys., natomiast dolnośląskie i kujawsko-pomorskie otrzymały około 100 tys. na km drogi. W pozostałych województwach kwota ta była niższa niż 70 tys.

W przypadku rankingu uwzględniającego poziom wypadków, im wyższa pozycja w rankingu, tym mniej poszkodowanych na drogach tego województwa. Pomimo bardzo dużego natężenia ruchu w województwie śląskim odnotowano tam najmniej ofiar śmiertelnych (6 osób) w przeciwieństwie do województwa lubelskiego gdzie na 100 tys. ludności zginęło przeciętnie, w 2014 roku, 12 osób. Największą liczbę ofiar śmiertelnych zaobserwowano w województwach wschodnich - lubelskim, podlaskim i warmińsko - mazurskim. Wynika to z braku dróg szybkiego ruchu i autostrad na tych terenach. Ponadto wysoki wskaźnik śmiertelności można zaobserwować w województwach mazowieckim i łódzkim, które cechują się jednymi z największych przewozów pasażerów i towarów.

Liczba osób rannych na 100 wypadków była najwyższa w województwach świętokrzyskim i dolnośląskim.

Zaobserwowano również bardzo silny ujemny związek pomiędzy rozwojem infrastruktury drogowej a liczbą wypadków w poszczególnych województwach. Współczynnik korelacji Spearmana był na poziomie $-0,6$, co wskazuje na silną zależność między badanymi zmiennymi. Oznacza to, że w województwach o dobrze rozwiniętej infrastrukturze drogowej mniejsza jest liczba ofiar śmiertelnych, wypadków i kolizji na drogach. Na wysokim poziomie znajduje się wskaźnik korelacji rang pomiędzy poziomem infrastruktury a dochodami na głowę mieszkańca w poszczególnych województwach ($r_s 0,84$). Można więc wnioskować, iż poziom infrastruktury wpływa na zwiększenia dochodów ludności mieszkającej w pobliżu intensywnie rozwiniętej infrastruktury drogowej.

ZAKOŃCZENIE

Niski poziom rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce ogranicza korzyści, jakie mogłaby ona przynieść. Polskie drogi są jednymi z najintensywniej wykorzystywanych do przewozu dóbr w całej Unii. Nasz kraj znajduje się w pierwszej piątce krajów, gdzie tonaż przewożonych towarów jest największy. Bardzo intensywne użytkowanie dróg powoduje ich zły stan techniczny. W dobrym stanie znajduje się jedynie 55% dróg krajowych i tylko 29% dróg samorządowych.

Niestety poziom bezpieczeństwa na naszych drogach odbiega znacznie od poziomu bezpieczeństwa pozostałych krajów UE [Kaliński 2013]. Podstawowe wskaźniki bezpieczeństwa ruchu (śmiertelność i koncentracja ofiar śmiertelnych) są w Polsce kilkakrotnie wyższe niż w Szwecji, Holandii, czy Wielkiej Brytanii. Bardzo wolno przekształca się mocno zaniedbana i w wielu przypadkach nie odpowiadająca standardom bezpieczeństwa, infrastruktura drogowa. Ponadto na polskich drogach jest zbyt dużo pojazdów w złym stanie technicznym.

Przeprowadzona wielowymiarowa analiza statystyczna zróżnicowania infrastruktury drogowej wskazuje, że województwa śląskie, mazowieckie i małopolskie mają najlepiej rozwiniętą infrastrukturę drogową w Polsce, podczas gdy jest ona najslabiej rozwinięta w województwach zachodniopomorskim, warmińsko - mazurskim, lubelskim i podlaskim.

Zaobserwowano również bardzo silny związek pomiędzy rozwojem infrastruktury drogowej a liczbą rannych i ofiar śmiertelnych w poszczególnych województwach. Z analizy struktury wypadków wynika, że należy inwestować w drogi szybkiego ruchu i autostrady w województwach wschodnich, gdzie liczba ofiar śmiertelnych jest najwyższa.

Aby inwestycje w infrastrukturę były opłacalne, powinno się ich dokonywać przede wszystkim na terenach gęsto zaludnionych. Pomimo tego, że sieć drogowa w województwie śląskim jest przeszło trzykrotnie gęstsza niż w województwie warmińsko-mazurskim, to natężenie ruchu w tym pierwszym województwie jest przeciętnie dwukrotnie wyższe i to tam (oraz na innych gęsto zaludnionych terenach) powinny być w pierwszej kolejności kontynuowane najważniejsze inwestycje drogowe.

BIBLIOGRAFIA

- Chudzik B., Więckowicz Z. (1998) Wyposażenie w infrastrukturę techniczną obszarów wiejskich makroregionu południowo zachodniego Polski. V Konferencja naukowa: Infrastruktura techniczna wsi - ku integracji europejskiej. S. C Drukpol, Kraków-Szczucin.
- Ciesielski M., Szudrowicz A. (2001) *Ekonomika transportu*. A E Poznań.
- EU transport in figures statistical pocketbook 2015.
- Herrera S., Pang G. (2005) *Efficiency of Infrastructure: The Case of Container Ports*. World Bank, Policy Research Working Paper.
- Kaliński J. (2013) *Autostrady na EURO 2012*. Kwartalnik Kolegium Ekonomiczno-Społecznego. Studia i Prace, 1, Oficyna Wydawnicza Szkoła Główna Handlowa w Warszawie.
- Kukuła K. (2000) *Metoda unitaryzacji zerowanej*. PWN.
- Mały rocznik statystyczny Polski 2014.
- Rogacki H. (2007) *Geografia społeczno – gospodarcza Polski*. PWN S.A., Warszawa.
- Transport drogowy w Polsce w 2014 roku. GUS.

Załoga E. (2007) Ekonomiczne i społeczne wyzwania współczesnego transportu. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 454.

**APPLICATION OF MSA SELECTED METHODS IN THE
ASSESSMENT OF RELATIONSHIP BETWEEN STATE ROAD
INFRASTRUCTURE AND SAFETY ON ROADS IN POLAND**

Abstract: This article attempts to assess the diversity of road infrastructure in Poland in terms of regional. The article takes into account the length of roads, expenditures on public roads, the volume of passenger and freight transport, and traffic congestion in individual provinces. The data obtained were compared with information on road safety including the number of accidents and people injured on the roads. Conducted multivariate statistical analysis of road infrastructure diversity indicates that the Slaskie voivodship, Mazowieckie and Malopolskie have the most developed infrastructure of roads in Poland while it is the least developed in the Zachodniopomorskie, Warmia and Mazury, Lubelskie, Podlasie. It was also observed a very strong relationship between the development of road infrastructure and the number of injuries and deaths in individual provinces. From the analysis of the structure of accidents that you should invest in highways and motorways in the eastern provinces where the number of deaths is highest.

Keywords: road infrastructure, road safety, multivariate statistical analysis