

ISBN 978-83-945717-8-8

Conference proceedings
Transport Problems 2019

XI INTERNATIONAL
SCIENTIFIC
CONFERENCE

26.06-28.06 2019

Katowice
Bochnia

VIII INTERNATIONAL
SYMPOSIUM OF YOUNG
RESEARCHERS

24.06-25.06 2019

Katowice



Silesian
University
of Technology

UNDER THE HONORARY PATRONAGE OF MAYOR OF
KATOWICE CITY
AND RECTOR OF SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Transport
Silesian University of Technology

Silesian University of Technology
Faculty of Transport



Transport Problems 2019

Proceedings

XI International Scientific Conference

VIII International Symposium of Young Researchers

UNDER THE HONORARY PATRONAGE OF MAYOR OF KATOWICE CITY
AND RECTOR OF SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Silesian University
of Technology

ISBN 978-83-945717-8-8

Transport Problems
International Scientific Journal

editor-in-chief
A. Sładkowski
editorial board

*P. Czech, M. Cieśla, T. Haniszewski,
M. Juzek, W. Kamiński, P. Marzec, G. Wojnar*

*CONFERENCE -
TABLE OF
CONTENTS*

*SYMPOSIUM -
AUTHORS LIST*

*CONFERENCE -
AUTHORS LIST*

*CONFERENCE &
SYMPOSIUM
PROGRAM*

*SYMPOSIUM -
TABLE OF
CONTENTS*

*CONFERENCE &
SYMPOSIUM
PROCEEDINGS*

*CONFERENCE &
SYMPOSIUM
PARTICIPANTS*

No.	Author, Title	Pages	
		Begin	End
27	Andrej GULIČ <i>The strategy making process for low carbon mobility and transport in Slovenia: the case of the City Municipality of Novo mesto</i>	229	235
28	Tomasz HANISZEWSKI <i>Influence of main girders modification on a dynamic overload factor on experimental test stand of a crane</i>	236	244
29	Tomasz HANISZEWSKI <i>Strength analysis of an experimental test stand of a crane, girders modifications influence</i>	245	255
30	Joanna HAWLENA <i>Adaptation of the Servqual method for testing the quality of passenger air services</i>	256	268
31	Rashidbek HUDAYKULOV, Abduaziz ABDURAZAKOV <i>Rise of the earth-ground connection at the level of ground water in the conditions of Uzbekistan</i>	269	272
32	Marcin JASIŃSKI <i>Selected aspects of BIM-based bridge design and management</i>	273	280
33	Tomáš JAVOŘÍK, Pavel PURKART, Lukáš TÝFA, David VODÁK, Dušan TEICHMANN <i>The assessment of priorities in the construction of new tram lines in Prague by using the multicriterial linear optimization</i>	281	288
34	Georgi KADIKYANOV, Zhivko KOLEV, Seher KADIROVA <i>The comparative assessment relating to CO2 emissions of cars air conditioning systems using different refrigerants</i>	289	294
35	Wojciech KAMIŃSKI, Stanimir PENEV <i>Comparison the volume of rail transportation and socio-economic factors affecting them in Poland and Bulgaria</i>	295	307
36	Wojciech KAMIŃSKI, Aleksander SŁADKOWSKI <i>Determination the influence of socio-economic factors on the volume of railway passenger transport in different regions of Poland</i>	308	319
37	Ivan KARIN, Ana-Mari POLJIČAK, Darijo ŠEGO <i>Development trends in the number of postal parcels in the Republic of Croatia</i>	320	325
38	Abdubaki KAYUMOV, Khurshidbek ABDULLAYEV <i>Study of the influence of wetting on the deformability of soils of the foundation of automobile roadbed</i>	326	329
39	Filip KIRILOV, Daniel LYUBENOV <i>A comparative study of the illuminated area of automotive</i>	330	341
40	Krzysztof KRAWIEC <i>Planning process to deploy electric buses in a public transport company</i>	342	347
41	Michał KRZYSZTOFORSKI, Magdalen LONC,	348	353

Keywords: railway transport, passenger transportation, correlation coefficient

Wojciech KAMIŃSKI*, Aleksander SŁADKOWSKI

Silesian University of Technology

Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

*Corresponding author. E-mail: Wojciech.Kaminski@polsl.pl

DETERMINATION THE INFLUENCE OF SOCIO-ECONOMIC FACTORS ON THE VOLUME OF RAILWAY PASSENGER TRANSPORT IN DIFFERENT REGIONS OF POLAND

Summary. This article presents the calculation of weights determining the impact of particular socio-economic factors on the volume of rail passenger transport. For this purpose the Pearson's linear correlation coefficient was used, which allowed to obtain initial values of weights. During the calculations, an analysis of socio-economic factors in individual voivodships in Poland was made. Due to possible interrelations between individual factors Pearson's correlation coefficient may be disturbed to some extent, thus that partial correlation coefficients were also calculated. Comparison of the weights obtained using only the Pearson linear correlation coefficient and the partial correlation coefficient was also made. This comparison allowed to determine how much the results obtained using the first, much less complicated method deviate from the real values.

OKREŚLENIE WPLYWU CZYNNIKÓW SPOŁECZNO-EKONOMICZNYCH NA WIELKOŚĆ KOLEJOWYCH PRZEWOZÓW PASAŻERSKICH W RÓŻNYCH REGIONACH POLSKI

Streszczenie. W artykule tym przedstawiono ustalanie wag określających wpływ poszczególnych czynników społeczno-ekonomicznych na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich. Do tego celu wykorzystano współczynnik korelacji liniowej Pearsona, co pozwoliło otrzymać wstępne wartości wag. Podczas obliczeń dokonano analizy czynników społeczno-ekonomicznych w poszczególnych województwach w Polsce. Z uwagi na możliwe wzajemne powiązania poszczególnych czynników współczynnik korelacji Pearsona może zostać w pewnym stopniu zakłócony, przez co następnie obliczono współczynniki korelacji cząstkowej. Dokonano również porównania wag otrzymanych wyłącznie z wykorzystaniem współczynnika korelacji liniowej Pearsona oraz współczynnika korelacji cząstkowej. Porównanie to pozwoliło określić jak bardzo wyniki otrzymane z użyciem pierwszej, znacznie mniej skomplikowanej metody odbiegają od wartości rzeczywistych.

1. WSTĘP

Obecnie coraz więcej linii kolejowych w Europie i w Polsce jest modernizowanych lub rewitalizowanych. Budowane są również nowe linii kolejowe, w takim przypadku należy wykonać analizy określające jak jej budowa zmieni dostępność transportową obszaru, na którym będzie ona zlokalizowana [1]. Podczas planowania budowy nowej lub rozbudowy istniejącej infrastruktury należy

wziąć pod uwagę istniejące w danym regionie uwarunkowania społeczno-ekonomiczne. Jednak z drugiej strony wykonane inwestycje infrastrukturalne wpływają na rozwój społeczny i gospodarczy regionu [2]. Związane jest to z faktem, że na rozwój gospodarczy oprócz zastosowania innowacyjnych rozwiązań w gospodarce wpływa wyposażenie w odpowiednią infrastrukturę transportową, a wielkości te są silnie ze sobą powiązane [3]. W przypadku większych zakładów produkujących masowo najważniejszy jest dostęp do infrastruktury kolejowej. Proces wyboru linii kolejowej do modernizacji jest bardzo istotny, bowiem należy dokonać wielokryterialnej analizy pozwalającej na określenie czy poniesione nakłady na remont infrastruktury konkretnej linii kolejowej pozwolą na osiągnięcie korzyści dla regionu w jakim linia ta przebiega. Podczas wykonywania analizy przed modernizacją linii kolejowej należy rozważyć między innymi jakie w danym regionie są preferencje podróżnych co do wyboru środka transportu. Otrzymane w ten sposób dane pozwolą na lepsze dostosowanie się do miejscowego zapotrzebowania i zwiększą konkurencyjność pasażerskiego transportu kolejowego [4]. Dodatkowe trudności może spowodować analiza linii przebiegającej przez obszar o zabudowie rozproszonej. W miejscu takim nie występują silnie skoncentrowane w jednym miejscu potoki podróżnych, a mieszkańcy takich stref przemieszczają się bardziej niż mieszkańcy obszarów o zwartej zabudowie (np. dodatkowe wyjazdy na zakupy) [5]. W przypadku, gdy inwestycja w modernizację linii kolejowej jest opłacalna należy określić jakie parametry linii pozwolą na osiągnięcie największych korzyści, jednocześnie wymagając możliwie najmniejszych nakładów pieniężnych. Jednym z kluczowych parametrów decydujących o wyborze środka komunikacji zbiorowej jest czas przejazdu, który w przypadku kolejowych przewozów pasażerskich jest bezpośrednio związany z dopuszczalną prędkością jazdy na danej linii kolejowej [6]. System transportu pasażerskiego jest bardzo złożony, przez co podczas podejmowania decyzji w sprawie jego funkcjonowania wykonywane są liczne analizy wielokryterialne, pozwalające uwzględnić kwestie zarówno ekonomiczne, jak i środowiskowe czy społeczne [7]. Dotychczas w przypadku takich analiz uwzględniano różne czynniki określając ich wagi w drodze dyskusji z ośrodkami decyzyjnymi [8], bądź na podstawie ocen ekspertów. Celem niniejszego artykułu jest określić wag poszczególnych kryteriów z wykorzystaniem współczynników korelacji. Uwzględniając wpływ poszczególnych czynników na wielkość przewozów pasażerskich możliwe jest przyporządkowanie czynnikom tym wag przyjmujących wartości w zakresie od 0 do 1. Suma wag wszystkich analizowanych czynników wynosi 1. Ustalenie tych wag z wykorzystaniem obliczonych wcześniej współczynników korelacji pozwala na uniknięcie subiektywnych ocen ekspertów. Obliczenia przeprowadzono dla poszczególnych województw w Polsce wykorzystując mierniki określające wielkość przewozów pasażerskich oraz czynniki społeczno-ekonomiczne na nie wpływające. Analiza współczynników korelacji określającą wpływ wybranych czynników społeczno-ekonomicznych na mierniki opisujące wielkość kolejowych przewozów pasażerskich w Polsce już wykonywano, jednak ograniczono się do porównania Polski do innych krajów Europy. Nie dokonywano zatem analizy wpływu poszczególnych czynników na wielkość przewozów wewnątrz kraju, jak też nie wyeliminowano możliwych zakłóceń związanych z możliwymi wzajemnymi powiązaniem niektórych czynników [9].

2. DANE WYKORZYSTANE DO ANALIZY

Do obliczenia współczynników korelacji wykorzystano mierniki opisujące wielkość kolejowych przewozów pasażerskich w poszczególnych województwach w Polsce. Podczas analizy wykorzystano mierniki oraz czynniki społeczno-ekonomiczne mające wpływ na wielkość przewozów jakie występowały w Polsce w 2016 roku. Infrastruktura transportowa, w tym kolejowa w poszczególnych województwach jest bardzo zróżnicowana. Wpływa to na wielkość przewozów [10]. Mierniki jakie uwzględniono, to: całkowita ilość przewiezionych pasażerów, ilość przewiezionych pasażerów w ruchu regionalnym, ilość pasażerów przewiezionych w ruchu dalekobieżnym, ilość przejazdów na 1 mieszkańca oraz pracę eksploatacyjną wykonaną w ruchu regionalnym. Podczas obliczeń współczynników korelacji mierniki te zostały wykorzystane jako zmienne objaśnianie (zmienne zależne). Źródłem danych są szczegółowe raporty publikowane przez Urząd Transportu Kolejowego oraz raporty finansowe przewoźników regionalnych działających na terenie różnych województw.

Uwzględnieni przewoźnicy regionalni, to: Przewozy Regionalne, Koleje Mazowieckie, PKP SKM Trójmiasto, SKM Warszawa, Koleje Śląskie, Koleje Dolnośląskie, Koleje Wielkopolskie, Warszawska Kolej Dojazdowa, Koleje Małopolskie, Łódzka Kolej Aglomeracyjna i Arriva RP. Mierniki te przedstawiono w tablicy 1.

Tab. 1
Mierniki opisujące wielkość kolejowych przewozów pasażerskich w poszczególnych województwach

Województwo:	Całkowita ilość przew. pasażerów [tys. osób]:	Ilość pasażerów w ruchu regionalnym [tys. osób]:	Ilość pasażerów w ruchu dalekobieżnym [tys. osób]:	Ilość przej. na mieszk.:	Praca eksploatacyjna w ruchu regionalnym [pocmk]:
Dolnośląskie	22352,21	2458,74	19893,47	7,7	11396218
Kujawsko-pomorskie	7825,83	1565,17	6260,67	3,8	2738932
Lubelskie	4914,24	1375,99	3538,25	2,3	3122060
Lubuskie	3104,07	372,49	2731,58	3,1	2579000
Łódzkie	9604,62	3361,62	6243,00	3,9	5586782
Małopolskie	15486,18	3097,24	12388,94	4,6	4387672
Mazowieckie	101102,32	11121,26	89981,06	18,9	18704118
Opolskie	5053,92	758,09	4295,83	5,1	3090320
Podkarpackie	3332,23	599,80	2732,43	1,6	2571265
Podlaskie	1746,98	821,08	925,90	1,5	1035500
Pomorskie	53678,68	3220,72	50457,96	23,3	5613339
Śląskie	19858,13	2581,56	17276,57	4,3	10203475
Świętokrzyskie	2299,85	413,97	188587,47	1,9	1427088
Warmińsko-mazurskie	4412,84	1103,21	3309,63	3,1	3000000
Wielkopolskie	28646,77	4010,55	24636,23	8,2	10437648
Zachodniopomorskie	8562,12	2054,91	6507,21	5,3	5491429

Wielkość przewozów zależna jest od struktury przestrzennej, takiej jak lokalizacja obszarów mieszkalnych oraz ilość i rozmieszczenie miejsc pracy. Mając możliwość kontroli tych czynników można wpływać na liczbę pasażerów generowanych przez dany obszar [11]. Czynniki społeczno-ekonomiczne mające wpływ na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich w poszczególnych województwach jakie uwzględniono, to: powierzchnia, liczba ludności, gęstość zaludnienia, współczynnik urbanizacji, produkt krajowy brutto per capita, ilość przedsiębiorstw zarówno małych zatrudniających do 9 osób, jak i większych, długość linii kolejowych, gęstość linii kolejowych, ilość zarejestrowanych samochodów osobowych na każde 1000 osób. Źródłem danych są raporty publikowane przez Główny Urząd Statystyczny. Podczas obliczeń dla czynników tych jako dla zmiennych objaśniających (niezależnych) wyznaczono współczynniki korelacji określające jak bardzo wpływają one na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich. Wykorzystane do analizy czynniki społeczno-ekonomiczne zawiera tablica 2.

3. KORELACJA

Pojęcie korelacji określa wzajemne powiązania pomiędzy konkretnymi wybranymi zmiennymi. Charakteryzując korelację dwóch zmiennych należy podać jej kierunek oraz siłę. Liczbowym przedstawieniem korelacji jest współczynnik korelacji zawierający się w przedziale [-1,1]. W przypadku, gdy wartość tego współczynnika wynosi od 0 do 1 (korelacja jest dodatnia), to wzrostowi

wartości jednej zmiennej towarzyszy wzrost średnich wartości drugiej zmiennej. Natomiast jeśli wartość współczynnika tego wynosi od -1 do 0 (korelacja jest ujemna), to wzrostowi wartości jednej zmiennej towarzyszy spadek średnich wartości drugiej zmiennej [12].

Tab. 2

Czynniki społeczno-ekonomiczne mające wpływ na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich

Województwo:	Powierzchnia [km ²]:	Liczba ludności [osoby]:	Gęstość zal. [os./km ²]:	Współ. ubranizacji [%]:	PKB [zł/miesz.]:
Dolnośląskie	19 946,74	2 904 207	145,60	69,42	53 613
Kujawsko-pomorskie	17 971,34	2 086 210	116,09	60,04	39 541
Lubelskie	25 122,46	2 139 726	85,17	46,25	33 349
Lubuskie	13 987,89	1 018 075	72,78	63,14	40 610
Łódzkie	18 218,95	2 493 603	136,87	63,39	45 162
Małopolskie	15 182,79	3 372 618	222,13	48,72	43 897
Mazowieckie	35 558,47	5 349 114	150,43	64,16	76 992
Opolskie	9 411,87	996 011	105,82	52,12	38 625
Podkarpackie	17 845,76	2 127 657	119,22	41,25	34 111
Podlaskie	20 187,02	1 188 800	58,89	60,41	34 312
Pomorskie	18 310,34	2 307 710	126,03	65,14	46 827
Śląskie	12 333,09	4 570 849	370,62	77,40	50 172
Świętokrzyskie	11 710,50	1 257 179	107,35	44,77	34 672
Warmińsko-mazurskie	24 173,47	1 439 675	59,56	59,25	34 478
Wielkopolskie	29 826,50	3 475 323	116,52	55,20	52 809
Zachodniopomorskie	22 892,48	1 710 482	74,72	68,63	40 541
Województwo:	Ilość przeds. pow. 9 os.:	Ilość przeds. pon. 9 os.:	Długość linii [km]:	Gęstość linii [km/100km ²]:	Ilość sam. os./1000 os.:
Dolnośląskie	5390	161 843	1 736	8,95	581,5
Kujawsko-pomorskie	3839	92 965	1 200	6,7	552,2
Lubelskie	3095	81 927	1 047	3,6	541,9
Lubuskie	1829	49 091	887	6,4	596,7
Łódzkie	4702	125 056	1 080	5,9	570,1
Małopolskie	7362	185 058	1 077	6,5	534,6
Mazowieckie	12041	375 996	1 713	4,8	620,5
Opolskie	1680	40 095	773	8,3	606,9
Podkarpackie	3757	79 165	895	4,8	507,5
Podlaskie	1777	48 257	734	3	485,2
Pomorskie	4556	133 128	1 275	6,6	559,3
Śląskie	10016	221 433	1 943	16	545,5
Świętokrzyskie	1883	51 014	721	5,1	524,9
Warmińsko-mazurskie	2029	55 860	1 084	4,3	505,8
Wielkopolskie	7944	203 906	1 878	6,3	626,6
Zachodniopomorskie	3017	99 253	1 166	5	533,9

Ważny jest również poziom istotności korelacji. W przypadku, gdy wartość współczynnika korelacji wynosi od 0 do 0,2 korelacja pomiędzy analizowanymi zmiennymi jest słaba, praktycznie brak jest związku pomiędzy nimi. Wyrażna zależność dwóch zmiennych występuje, gdy współczynnik korelacji wynosi od 0,2 do 0,4. Umiarkowana zależność między zmiennymi ma miejsce, gdy

współczynnik korelacji wynosi od 0,4 do 0,6. Natomiast jeśli współczynnik korelacji wynosi od 0,6 do 0,9 zależność między zmiennymi jest duża. Z kolei, jeżeli wartość współczynnika korelacji wynosi od 0,9 do 1 wtedy występuje praktycznie pełna zależność pomiędzy analizowanymi zmiennymi. Od wartości współczynnika korelacji zależy liczebność próby gwarantującej jego istotność. W przypadku, gdy współczynnik korelacji wynosi 0,1 wymagana liczebność próby gwarantująca jego istotność wynosi 385, z kolei dla współczynnika korelacji wynoszącego 0,5 wymagana liczebność próby wynosi 16, natomiast dla współczynnika korelacji 0,9 wystarczy próba o liczebności 5 elementów do zagwarantowania jego istotności [13]. Dla zestawów neutrosoficznych szczególnym przypadkiem współczynnika korelacji jest miara podobieństwa cosinusowego [14].

3.1. Współczynnik korelacji Pearsona

Jest to współczynnik wykorzystywany do badania związków prostoliniowych badanych dwóch zmiennych takich, że zwiększenie wartości jednej zmiennej powoduje proporcjonalne zmiany (wzrost lub spadek) wartości drugiej zmiennej [12]. Można go wykorzystać do badania korelacji pomiędzy szeregiem czasowym, a otrzymanymi prognozami wygasłymi podczas wykonywania prognoz z użyciem metod wygładzania wykładniczego [15]. Współczynnik ten obliczany jest ze wzoru:

$$r_{xy} = \frac{cov(x,y)}{Sd_x \cdot Sd_y} \quad (1)$$

gdzie:

$cov(x, y)$ - kowariancja, liczba określająca liniową zależność pomiędzy zmiennymi x i y,

Sd_x - odchylenie standardowe zmiennej x

Sd_y - odchylenie standardowe zmiennej y.

Kowariancję można obliczyć ze wzoru:

$$cov(x, y) = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{n} \quad (2)$$

Odchylenie standardowe zmiennych x i y, będące pierwiastkiem kwadratowym z wariancji i opisujące jak szeroko poszczególne wartości tych zmiennych są oddalone od ich wartości średniej oblicza się ze wzorów [12]:

$$Sd_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

$$Sd_y = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (4)$$

gdzie:

x_i - kolejna wartość zmiennej x

\bar{x} - średnia wartość zmiennej x

y_i - kolejna wartość zmiennej y

\bar{y} - średnia wartość zmiennej y

n - ilość analizowanych zmiennych.

Otrzymana z obliczeń niska wartość współczynnika korelacji Pearsona informuje o braku zależności liniowej pomiędzy dwoma analizowanymi zmiennymi. Nie wyklucza to zależności tych zmiennych od siebie, jednak zależność ta może być w takim przypadku krzywoliniowa. Z drugiej strony otrzymana z obliczeń wysoka wartość współczynnika korelacji Pearsona nie musi oznaczać silnego związku pomiędzy analizowanymi zmiennymi x i y. Może bowiem istnieć inna zmienna (lub kilka zmiennych) z którymi są skorelowane analizowane zmienne x i y [12].

3.2. Współczynnik korelacji cząstkowej

Często podczas obliczania współczynnika korelacji Pearsona pomiędzy dwoma zmiennymi x i y ze względu na powiązania innych zmiennych z analizowaną parą zmiennych otrzymana wartość może być w istotny sposób zaburzona. W celu uniknięcia zakłócenia współczynnika korelacji pomiędzy

dwoma zmiennymi stosuje się współczynnik korelacji cząstkowej [16]. Korelacją cząstkową pomiędzy dwoma zmiennymi x i y nazywamy zależność pomiędzy tymi zmiennymi po wykluczeniu wpływu innych zmiennych (wszystkich innych zmiennych lub ich części) na analizowane zmienne. Do obliczenia tego współczynnika wykorzystuje się macierz korelacji C , zawierająca wzajemne zależności pomiędzy wszystkimi analizowanymi zmiennymi. Element ij tej macierzy, to wartość współczynnika korelacji Pearsona dla zmiennych i oraz j . Na przekątnej macierzy C znajdują się 1 będące wartością współczynnika korelacji zmiennej ze sobą. Następnie wykorzystuje się wzór:

$$r_{ij.1..(i-1)(i+1)..(j-1)(j+1)..k} = -\frac{C_{ij}}{\sqrt{C_{ii}C_{jj}}} \quad (5)$$

gdzie:

C_{ij} - dopełnienie algebraiczne elementu r_{ij} macierzy, czyli iloczyn $(-1)^{i+j}$ oraz wyznacznika macierzy otrzymanej z macierzy C poprzez wykreślenie i -tego wiersza oraz j -tej kolumny

C_{ii} - dopełnienie algebraiczne elementu r_{ii} macierzy

C_{jj} - dopełnienie algebraiczne elementu r_{jj} macierzy.

Zapis indeksu współczynnika korelacji cząstkowej przed kropką wskazuje dla jakich zmiennych jest on obliczany, natomiast po kropce wpisane są zmienne których wpływ jest wyeliminowany. Współczynnik korelacji cząstkowej przyjmuje wartości od -1 do 1 i informuje o sile i kierunku zależności pomiędzy zmiennymi, podobnie jak ma to miejsce w przypadku współczynnika korelacji Pearsona. Jego wartość może być większa lub mniejsza od współczynnika korelacji Pearsona obliczonego dla tych samych zmiennych.

4. ANALIZA WPLYWU WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA WIELKOŚĆ PRZEWOZÓW

Obliczenia wag poszczególnych czynników wpływających na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich na terenie Polski wykonano z wykorzystaniem współczynnika korelacji Pearsona oraz współczynnika korelacji cząstkowej. Wykonanie obliczeń z użyciem współczynnika korelacji Pearsona, pozwala otrzymać wstępne wartości wag. Ze względu na możliwe wzajemne powiązania ze sobą poszczególnych czynników i możliwość zakłócenia współczynnika korelacji Pearsona następnie obliczono współczynniki korelacji cząstkowej. Obliczenia te pozwalają na określenie dokładnych wag oraz dokonanie analizy wpływu czynników społeczno-ekonomicznych na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich w poszczególnych województwach w Polsce.

4.1. Wykorzystanie współczynnika korelacji Pearsona

Wartości współczynnika korelacji Pearsona dla poszczególnych czynników społeczno-ekonomicznych mających wpływ na wartość mierników opisujących wielkość kolejowych przewozów pasażerskich w poszczególnych województwach w Polsce przedstawiono w tabelicy 3.

Celem wyznaczenia wag poszczególnych czynników wpływających na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich na terenie Polski dla każdego czynnika społeczno-ekonomicznego zsumowano wartość bezwzględną współczynnika korelacji Pearsona obliczonych dla poszczególnych mierników opisujących wielkość kolejowych przewozów pasażerskich. Obliczenie wartości bezwzględnej związane jest z tym, że podczas wyznaczania wag poszczególnych czynników ważna jest jedynie siła ich oddziaływania na mierniki, a nie kierunek. Następnie zsumowaną wartość podzielono przez ilość analizowanych mierników opisujących wielkość przewozów. W ten sposób otrzymano wartości dla czynników społeczno-ekonomicznych odpowiadające ich średniej sile oddziaływania na mierniki opisujące wielkość przewozów. Podzielenie otrzymanych wyników dla każdego czynnika społeczno-ekonomicznego przez ich sumę pozwala na określenie wag poszczególnych czynników wpływających na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich na terenie Polski. Wagi te przedstawiono w tabelicy 4.

Tab. 3

Obliczone wartości współczynników korelacji Pearsona

Mierniki:	Całkowita ilość przew. pasażerów [tys. osób]:	Ilość pasażerów w ruchu regionalnym [tys. osób]:	Ilość pasażerów w ruchu dalekobieżnym [tys. osób]:	Ilość przejazdów na mieszk.:	Praca eksploatacyjna w ruchu regionalnym [pocmk]:
Powierzchnia [km ²]:	0,6051	0,6905	-0,0078	0,4073	0,5971
Liczba ludności [osoby]:	0,7373	0,8193	0,1171	0,4753	0,8741
Gęstość zal. [os./km ²]:	0,2259	0,2597	0,0328	0,1030	0,4287
Współ. ubranizacji [%]:	0,3171	0,2955	-0,2040	0,3440	0,4893
PKB [zł/miesz.]:	0,9012	0,9299	0,2211	0,6935	0,9637
Ilość przeds. pow. 9 os.:	0,7495	0,8270	0,1265	0,4946	0,8745
Ilość przeds. pon. 9 os.:	0,8570	0,9260	0,1922	0,6013	0,9332
Długość linii [km]:	0,5805	0,6028	-0,0263	0,4549	0,8517
Gęstość linii [km/100km ²]:	0,0479	0,0092	-0,0846	0,0512	0,3295
Ilość sam. os./1000 os.:	0,5193	0,5289	0,0593	0,4682	0,6190

Tab. 4

Wstępne wagi przedstawiające wpływ czynników społeczno-ekonomicznych na wielkość przewozów

Czynniki:	$\frac{\sum \text{współczynnika korelacji} }{\text{ilość analizowanych mierników}}$	Określone wagi poszczególnych czynników:
Powierzchnia [km ²]:	0,4616	0,0980
Liczba ludności [osoby]:	0,6046	0,1283
Gęstość zal. [os./km ²]:	0,2100	0,0446
Współ. ubranizacji [%]:	0,3300	0,0700
PKB [zł/miesz.]:	0,7419	0,1575
Ilość przeds. pow. 9 os.:	0,6144	0,1304
Ilość przeds. pon. 9 os.:	0,7019	0,1490
Długość linii [km]:	0,5032	0,1068
Gęstość linii [km/100km ²]:	0,1045	0,0222
Ilość sam. os./1000 os.:	0,4389	0,0932
Suma:	4,7111	1

4.2. Wykorzystanie współczynnika korelacji cząstkowej

Obliczone z wykorzystaniem współczynników korelacji Pearsona wstępne wartości wag poszczególnych czynników wpływających na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich na terenie Polski mogą być obarczone błędem. Związane jest to z możliwymi wzajemnymi powiązaniem poszczególnych czynników oraz mierników opisujących wielkość kolejowych przewozów pasażerskich. W takim przypadku istnieje możliwość zakłócenia współczynnika korelacji Pearsona i należy obliczyć współczynniki korelacji cząstkowej. Do ich obliczenia wykorzystuje się macierz

korelacji, zawierającą wzajemne zależności pomiędzy wszystkimi analizowanymi zmiennymi. Ze względu na znaczny rozmiar macierzy korelacji (macierz 15 x 15) poszczególne czynniki społeczno-ekonomiczne oraz mierniki opisujące wielkość przewozów oznaczono kolejnymi literami alfabetu. Oznaczenia te przedstawia tablica 5, natomiast macierz korelacji przedstawiono w tablicy 6.

Tab. 5

Oznaczenia czynników społeczno-ekonomicznych i mierników opisujących wielkość przewozów

Czynnik:	Oznaczenie:	Czynnik:	Oznaczenie:	Miernik:	Oznaczenie:
Powierzchnia [km ²]	[A]	Ilość przeds. pow. 9 os.	[F]	Całkowita ilość przew. pasażerów [tys. osób]	[K]
Liczba ludności [osoby]	[B]	Ilość przeds. pon. 9 os.	[G]	Ilość pasażerów w ruchu regionalnym [tys. osób]	[L]
Gęstość zal. [os./km ²]	[C]	Długość linii [km]	[H]	Ilość pasażerów w ruchu dalekobieżnym [tys. osób]	[M]
Współ. ubranizacji [%]	[D]	Gęstość linii [km/100km ²]	[I]	Ilość przejazdów na mieszkanie	[N]
PKB [zł/miesz.]	[E]	Ilość sam. os./1000 os.	[J]	Praca eksploatacyjna w ruchu regionalnym [pocmk]	[O]

Tab. 6

Macierz korelacji zawierająca wzajemne zależności pomiędzy wszystkimi analizowanymi zmiennymi

M.:	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]	[H]	[I]	[J]	[K]	[L]	[M]	[N]	[O]
[A]	1	0,472 7	- 0,252 5	0,094 3	0,545 2	0,447 2	0,567 9	0,462 3	- 0,434 9	0,250 0	0,605 1	0,690 5	- 0,007 8	0,407 3	0,597 1
[B]	0,472 7	1	0,702 1	0,346 5	0,840 2	0,992 0	0,965 9	0,831 0	0,426 2	0,390 9	0,737 3	0,819 3	0,117 1	0,475 3	0,874 1
[C]	- 0,252 5	0,702 1	1	0,364 6	0,385 6	0,703 1	0,552 2	0,580 7	0,848 8	0,093 8	0,225 9	0,259 7	0,032 8	0,103 0	0,428 7
[D]	0,094 3	0,346 5	0,364 6	1	0,472 0	0,354 3	0,366 5	0,584 2	0,544 3	0,225 0	0,317 1	0,295 5	- 0,024 0	0,344 0	0,489 3
[E]	0,545 2	0,840 2	0,385 6	0,472 0	1	0,859 9	0,936 6	0,753 7	0,267 2	0,674 4	0,901 2	0,929 9	0,221 1	0,693 5	0,963 7
[F]	0,447 2	0,992 0	0,703 1	0,354 3	0,859 9	1	0,971 8	0,825 3	0,441 6	0,441 9	0,749 5	0,827 0	0,126 5	0,494 6	0,874 5
[G]	0,567 9	0,965 9	0,552 2	0,366 5	0,936 6	0,971 8	1	0,793 3	0,294 8	0,496 7	0,857 0	0,926 0	0,192 2	0,601 3	0,933 2
[H]	0,462 3	0,831 0	0,580 7	0,584 2	0,753 7	0,825 3	0,793 3	1	0,564 0	0,491 0	0,580 5	0,602 8	- 0,026 3	0,454 9	0,851 7
[I]	- 0,434 9	0,426 2	0,848 8	0,544 3	0,267 2	0,441 6	0,294 8	0,564 0	1	0,251 8	0,047 9	0,009 2	- 0,084 6	0,051 2	0,329 5
[J]	0,250 0	0,390 9	0,093 8	0,225 0	0,674 4	0,441 9	0,496 7	0,491 0	0,251 8	1	0,519 3	0,528 9	0,059 3	0,468 2	0,619 0
[K]	0,605 1	0,737 3	0,225 9	0,317 1	0,901 2	0,749 5	0,857 0	0,580 5	0,047 9	0,519 3	1	0,933 1	0,323 7	0,877 8	0,837 3
[L]	0,690 5	0,819 3	0,259 7	0,295 5	0,929 9	0,827 0	0,926 0	0,602 8	0,009 2	0,528 9	0,933 1	1	0,243 2	0,694 0	0,880 8
[M]	- 0,007 8	0,117 1	0,032 8	- 0,024 0	0,221 1	0,126 5	0,192 2	- 0,026 3	- 0,084 6	0,059 3	0,323 7	0,243 2	1	0,253 2	0,166 2
[N]	0,407 3	0,475 3	0,103 0	0,344 0	0,693 5	0,494 6	0,601 3	0,454 9	0,051 2	0,468 2	0,877 8	0,694 0	0,253 2	1	0,611 4
[O]	0,597 1	0,874 1	0,428 7	0,489 3	0,963 7	0,874 5	0,933 2	0,851 7	0,329 5	0,619 0	0,837 3	0,880 8	0,166 2	0,611 4	1

Współczynniki korelacji cząstkowej pomiędzy poszczególnymi czynnikami społeczno-ekonomicznymi wpływającymi na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich oraz miernikami opisującymi wielkość tych przewozów obliczono wykluczając wpływ wszystkich innych zmiennych. Do ich obliczenia wykorzystano macierz korelacji przedstawioną w tabelicy 6. Podczas obliczania dopełnień algebraicznych poszczególnych elementów r_{ij} macierzy oraz wyznaczników macierzy otrzymanej z macierzy korelacji poprzez wykreślenie i-tego wiersza oraz j-tej kolumny zgodnie ze wzorem (5) wykorzystano oprogramowanie do obliczeń inżynierskich Mathcad. Obliczone wartości współczynników korelacji cząstkowej dla poszczególnych czynników społeczno-ekonomicznych wpływających na wartość mierników, które opisują wielkość kolejowych przewozów pasażerskich w poszczególnych województwach w Polsce przedstawiono w tabelicy 7.

Tab. 7

Obliczone wartości współczynników korelacji cząstkowej

Mierniki:	Całkowita ilość przew. pasażerów [tys. osób]:	Ilość pasażerów w ruchu regionalnym [tys. osób]:	Ilość pasażerów w ruchu dalekobieżnym [tys. osób]:	Ilość przej. na mieszk.:	Praca eksploatacyjna w ruchu regionalnym [pocmk]:
Pow. [km ²]:	0,2083	0,0144	0,2846	-0,2379	-0,2671
Liczba ludności [osoby]:	0,0237	-0,1785	0,0164	-0,1255	0,4072
G. zal. [os./km ²]:	0,4239	0,0368	0,4273	0,0530	0,2756
Współczynnik ubranizacji [%]:	0,3733	0,2891	0,1091	0,8684	0,6797
PKB [zł/miesz.]:	-0,2561	-0,2635	-0,3763	-0,3083	-0,2463
Il. prz. pow. 9 os.:	0,7125	0,6391	0,1044	0,9759	0,7732
Il. prz. pon. 9 os.:	0,2328	0,2954	0,1545	0,3187	0,5878
Dł. linii [km]:	0,6659	0,3406	0,3499	-0,1716	0,5724
Gęstość linii [km/100km ²]:	0,5255	0,5521	0,5350	-0,3794	-0,6706
Il.sam. os./1000os.	0,0973	0,4375	-0,2158	-0,1303	-0,2482

Podobnie jak w przypadku obliczania wstępnych wartości wag z wykorzystaniem współczynników korelacji Pearsona postępowano podczas wyznaczenia wag poszczególnych czynników społeczno-ekonomicznych z użyciem współczynników korelacji cząstkowej. Dla każdego czynnika zsumowano wartość bezwzględną współczynników korelacji cząstkowej obliczonych dla poszczególnych mierników opisujących wielkość kolejowych przewozów pasażerskich. Następnie zsumowaną wartość podzielono przez ilość analizowanych mierników opisujących wielkość przewozów. Pozwoliło to na otrzymanie wartości dla czynników społeczno-ekonomicznych odpowiadających ich średniej sile oddziaływania na mierniki opisujące wielkość przewozów. Podzielenie wyniku otrzymanego dla każdego czynnika społeczno-ekonomicznego przez sumę wszystkich wyników pozwala na określenie wag poszczególnych czynników wpływających na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich na terenie Polski. Wagi te przedstawia tablica 8.

4.3. Porównanie obliczonych wag

Dokonano również porównania wag otrzymanych z wykorzystaniem współczynników korelacji Pearsona pomiędzy czynnikami społeczno-ekonomicznymi mającymi wpływ na wartość mierników opisujących wielkość przewozów oraz wag określonych z wykorzystaniem współczynników korelacji cząstkowej. Obliczenie różnicy pomiędzy tymi wielkościami pozwoli na określenie w jakim stopniu wstępne wartości wag otrzymane z wykorzystaniem współczynników korelacji Pearsona pokrywają się z wartościami dokładnymi otrzymanymi z użyciem współczynników korelacji cząstkowej

między poszczególnymi czynnikami wpływającymi na wielkość przewozów oraz miernikami opisującymi wielkość tych przewozów obliczonymi z wykluczeniem wpływu wszystkich innych zmiennych. Porównanie to przedstawiono w tabelicy 9.

Tab. 8

Wagi przedstawiające wpływ czynników społeczno-ekonomicznych na wielkość przewozów

Mierniki:	$\frac{\sum \text{współczynnika korelacji} }{\text{ilość analizowanych mierników}}$	Określone wagi poszczególnych czynników:
Powierzchnia [km ²]:	0,2025	0,0581
Liczba ludności [osoby]:	0,1503	0,0431
Gęstość zaludnienia [os./km ²]:	0,2433	0,0698
Współczynnik ubranizacji [%]:	0,4639	0,1330
PKB [zł/miesz.]:	0,2901	0,0832
Ilość przedsiębiorstw powyżej 9 osób:	0,6410	0,1838
Ilość przedsiębiorstw poniżej 9 osób:	0,3178	0,0911
Długość linii [km]:	0,4201	0,1205
Gęstość linii [km/100km ²]:	0,5325	0,1527
Ilość samochodów osobowych/1000 osób:	0,2258	0,0648
Suma:	3,4873	1

Tab. 9

Porównanie wag opisujących wpływ czynników społeczno-ekonomicznych na wielkość przewozów

Mierniki:	Wagi dla współczynników korelacji Pearsona:	Wagi dla współczynników korelacji cząstkowej:	Różnica [w %]:
Powierzchnia [km ²]:	0,0980	0,0581	3,99
Liczba ludności [osoby]:	0,1283	0,0431	8,52
Gęstość zaludnienia [os./km ²]:	0,0446	0,0698	2,52
Współczynnik ubranizacji [%]:	0,0700	0,1330	6,30
PKB [zł/miesz.]:	0,1575	0,0832	7,43
Ilość przedsiębiorstw powyżej 9 osób:	0,1304	0,1838	5,34
Ilość przedsiębiorstw poniżej 9 osób:	0,1490	0,0911	5,79
Długość linii [km]:	0,1068	0,1205	1,37
Gęstość linii [km/100km ²]:	0,0222	0,1527	13,05
Ilość sam. os./1000 os.:	0,0932	0,0648	2,84
Suma:	1	1	-

5. WNIOSKI

Przeprowadzone obliczenia pokazały, że możliwe jest określenie wag poszczególnych czynników społeczno-ekonomicznych mających wpływ na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich z użyciem współczynników korelacji pomiędzy tymi czynnikami, a miernikami opisującymi wielkość przewozów. Wykorzystanie obliczonych wartości wag podczas dokonywania analizy wielokryterialnej przy procesie wyboru linii kolejowej do modernizacji pozwala na uniknięcie subiektywnych ocen

ekspertów dotychczas stosowanych przy ustalaniu wag podczas takich analiz. Dokonane dodatkowo porównanie wstępnych wartości wag otrzymanych z wykorzystaniem współczynników korelacji Pearsona z wartościami dokładnymi określonymi z użyciem współczynników korelacji cząstkowej, obliczonymi z wykluczeniem wpływu wszystkich innych zmiennych na poszczególne czynniki wpływające na wielkość przewozów oraz miernikami opisującymi wielkość tych przewozów pozwala stwierdzić, że wstępne wartości wag tylko nieznacznie odbiegają od wartości dokładnych. Jedynie w przypadku czynnika jakim jest gęstość linii kolejowych różnica między wartościami wag otrzymanymi z użyciem różnych współczynników korelacji wynosi 13,05%, natomiast wagi pozostałych czynników społeczno-ekonomicznych różnią się od siebie o mniej niż 10%. Zatem pomimo występujących wzajemnych powiązań niektórych czynników ze sobą w przypadku wykonywania wstępnych analiz możliwości wykorzystania poszczególnych linii kolejowych możliwe jest użycie współczynników korelacji Pearsona i skorzystanie z wag otrzymanych z ich pomocą, bez znacznie bardziej skomplikowanego obliczania współczynników korelacji cząstkowej. Natomiast podczas bardziej dokładnych analiz, gdzie oczekiwana dokładność jest wysoka zalecane jest wykorzystanie współczynników korelacji cząstkowej.

References

1. Sanchez-Mateos, H.S.M. & Givoni, M. The accessibility impact of a new High-Speed Rail line in the UK – a preliminary analysis of winners and losers. *Journal of Transport Geography*. 2012. Vol. 25. P. 105-114.
2. Snieska, V. & Simkunaite, I. Socio-Economic Impact of Infrastructure Investments. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*. 2009. No. 3. P. 16-25.
3. Wacek, P. Modelowanie relacji między infrastrukturą transportu, a innowacyjnością w kontekście rozwoju gospodarczego. *Zagadnienia Naukoznawstwa*. 2013. Vol. 197. No. 3. P. 187-209. [In Polish: Modeling the relationship between transport infrastructure and innovation in the context of economic development. *Issues of Science*].
4. Kim, S. & Ulfarsson, G.F. & Hennessy, J.T. Analysis of light rail rider travel behavior: Impacts of individual, built environment, and crime characteristics on transit access. *Transportation Research Part A: Policy and Practise*. 2007. Vol. 41. No. 6. P. 511-522.
5. Gadziński, J. Wpływ dostępności transport publicznego na zachowania transportowe mieszkańców – przykład aglomeracji poznańskiej. *Prace Komisji Geografii Komunikacji PTG*. 2016. Vol. 19. No. 1. P. 31-42. [In Polish: The impact of the accessibility of public transport on the transport behavior of inhabitants – example of Poznań agglomeration. *Transport Geography Papers of Polish Geographical Society*].
6. Birr, K. & Jamroz, K. & Kusta, W. Analiza czynników wpływających na prędkość pojazdów transportu zbiorowego na przykładzie Gdańska. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*. 2013. No. 96. P. 87-97. [In Polish: Analysis of factors affecting the speed of public transport vehicles on the example of Gdańsk. *Scientific works of the Warsaw University of Technology. Transport*].
7. Perez, J.C. & Carrillo, M.H. & Montoya-Torres, J.R. Multi-criteria approaches for urban passenger transport systems: a literature review. *Analysis of Operations Research*. 2015. Vol. 226. No. 1. P. 69-87.
8. Jacyna, M. & Wasiak, M. Zastosowanie wielokryterialnej oceny do wyboru wariantu modernizacji elementów infrastruktury kolejowej. *Problemy Kolejnictwa*. 2008. No. 146. P. 27-35. [In Polish: Application of multicriteria assessment to the choice of a variant of modernization of railway infrastructure elements. *Railway Problems*].
9. Żurkowski, A. Analiza wpływu czynników społeczno-gospodarczych na wielkość kolejowych przewozów pasażerskich w Polsce. *TTS Technika Transportu Szybowego*. 2014. Vol. 21. No. 9. P. 10-14. [In Polish: Analysis of the impact of socio-economic factors on the volume of rail passenger transport in Poland. *TTS Technics of Rail Transport*].

10. Chudy-Laskowska, K. & Wierzbińska, M. Analiza infrastruktury transportowej w Polsce – wyniki badań. *Logistyka*. 2011. No. 3. P. 393-405. [In Polish: Analysis of transport infrastructure in Poland - research results. *Logistics*].
11. Faron, A. Wpływ czynników struktury funkcjonalno-przestrzennej miasta na udział transportu zbiorowego w podróżach. *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne*. 2014. Vol. 103. No. 1. P. 57-73. [In Polish: The influence of the city's functional and spatial structure factors on the share of collective transport in travels. *Scientific and Technical Papers of the Association of Engineers and Technicians of Communication in Krakow. Series: Conference Materials*].
12. Asuero, A.G. & Sayago, A. & Gonzalez, A.G. The Correlation Coefficient: An Overview. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2006. Vol. 36. No. 1. P. 41-59.
13. Peternek, P. & Kośny, M. Kilka uwag o testowaniu istotności współczynnika korelacji. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu*. 2011. No. 11. P. 341-350. [In Polish: Some comments about testing the significance of the correlation coefficient. *Scientific Papers of the College of Banking in Wrocław*].
14. Ye, J. Multicriteria decision-making method using the correlation coefficient under single-valued neutrosophic environment. *International Journal of General Systems*. 2013. Vol. 42. No. 4. P. 386-394.
15. Mrówczyńska, B. & Cieśla, M. & Król, A. & Śładkowski, A. Application of artificial intelligence in prediction of road freight transportation. *Promet - Traffic&Transportation*. 2017. Vol. 29. No. 4. P. 363-370.
16. Kończak, G. O testowaniu istotności współczynników korelacji cząstkowej i wielorakiej dla wielowymiarowych tablic wielozmiennych. *Studia Ekonomiczne*. 2014. Vol. 189. P. 40-48. [In Polish: Testing the significance of partial and multiple correlation coefficients for multidimensional division tables. *Economic Studies*].