

st. kpt. dr Barbara Szykuła-Piec

bryg. dr inż. Robert Piec

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Ilościowe metody modelowania zagrożeń wspierające zarządzanie ryzykiem

Abstrakt

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości wykorzystania testu zgodności chi-kwadrat, analizy korelacji i modelu regresji liniowej w modelowaniu zagrożeń. Są to metody zarówno proste na etapie tworzenia, jak i łatwe w interpretacji. Na potrzeby artykułu przyjmuje się, że modelowanie zagrożeń, to użycie sformalizowanego języka do analizy i opisanie, za pomocą zmiennych, wybranego zagrożenia. Zastosowane metody umożliwiają wykorzystanie dostępnych informacji, takich jak: dane przetwarzane przez Główny Urząd Statystyczny, dane statystyczne Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej czy wyniki Diagnozy Społecznej lub nowych, zbieranych w toku prac badawczych danych w obszarze bezpieczeństwa do budowania wielowymiarowych modeli. Modele te umożliwiają ilościową analizę zagrożeń, której wyniki pozwalają wykonać obiektywne testy i ocenę wybranych zagadnień.

Słowa kluczowe: modelowanie zagrożeń, bezpieczeństwo, regresja, modele statystyczne

Quantitative Methods of Threats Simulation Supporting the Risk Management

Abstract

The aim of the paper is to introduce the possibility of use of the square-chi consistency test, the correlation analysis as well as the linear regression model in the threats simulation. The methods are both simple on the creation level and easy to interpret. The accepted threats simulation definition is the use of formal language for analysis and description, using variables of the selected threat. The applied methods use available information such as: data used by the Central Bureau for

Statistics (GUS), statistic data of National Headquarters of State Fire Service, the results of Social Diagnosis or new, collected data obtained during all kinds of the research activities dealing with the safety. All of them make the construction of multidimensional models possible. The models enable to carry the quantitative threat analysis, the results of which can make objective tests and evaluation of the selected threats.

Keywords: threats simulation, safety, regression, statistic models

Wprowadzenie

Poczucie bezpieczeństwa niezmiennie od kilkunastu lat rośnie. Według badania opinii publicznej, przeprowadzanego przez Centrum Badania Opinii Społecznej, w 2017 r., 89% respondentów uważa, że w Polsce żyje się bezpiecznie [2]. Jednak zagrożenia rozumiane jako sytuacja lub stan, które komuś zagrażają lub w których ktoś czuje się zagrożony [10] są stale obecne wokół nas. W Krajowym Planie Zarządzania Kryzysowego przedstawiono wyniki oceny ryzyka zagrożeń, które mogą spowodować wystąpienie sytuacji kryzysowej.

Opisano w nim 19 zagrożeń, które mogą wystąpić na terenie Polski. Ryzyko pojawienia się zidentyfikowanych, przedstawionych powyżej zagrożeń, jest najczęściej średnie. Tylko ryzyko powodzi zostało ocenione jako duże. Jednakże do każdego z zagrożeń trzeba się odpowiednio przygotować. Należy zauważyć, że przygotowania te wynikają nie tylko z samego pomiaru ryzyka, lecz również z zadań, jakie prawo nakłada na poszczególne organy władzy publicznej. Zapewnienie bezpieczeństwa wymaga właściwej identyfikacji kluczowych elementów wpływających na możliwość wystąpienia oraz na skutki potencjalnych zagrożeń. Wymagane jest zatem przeprowadzenie możliwie pełnej analizy. Zgodnie z Konstytucją to Rzeczpospolita Polska zapewnia bezpieczeństwo obywateli [5]. Organ władzy publicznej odpowiada zatem za właściwą organizację systemu mającego zapewnić bezpieczeństwo obywateli. Biorąc pod uwagę liczbę potencjalnych zagrożeń, podejmując decyzje mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa, warto zastosować system mierzalnych wartości umożliwiający jego matematyczne przedstawienie. Jednym z elementów systemu pomiaru bezpieczeństwa jest ryzyko [15]. Dzięki zależności pomiędzy bezpieczeństwem a ryzykiem „(...) Im większe ryzyko, tym mniejsze bezpieczeństwo związane z tym ryzykiem. I odwrotnie,

im mniejsze ryzyko, tym większe bezpieczeństwo” [1], można wykorzystać ryzyko jako miarę zagrożeń bezpieczeństwa. Skuteczna identyfikacja, analiza i zarządzanie ryzykiem jest jednym z kluczowych elementów całego procesu zarządzania bezpieczeństwem. Świadomość istnienia potrzeby lepszego zarządzania ryzykiem, jednakże nie powoduje automatycznie poprawy całego procesu.

PRAWDOPODOBIEŃSTWO	bardzo prawdopodobne					
	prawdopodobne		❖ Zbiorowe zakłócenie porządku publicznego	❖ Epizootia ❖ Zakłócenie w funkcjonowaniu sieci i systemów informatycznych	❖ Powódź	
	możliwe		❖ Huragan ❖ Pożar wielkopowierzchniowy ❖ Epifitoza	❖ Zakłócenie funkcjonowania systemów i usług telekomunikacyjnych ❖ Zakłócenie w systemie paliwowym ❖ Susza/upał ❖ Epidemia	❖ Zakłócenie w systemie energetycznym ❖ Działania hybrydowe	
	rzadkie		❖ Skażenie chemiczne	❖ Zakłócenie w systemie gazowym ❖ Silny mróz/intensywne opady śniegu	❖ Katastrofa morska	
	bardzo rzadkie			❖ Skażenie radiacyjne	❖ Zdarzenie o charakterze terrorystycznym	
		nieistotne	małe	średnie	duże	katastrofalne
SKUTKI DLA BEZPIECZEŃSTWA NARODOWEGO						

Wartość ryzyka:

- minimalne
- małe
- średnie
- duże
- ekstremalne

Rys. 1. Matryca ryzyka

Źródło: [6]

W myśl ustawy o finansach publicznych [14, art. 68] jednostki sektora finansów publicznych mają obowiązek wdrażać zarządzanie ryzykiem jako jeden z elementów systemu kontroli zarządczej. Organizacje sektora publicznego zobligowane zapisami ustawy [14] realizują ten obowiązek, wdrażając proces zarządzania ryzykiem oprócz innych realizowanych przez nie działań. Zgodnie z ustawą o zarządzaniu kryzysowym [13] w skład planów reagowania kryzysowego wykonywanych na poziomie gminnym, powiatowym, wojewódzkim i krajowym wchodzi charakterystyka zagrożeń, ocena ryzyka ich wystąpienia oraz mapy ryzyka i mapy zagrożeń. Prawo wodne zobowiązuje do tworzenia planów zarządzania ryzykiem powodziowym. Tożsame zagrożenia mogą wystąpić we wszystkich przypadkach i logiczny zatem jest wniosek, iż ocena ich ryzyk powinna być zbieżna. Wykonując czynności związane z zarządzaniem ryzykiem, warto zatem spróbować stworzyć mechanizm pozwalający w prosty i niezawodny sposób ujednoczyć ten proces oraz zbudować mechanizm pozwalający na takie wykonanie analizy ryzyka, aby zminimalizować oddziaływanie subiektywnego postrzegania rzeczywistości przez osoby realizujące analizę. Jest to istotne szczególnie w obszarze związanym z działalnością mającą na celu ochronę życia, zdrowia i mienia ludzi.

Nauki społeczne dysponują bardzo bogatym zestawem narzędzi służących do optymalizacji pracy organizacji. Jednym z najdynamiczniej rozwijających się działów w organizacjach są podmioty odpowiedzialne za analizę danych. Wynika to z kilku przyczyn. Po pierwsze rozwój cywilizacyjny, niska cena sprzętu i oprogramowania umożliwiającego analizę danych powoduje, że narzędzia i metody zarezerwowane kiedyś dla dużych ośrodków naukowych są dostępne dla większości społeczeństwa. Po drugie, coraz więcej danych jest zapisywanych i utrwalanych w postaci cyfrowej, a jednocześnie organizacje częściej widzą potrzebę systematyzacji utrwalanych danych i możliwość wykorzystania ich do tworzenia oraz weryfikacji formułowanych celów i zadań. Po trzecie, wyniki analizy ilościowej są powtarzalne oraz są odporne na subiektywne odczucia wynikające z doświadczeń i wiedzy osób tworzących analizy. Zatem wdrażając proces zarządzania ryzykiem w sektorze publicznym warto wykorzystać metody ilościowe oparte na danych.

Należy również pamiętać, iż aby metoda mogła być wykorzystywana powszechnie, nie powinna być zbyt trudna w interpretacji. Takimi metodami – zarazem prostymi na etapie tworzenia, jak i łatwymi w interpretacji są: testy

zgodności chi-kwadrat, analiza korelacji i model regresji liniowej. Pozwalają one ustalić zależności statystyczne, siłę oraz kierunek współzależności występujących w analizowanych danych oraz umożliwiają badanie związku pomiędzy wielkościami danych i na tej prognozować wartości jednych zmiennych, mając wartości innych zmiennych. Metody te, za pomocą testów statystycznych, pozwalają na weryfikację hipotez oraz umożliwiają obliczenie prawdopodobieństwa dopasowania obliczeń do badanej populacji. Problemem jest zebranie właściwego i odpowiedniego zbioru istotnych zmiennych dających możliwość porównania wyników pomiędzy różnymi badanymi obszarami lub latami. Zastosowanie odpowiedniej metodologii pozwala jednakże na weryfikację oraz określenie stopnia dopasowania modelu do danych, co pozwala na określenie użyteczności modelu.

1. Metodyka

Na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto następującą definicję: modelowanie zagrożeń to użycie sformalizowanego języka do analizy i opisanie za pomocą zmiennych wybranego zagrożenia. Proces budowy modelu można podzielić na następujące etapy: identyfikacja zagrożeń, analiza współzależności zmiennych, sformułowanie zależności funkcyjnej (o ile jest to możliwe) i ocena modelu.

W pierwszym etapie – identyfikacji zagrożenia – bardzo ważne jest, aby dokładnie zdefiniować miernik danego zagrożenia. W przypadku zagrożenia pożarowego mogą to być: liczba ofiar śmiertelnych w pożarach i/lub miejscowych zagrożeniach, liczba osób rannych w pożarach i/lub miejscowych zagrożeniach, suma ofiar śmiertelnych i rannych w pożarach i miejscowych zagrożeniach, straty finansowe w pożarach i miejscowych zagrożeniach, liczba osób, które ewakuowano ze strefy zagrożenia, poczucie bezpieczeństwa mieszkańców. Na tym etapie ważne jest również, aby określić skalę budowanego modelu. Kontynuując, przykład zagrożenia pożarowego należy określić, czy model dotyczy pomieszczenia, budynku, kompleksu budynków, miejscowości, gminy, powiatu, kraju, grupy krajów itd. Doprecyzowanie modelu powinno wynikać z celu użytkowego. Niezbędną częścią składową tego etapu jest analiza literatury przedmiotu, która powinna umożliwić stworzenie tzw. modelu podstawowego, czyli według B.P. Zeiglera hipotetycznego, pełnego wyjaśnienia danego zjawiska [17]. Warto pamiętać, że duży stopień złożoności

modelu podstawowego podnosi koszt modelowania oraz może uniemożliwić jego symulację [17] i, co za tym idzie, dokładną analizę badanego zjawiska. Przyjęte założenia powinny natomiast posłużyć do uproszczenia modelu przy zachowaniu założenia, że istnieje zgodność par wejścia-wyjścia według przyjętego kryterium.

Wyzwaniem, które pojawia się na etapie identyfikacji zagrożeń jest zebranie danych opisujących zmienne umożliwiające stworzenie modelu. Olbrzymim zbiorem danych dysponuje Główny Urząd Statystyczny, który przetwarza informacje statystyczne na temat większości dziedzin życia publicznego. Innym bardzo ciekawym zbiorem danych w światowej sieci internetowej jest Diagnoza Społeczna. Udostępnione tam dane umożliwiają wizualizację dzisiejszego obrazu polskiego społeczeństwa. Dane te są zbierane od 2000 r., co pozwala dodatkowo śledzić zmiany na przestrzeni lat. Nie sposób w pełni analizować zagrożeń, nie uwzględniając potencjału i działań służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo. Cennymi informacjami dysponują służby, takie jak Państwowa Straż Pożarna i Policja. Natomiast do szczegółowych analiz, uwzględniających aspekt finansowy, warto skorzystać ze sprawozdań finansowych jednostek samorządu terytorialnego.

Zbudowanie modelu teoretycznego pozwala zidentyfikować kluczowe dla celu modelowania elementy składowe. Elementy te umożliwiają analizę współzależności zmiennych. Do analizy współzależności można wykorzystać testy zgodności chi-kwadrat i analizę korelacji. Chi-kwadrat jest to grupa testów pokazujących jak bardzo dane empiryczne pasują do założonego, teoretycznego modelu [4]. Jest to narzędzie do badania statystycznej istotności związku pomiędzy zmiennymi [8]. Procedurę testowania rozpoczyna się od postawienia hipotezy zerowej, zakładającej, że w badanej populacji nie istnieje związek pomiędzy badanymi zmiennymi. Alternatywna hipoteza będzie zatem zakładała, że istnieje związek pomiędzy badanymi zmiennymi. Postawioną hipotezę zerową weryfikuje się za pomocą testu niezależności chi-kwadrat wyrażonego wzorem (1) [3]:

$$x^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E} \quad (1)$$

gdzie:

O – wartości otrzymane w badaniu,

E – wartości oczekiwane lub teoretyczne.

Po obliczeniu wartości testu chi-kwadrat, znając stopnie swobody, można odczytać poziom istotności. Odpowiada on na pytanie, na ile prawdopodobne jest, że hipoteza zerowa jest prawdziwa. W literaturze [3] przyjmuje się, że gdy prawdopodobieństwo wynosi mniej niż 5%, można hipotezę odrzucić. Uznaje się wówczas, że analizowane rozkłady istotnie się różnią.

O korelacji mówimy, gdy istnieje współwystępowanie lub zależność statystyczna, czyli wówczas, gdy jednej zmiennej odpowiadają ściśle określone średnie wartości drugiej zmiennej. Obliczając wartość współczynnika korelacji, można stwierdzić jak zmieni się wartość jednej zmiennej, gdy zmieni się wartość drugiej zmiennej. Do analizy korelacji można wykorzystać bezwymiarowy współczynnik współzależności, nazywany współczynnikiem korelacji liniowej Pearsona. Przyjmuje on wartości od -1 do 1 i wyrażony jest wzorem (2):

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{s_x s_y} \quad (2)$$

gdzie:

$i = 1, 2, \dots, n$,

\bar{x} i \bar{y} – średnie obu analizowanych zmiennych,

$s_x s_y$ – odchylenia standardowe tych cech.

Analizując współczynnik korelacji Pearsona, należy wziąć pod uwagę jego znak oraz wartość. Znak mówi o kierunku korelacji. Wartości dodatnie wskazują na korelację dodatnią, czyli wysokim wartościom jednej zmiennej towarzyszą wysokie wartości drugiej zmiennej oraz odwrotnie – niskim wartościom jednej zmiennej towarzyszą niskie wartości drugiej zmiennej. Ujemny znak świadczy, że niskim wartościom jednej zmiennej towarzyszą wysokie wartości drugiej zmiennej. Z kolei wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona informuje nas o sile związku analizowanych zmiennych. W przypadku, gdy wartość współczynnika jest bliska lub równa 1 lub -1 , siła zależności statystycznej jest bardzo duża. Wartość współczynnika zbliżona do 0 lub równa 0 wskazuje, że nie występuje związek liniowy pomiędzy analizowanymi zmiennymi [11].

Kolejnym etapem modelowania zagrożeń przedstawionym w niniejszym opracowaniu jest obliczanie zależności funkcyjnej. W przypadku klasycznego modelu regresji liniowej sprowadza się to do wyznaczenia równania regresji. Oszacowaną funkcję regresji można opisać następująco (3):

$$y_i = b_0 + b_1 x_i + e_i = \hat{y}_i + e \quad (3)$$

gdzie:

$i = 1, 2, \dots, n$ – kolejne numery elementów obserwacji,

e_i – tzw. reszty (zmienna losowa) definiowana jako $e_i = y_i - \hat{y}_i$.

Do zbudowania modelu regresji liniowej wykorzystuje się metodę najmniejszych kwadratów. Metoda ta umożliwia oszacowanie parametrów linii regresji tak, aby suma kwadratów reszt osiągnęła minimum. Suma kwadratów reszt opisuje rozbieżności pomiędzy wartościami empirycznymi zmiennej zależnej (objaśnianej) a jej wartościami teoretycznymi, obliczonymi na podstawie wybranej funkcji [12].

W metodzie najmniejszych kwadratów powinien być spełniony następujący warunek:

Wyrażenie (4):

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - b_1 x_i - b_0)^2 \quad (4)$$

ma osiągnąć minimum.

gdzie:

y_i – wartości empiryczne zmiennej Y,

\hat{y}_i – wartości teoretyczne wyznaczone na podstawie funkcji regresji.

Wykorzystując powyższy warunek, otrzymujemy wzory (5) i (6):

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} \quad (6)$$

gdzie:

\bar{x} – średnia wartość X,

\bar{y} – średnia wartość Y.

Parametry b_0 i b_1 nazywają się współczynnikami regresji [12].

Ostatnim etapem modelowania zagrożeń jest ocena modelu. W przypadku spełnienia założeń teoretycznych opisywanych licznie w literaturze przedmiotu i wyznaczeniu istotnego statystycznie równania regresji warto go zweryfikować,

podstawiając do obliczonego wzoru dane spoza badanej próby. Można do tego wykorzystać szeregi statystyczne opisujące zmienne objaśniające w innym powiecie lub województwie. Jeśli nie dysponujemy tego typu danymi, można wykorzystać dane opisujące inny okres lub inne analogiczne zestawy danych.

Dopiero pozytywna ocena zbudowanego modelu umożliwia wykonanie szeregu symulacji, a na podstawie ich wyników wyciąganie wniosków i ewentualne próby prognozowania wybranych elementów modelu.

2. Przykład modelowania zagrożeń

Właściwa identyfikacja zagrożenia, badania literatury przedmiotu, określenie skali i celu modelu umożliwia określenie zmiennych w modelu. Należy dokładnie zdefiniować zmienną objaśnianą (zależną). Definiując zmienną zależną, warto użyć definicji, która umożliwia zebranie odpowiedniego zestawu danych będących zbiorem informacji statystycznych. Można użyć definicji zaczerpniętych z aktów prawnych lub podmiotów przetwarzających dane, takich jak Główny Urząd Statystyczny. W dalszej części zostaną przedstawione dwa przykłady dotyczące modelowania zagrożeń: rozwodów i wypadków drogowych.

Wypadek drogowy został zdefiniowany jako zdarzenie w ruchu drogowym, gdzie jeden lub więcej uczestników ruchu drogowego bierze udział w zdarzeniu, w wyniku którego uczestnik ruchu drogowego został ranny lub doszło do jego śmierci.

Rozwód został zdefiniowany jako rozwiązanie przez sąd związku małżeńskiego na żądanie jednego lub obu małżonków.

Analiza literatury, eksperyment lub obserwacje umożliwiają zbudowanie modelu podstawowego, możliwie pełnego wyjaśnienia badanego zagrożenia. Można go przedstawić w formie listy.

Przyczyny rozwodu:

- dłuższa nieobecność,
- naganny stosunek do członków rodziny,
- bezpłodność,
- pracoholizm,
- ...

Można również wykorzystać metodę ilustrowania związków przyczynowo-skutkowych za pomocą diagramu Ishikawy.



Rys. 2. Wybrane czynniki wpływające na wypadki drogowe przedstawione na diagramie Ishikawy

Źródło: [9]

Informacje zawarte w Banku Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego umożliwiają m.in. pozyskanie następujących danych, mogących mieć wpływ na liczbę wypadków drogowych:

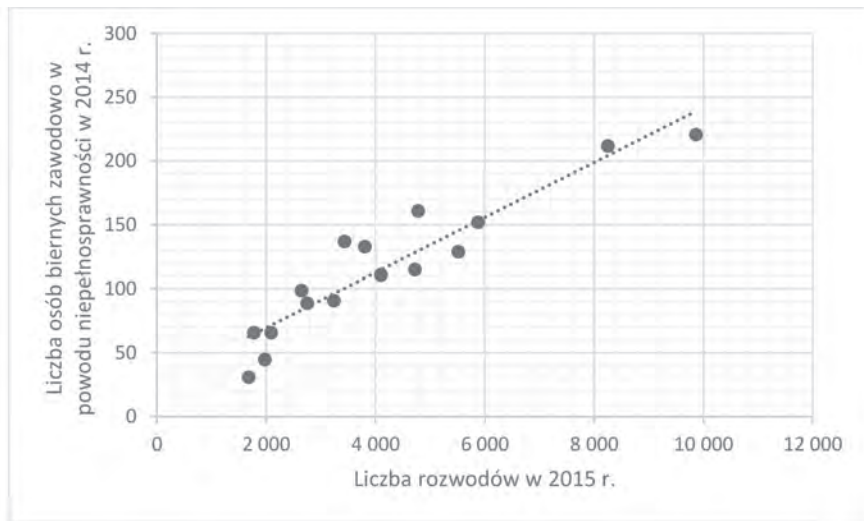
- Y – wypadki drogowe w 2015 r.,
- X1 – liczba samochodów i ciągników (szt.),
- X2 – liczba motocykli ogółem (szt.),
- X3 – liczba samochodów ciężarowych (szt.),
- X4 – liczba ludności według miejsc zameldowania, stan na 31.12.2015 r.,
- ...

Również do analizy przyczyn rozwodów można wykorzystać dane GUS, takie jak:

- liczba rozwodów,
- przeciętne miesięczne wydatki na osobę,
- bezrobotni,

- placówki wsparcia dziennego,
- absolwenci studiów na poziomie magisterskim,
- ...

Zebrane dane umożliwiają zbadanie zależności statystycznej. Zakres i format danych umożliwia obliczenie współczynnika korelacji liniowej Pearsona, co pokazano na rys. 3.



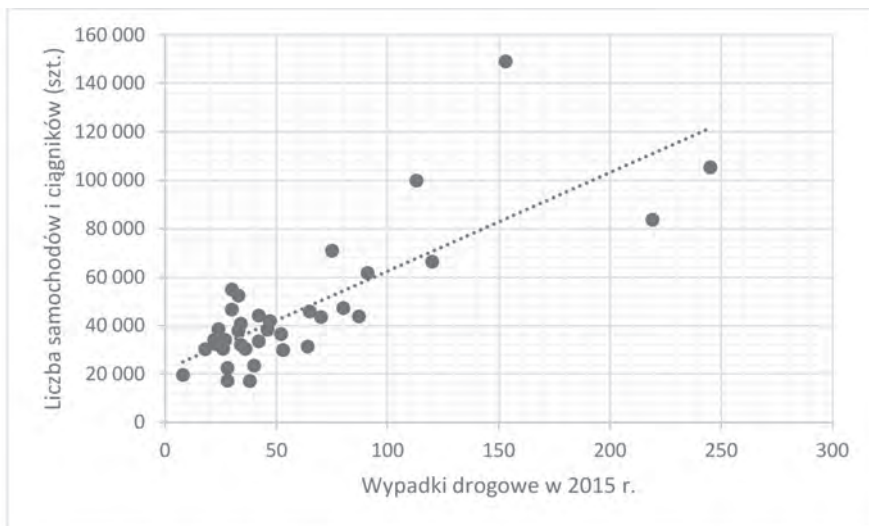
Rys. 3. Rozkład liczby rozwodów w 2015 r. i liczby osób biernych zawodowo w powodu niepełnosprawności w 2014 r.

Źródło: [16]

corr(Liczba rozwodów w 2015 r., Liczba osób biernych zawodowo z powodu niepełnosprawności w 2014 r.) = 0,90350223
 Hipoteza zerowa: $R = 0$, brak korelacji:
 $t(14) = 7,88784$, przy dwustronnym obszarze krytycznym $p = 0,0000$

Rys. 4. Wartość współczynnika korelacji Pearsona wraz z testem istotności pomiędzy liczbą rozwodów w 2015 r. a liczbą osób biernych zawodowo w powodu niepełnosprawności w 2014 r.

Źródło: [16]



Rys. 5. Rozkład wypadków drogowych w roku 2015 i liczby samochodów i ciągników w 2015 r.

Źródło: [9]

$\text{corr}(\text{Wypadki drogowy w 2015 r.}, \text{Liczba samochodów i ciągników (szt.)}) = 0,79622834$

Hipoteza zerowa: $R = 0$, brak korelacji:

$t(36) = 7,89653$, przy dwustronnym obszarze krytycznym $p = 0,0000$

Rys. 6. Wartość współczynnika korelacji Pearsona wraz z testem istotności pomiędzy liczbą wypadków drogowych w roku 2015 a liczbą samochodów i ciągników w 2015 r.

Źródło: [9]

Metody doboru zmiennych do modelu regresji są opisane w wielu publikacjach naukowych. Metodyka doboru zmiennych najczęściej opiera się na dwóch podstawowych założeniach:

- zmienne niezależne nie powinny być skorelowane lub być słabo skorelowane między sobą,
- zmienne niezależne powinny być wysoko skorelowane ze zmienną zależną [7].

Należy również pamiętać o podstawowych założeniach teoretycznych regresji liniowej:

- mamy do czynienia z zależnością liniową,
- zmienne zależne i niezależne mają rozkład normalny,
- wszystkie zmienne użyte w modelu są mierzone na skali ilościowej,
- należy zebrać odpowiednio dużą liczbę obserwacji,
- zmienne niezależne nie powinny być ze sobą skorelowane [3].

Pozytywna weryfikacja założeń teoretycznych modelu regresji liniowej umożliwi oszacowanie modelu. Istnieje wiele narzędzi wspomagających analizę regresji, w przedstawionym przykładzie wykorzystany zostanie rozwijany od kilku lat program Gretl autorstwa Allina Cottrella z Uniwersytetu Wake Forest w Północnej Karolinie w Stanach Zjednoczonych. Jedną z jego zalet jest powszechna możliwość wykorzystania go, ponieważ jest on rozwijany w oparciu o Powszechną Licencję Publiczną (GNU). Program ten zawiera podstawowe procedury i metody ekonometryczne, a wśród nich klasyczną metodę najmniejszych kwadratów.

W przedstawianym przykładzie dotyczącym rozwodów można zbudować model, w którym analizujemy wpływ liczby osób biernych zawodowo z powodu niepełnosprawności i przeciętne miesięczne wydatki na jedną osobę na liczbę rozwodów.

Plik Edycja Testy Zapisz Wykresy Analiza LaTeX				
Model 2: Estymacja MNK, wykorzystane obserwacje 1-16				
Zmienna zależna (Y): y_rozwod2015				
	współczynnik	błąd standardowy	t-Studenta	wartość p
const	-7322,53	1874,69	-3,906	0,0018 ***
bierni_niepelnos-	30,9844	3,96766	7,809	2,91e-06 ***
wypadki_na_os	7,52102	1,96400	3,829	0,0021 ***
Sredn. aryt. zm. zależnej	4155,188	Odch. stand. zm. zależnej	2329,227	
Suma kwadratów reszt	7024307	Błąd standardowy reszt	735,0723	
Wsp. determ. R-kwadrat	0,913685	Skorygowany R-kwadrat	0,900405	
F(2, 13)	68,80516	Wartość p dla testu F	1,21e-07	
Logarytm wiarygodności	-126,6414	Kryt. inform. Akaike'a	259,2828	
Kryt. bayes. Schwarza	261,6006	Kryt. Hannana-Quinna	259,4015	

Rys. 7. Parametry modelu rozwodów w 2015 r. obliczone za pomocą klasycznej metody najmniejszych kwadratów

Źródło: [16]

Zależność między zmiennymi niezależnymi X (bierni zawodowo z powodu niepełnosprawności i przeciętne miesięczne wydatki na jedną osobę) a zmienną zależną Y jest istotna statystycznie ($p < 0,01$). Skorygowany współczynnik determinacji wynosi $R^2 = 0,90$, co oznacza, że model wyjaśnia 90% zmienności zmiennej Y . Świadczy to o bardzo dobrym dopasowaniu modelu.

Wyniki obliczeń umożliwią przedstawienie zależności pomiędzy zmienną zależną a zmiennymi niezależnymi za pomocą zależności:

$$\text{liczba rozwodów} = -7322,53 + 30,98 \times \text{liczba osób biernych zawodowo z powodu niepełnosprawności} + 7,52 \times \text{przeciętne miesięczne wydatki na jedną osobę}$$

W przykładzie dotyczącym liczby wypadków drogowych można zbudować model, w którym analizujemy zależność liczby samochodów i ciągników oraz liczbę rannych w wypadkach drogowych w 2014 r. na liczbę wypadków w 2015 r.

Plik Edycja Testy Zapisz Wykresy Analiza LaTeX					
Model 1: Estymacja KMNK, wykorzystane obserwacje 1-38					
Zmienna zależna (Y): Y					
	współczynnik	błąd standardowy	t-Studenta	wartość p	
const	-18,6754	4,57041	-4,086	0,0002	***
X7	0,490346	0,0397274	12,34	2,62e-019	***
X1	0,000929461	0,000100210	9,275	5,85e-011	***
Średn. aryt. zm. zależnej	58,55263	Odch. stand. zm. zależnej	51,86453		
Suma kwadratów reszt	6805,754	Błąd standardowy reszt	13,94454		
Wsp. determ. R-kwadrat	0,931619	Skorygowany R-kwadrat	0,927712		
F(2, 35)	238,4201	Wartość p dla testu F	4,09e-21		
Logarytm wiarygodności	-152,4905	Kryt. inform. Akaike'a	310,9810		
Kryt. bayes. Schwarz	315,8937	Kryt. Hannana-Quinna	312,7289		

Rys. 8. Parametry modelu liczby wypadków w 2015 r. obliczone za pomocą klasycznej metody najmniejszych kwadratów

Źródło: [9]

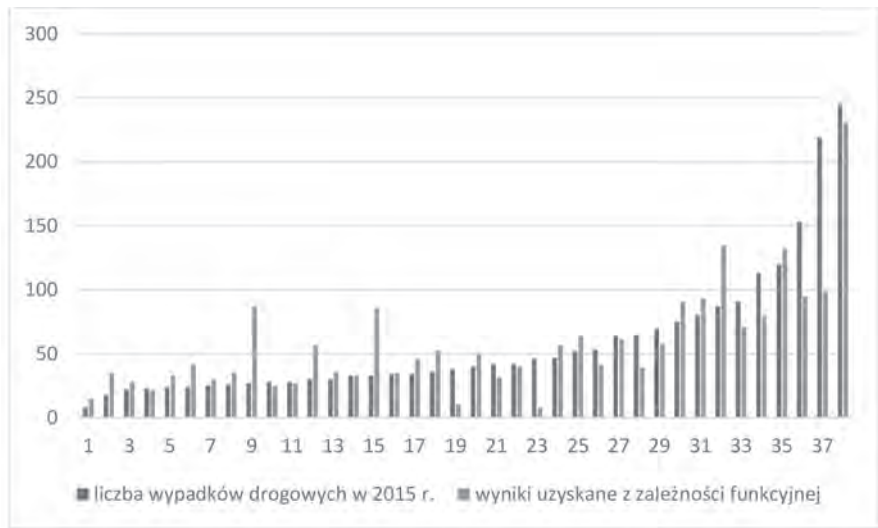
Zależność między zmiennymi objaśniającymi $X7$ i $X1$ (liczba rannych w wypadkach drogowych w 2014 r. i liczba samochodów i ciągników) a zmienną objaśnianą Y (liczba wypadków drogowych) jest istotna statystycznie ($p < 0,01$). Skorygowany współczynnik determinacji wynosi $R^2 = 0,93$, co

oznacza, że model wyjaśnia 93% zmienności zmiennej Y . Świadczy to o bardzo dobrym dopasowaniu modelu.

Wyniki obliczeń umożliwiają przedstawienie zależności pomiędzy zmienną zależną a zmiennymi niezależnymi za pomocą zależności:

$$\text{liczba wypadków drogowych} = -18,68 + 0,49 \times \text{liczba rannych w wypadkach drogowych w roku 2014} + 0,00093 \times \text{liczba samochodów i ciągników}$$

Warto w tym miejscu przypomnieć, że spełnione wymagania metodyki tworzenia modelu regresji liniowej nie oznaczają dowodu związku przyczynowo-skutkowego. Porównanie wyników obserwacji z wynikami uzyskanymi z zależności funkcyjnej umożliwi wstępną ocenę modelu zagrożenia.

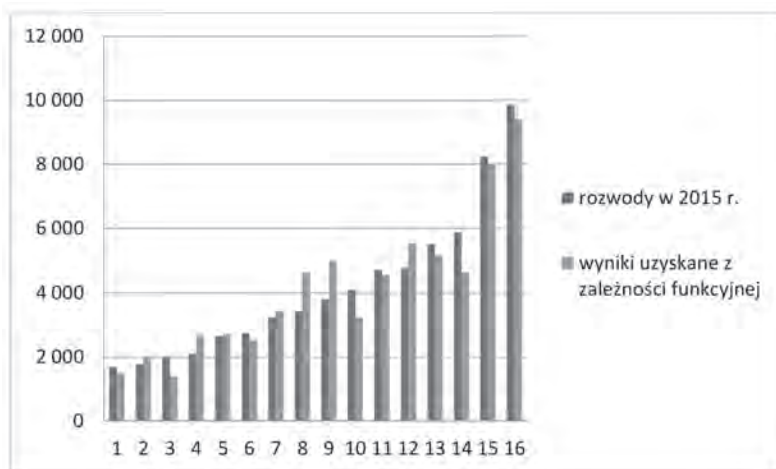


Rys. 9. Wyniki obserwacji z wynikami uzyskanymi z zależności funkcyjnej modelu liczby wypadków w 2015 r.

Źródło: [9]

Porównanie wartości obserwowanych z wartościami uzyskanymi w wyniku obliczeń przedstawiono na rys. 9 i 10. Na wykresach tam przedstawionych pokazano dopasowanie uzyskanej zależności funkcyjnej. Na tym etapie często można zidentyfikować wartości odstające. Sytuacja taka zazwyczaj ma miejsce, gdy budujemy model na poziomie jednostek samorządu terytorialnego,

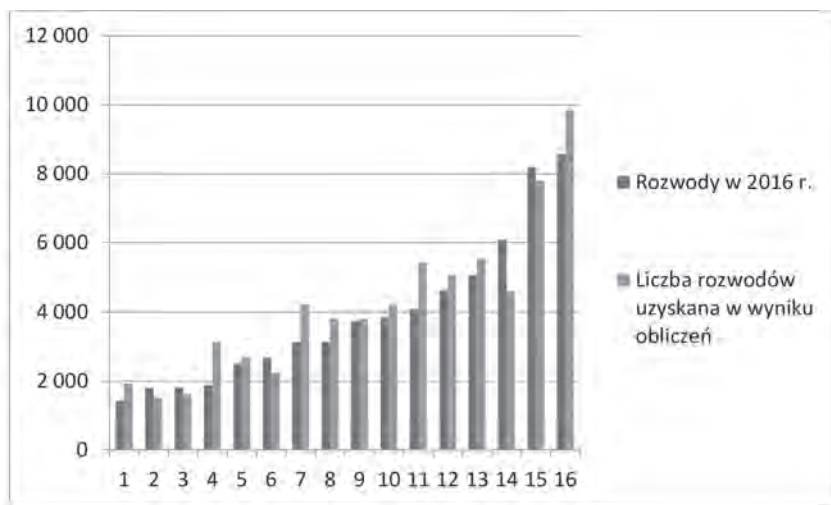
np.: gminy lub powiatu i dobieżemy regiony, w których wartość analizowanych zmiennych znacznie odbiega od średniej.



Rys. 10. Wyniki obserwacji z wynikami uzyskanymi z zależności funkcyjnej modelu rozwodów w 2015 r.

Źródło: [16]

Podstawienie do wzoru wartości zmiennych objaśniających z innego zakresu umożliwi ocenę uzyskanej zależności.



Rys. 11. Porównanie liczby rozwodów w 2016 r. z wynikami obliczeń uzyskanymi z zależności funkcyjnej modelu rozwodów w 2015 r.

Źródło: [16]

Na wykresie (rys. 11) przedstawiono liczbę rozwodów z zakresu niewchodzącego w zestaw danych użyty do oszacowania zależności funkcyjnej. Przykład ten pokazuje, że w przypadku zaprezentowanej zależności, obliczone wartości w kolejnym roku również odpowiadają wartościom rzeczywistym.

Podsumowanie

Przedstawione przykłady modelowania zagrożeń oparte na analizie ilościowej mogą służyć jako jedno z narzędzi wspomagające zarządzanie ryzykiem. Metodyka ta zawiera identyfikację zagrożeń, analizę współzależności zmiennych, sformułowanie zależności funkcyjnej i ocenę modelu. Otrzymane w wyniku modelowania korelacje w postaci zależności funkcyjnej umożliwiają weryfikację postawionych hipotez. Uzyskana przyczynowość pozwala na ilościowe określenie współzależności wielu zmiennych. Prosta interpretacja wyników obliczeń daje możliwość odpowiedzi na pytanie: o ile wartość zmiennej objaśnianej (np. liczby wypadków) zmieni się, jeśli zmienią się o zakładaną wartość zmienne objaśniające. Jednocześnie tylko wyniki, które zostały pozytywnie zweryfikowane w testach, można dalej poddawać ocenie i wykorzystywać w analizie lub prognozowaniu.

Nauki o bezpieczeństwie oferują wiele narzędzi wspierających decydentów, umożliwiających rzetelną analizę ryzyka i określenie działań mających na celu zminimalizowanie ryzyka. Przedstawione metody ilościowej analizy danych są kolejnym wsparciem procesu zarządzania ryzykiem.

Literatura

- [1] Abgarowicz G. (red. nauk.), *Pamięć przyszłości. Analiza ryzyka dla zarządzania kryzysowego*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2015.
- [2] *Badania opinii publicznej*, <http://www.policja.pl/pol/aktualnosci/142130,Rekordowy-poziom-poczucia-bezpieczenstwa.html>, [dostęp: 04.04.2018 r.].
- [3] Bednarska S., Brzezicka A. (red. nauk.), *Statystyczny drogowskaz. Praktyczny poradnik analizy danych*, Wyd. Szkoły Wyższej Psychologii Społecznej „Academica”, Warszawa 2007.
- [4] Bednarska S., Cypryńska M. (red. nauk.), *Statystyczny drogowskaz 1. Praktyczne wprowadzenie do wnioskowania statystycznego*, Wyd. Akademickie Sedno Sp. z o.o., Warszawa 2013.

- [5] *Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej* (Dz.U. 1997 nr 78 poz. 483).
- [6] *Krajowy Plan Zarządzania Kryzysowego*, <https://rcb.gov.pl/krajowy-plan-zarządzania-kryzysowego/> [dostęp: 5.07.2018 r.].
- [7] Kufel T., *Ekonometria. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem programu GRET*L, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
- [8] Nawojczyk M., *Przewodnik po statystyce dla socjologów*, SPSS Polska Sp. z o.o. Kraków 2010.
- [9] Ryszawy P., Świąćicka D., *Materiał badawczy zebrany na potrzeby pracy zaliczeniowej z przedmiotu Modelowanie zagrożeń*, Warszawa 2018.
- [10] *Słownik języka polskiego PWN* [dostęp 04.04.2018 r.].
- [11] Stanisław A., *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach medycyny. Statystyki Podstawowe*, Tom 1, StatSoft Polska Sp. z o.o., Kraków 2006.
- [12] Stanisław A., *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach medycyny. Statystyki Podstawowe*, Tom 2. StatSoft Polska Sp. z o.o., Kraków 2006.
- [13] Ustawa z 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dz.U. 2007 nr 89 poz. 590 z późn. zm.).
- [14] Ustawa z 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych (Dz.U. 2009 nr 157 poz. 1240 z późn. zm.).
- [15] Wolanin J., *Zarys teorii bezpieczeństwa obywateli. Ochrona ludności na czas pokoju*, Danmar, Warszawa 2005.
- [16] Zatorska A., *Materiał badawczy zebrany na potrzeby pracy zaliczeniowej z przedmiotu Modelowanie zagrożeń*, Warszawa 2018.
- [17] Zeigler B.P., *Teoria modelowania i symulacji*, PWN, Warszawa 1984.