

dr Magda BOGALECKA
Akademia Morska w Gdyni

ANALIZA WSPÓLZALEŻNOŚCI LICZBY WYPADKÓW OD LICZBY STATKÓW W REGIONIE MORZA BAŁTYCKIEGO

STRESZCZENIE

Basen Morza Bałtyckiego jest stosunkowo mały i zamknięty, a przez to szczególnie wrażliwy na zagrożenia. Mimo że akwen stanowi niewiele ponad 1% powierzchni mórz i oceanów świata, koncentruje aż 15% światowego transportu. Pojawiające się zanieczyszczenia, wynikające z eksploatacji tego regionu, jak również będące następstwem wypadków, są głównym zagrożeniem równowagi ekologicznej tego ekosystemu. Celem artykułu jest zbadanie w jakim stopniu liczba statków odnotowanych w ciągu roku na Morzu Bałtyckim wpływa na liczbę wypadków w obrębie tego akwenu. Do zbadania tej zależności zastosowano analizę regresji. Przeprowadzono także prognozę na podstawie modelu regresji.

Słowa kluczowe:

wypadki morskie, Morze Bałtyckie, analiza regresji

RUCH STATKÓW ORAZ WYPADKI MORSKIE W REGIONIE MORZA BAŁTYCKIEGO - WPROWADZENIE

Region Morza Bałtyckiego charakteryzuje się jednym z najwyższych w Europie wskaźników wzrostu gospodarczego. Decyduje o tym intensywny rozwój wymiany handlowej pomiędzy, zarówno, portami nadbałtyckimi jak i między nimi, a resztą świata. Blisko połowa towarów, przewożonych wewnątrz regionu Morza Bałtyckiego, transportowana jest drogą morską. Porty bałtyckie przeładowują rocznie ponad 800 milionów ton towarów płynnych i masowych oraz blisko 8 mln towarów w kontenerach. Statystyki *Baltic Port Organization*, która zrzesza główne porty nadbałtyckie, wskazują, że następuje w nich stały wzrost przeładunków. Z kolei Komisja Helsińska podaje, że w ciągu roku około 400 tysięcy statków wpływa bądź opuszcza region Morza Bałtyckiego, a około 2 tysięcy statków znajduje się na morzu w każdej dowolnej chwili. Mimo że od 2008 roku przez trzy kolejne lata odnotowywano niewielki spadek ruchu statków w regionie Morza Bałtyckiego (w 2010

roku było ich poniżej 400 tysięcy), to w 2011 roku zaobserwowano wzrost liczby statków odwiedzających ten akwen (411,4 tys.), co było porównywalne do poziomu z 2007 roku [4].

Ruch statków i ich pozycji na akwenach świata, można obserwować na bieżąco poprzez witrynę¹, w której sczytywane są dane z systemu automatycznej identyfikacji statku – AIS (ang. *Automatic Identification System*). *Na Morzu Bałtyckim system AIS funkcjonuje od połowy 2005 roku. System ten umożliwia dokładniejsze śledzenie ruchu statków. Na przykład władze duńskie w tradycyjny, ręczny sposób odnotowały 30% mniej statków w 2011 roku, niż działający w tym rejonie system AIS. Obecnie trwają prace, których celem jest znalezienie powodu tej rozbieżności.*

Morze Bałtyckie jest przede wszystkim eksploatowane przez masowce (210,0 tys. w 2011 roku), na drugim miejscu przez tankowce (65,6 tys. w 2011 roku), natomiast promów pasażerskich w stosunku do wspomnianych typów statków, przepływa przez ten akwen najmniej (39,9 tys. w 2011 roku).

Najintensywniejszy ruch statków w regionie Morza Bałtyckiego odbywa się w obrębie Cieśnin Duńskich; wszystkie statki, które wpływają lub opuszczają ten region, bez względu na to, czy płyną do lub z portów północnego czy południowego Bałtyku, muszą przedostać się przez ten obszar. Z kolei dla krajów skandynawskich transport morski ma szczególne znaczenie, bowiem jest to najkrótsza droga przesyłania towarów do pozostałych obszarów Europy (np. Finlandia przewozi drogą morską 80% swych towarów).

Główny strumień przewozu pasażerów i ładunków po Morzu Bałtyckim przebiega od Kanału Kilońskiego, w kierunku północno-wschodnim, do Zatoki Fińskiej oraz wzdłuż wybrzeży Szwecji. Konsekwencją tego jest obserwowana od lat tendencja występowania większej liczby wypadków blisko wybrzeża, co dodatkowo powoduje zanieczyszczenie linii brzegowej: Cieśniny Duńskie, Zatoka Fińska oraz południowa część Morza Botnickiego są regionami akwenu, w obrębie których najczęściej dochodzi do wypadków.

Najaktualniejsze informacje na temat wypadków w regionie Morza Bałtyckiego, zostały opublikowane przez Komisję Helsińską na początku 2013 roku i obejmują zdarzenia, które wydarzyły się do 2011 roku [4]. W ciągu dekady 2002-2011 doszło do 1133 wypadków i incydentów na Morzu Bałtyckim, zatem rocznie w ostatnim czasie dochodziło średnio do ponad 110 niebezpiecznych zdarzeń i wypadków na tym akwenu.

Według ostatnich informacji, zebranych przez Komisję Helsińską, w 2011 roku odnotowano 121 zdarzeń na Morzu Bałtyckim, czyli o 3 mniej niż w roku wcześniejszym, ale o 16 więcej niż w 2009 roku oraz 50 więcej niż w 2003 roku. W 2011 roku konsekwencją 11 wypadków było zanieczyszczenie środowiska. Wówczas, podczas każdego wypadku substancją, która wydostała się na zewnątrz statku była substancja ropopochodna, zwykle mazut. Jednak w ciągu ostatniej dekady, rok 2005 był tym, podczas którego wydarzyło się najwięcej wypadków (13 zda-

¹ www.marinetraffic.org.

rzeń), kończących się zanieczyszczeniem ekosystemu Morza Bałtyckiego. Ze względu na specyfikę Morza Bałtyckiego (morze zamknięte, z długim okresem wymiany wód, dochodzącym do 40 lat), wycieki substancji chemicznych powodują dużo bardziej uciążliwe dla środowiska skutki, niż wycieki takich samych ilości substancji na tak zwanym morzu otwartym.

Najczęstszą przyczyną wypadków na Morzu Bałtyckim w 2011 roku była kolizja (35%) oraz wejście na mieliznę lub zatonięcie (25%). Są to typowe przyczyny wypadków morskich. Niezależnie od nich, istotne są również tak zwane pierwotne przyczyny zdarzeń. Wśród nich przeważają: rutyna, alkohol czy narkotyki, sprzyjające popełnianiu błędów przez ludzi, na których ciąży odpowiedzialność za bezpieczny transport. Natomiast w zdecydowanej mniejszości są zdarzenia wywołane czynnikami niezależnymi od człowieka, na przykład złymi warunkami meteorologicznymi [3].

ANALIZA REGRESJI

W celu zbadania zależności pomiędzy liczbą statków odwiedzających obszar Morza Bałtyckiego, a liczbą wypadków, do jakich dochodzi na tym akwenie, zastosowano analizę regresji². Przyjęto, że liczba statków jest zmienną niezależną X , natomiast liczba wypadków jest zmienną zależną Y . Do przeprowadzenia analizy wykorzystano jedynie dostępne dane opublikowane przez Komisję Helsińską. Analizie poddano liczbę statków zarejestrowanych rocznie przez system AIS oraz odpowiadającą jej liczbę wypadków, które wydarzyły się na obszarze Morza Bałtyckiego przez $n = 6$ kolejnych lat (2006-2011). Dane te zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Liczba statków X oraz wypadków morskich Y na akwenie Morza Bałtyckiego w latach 2006-2011

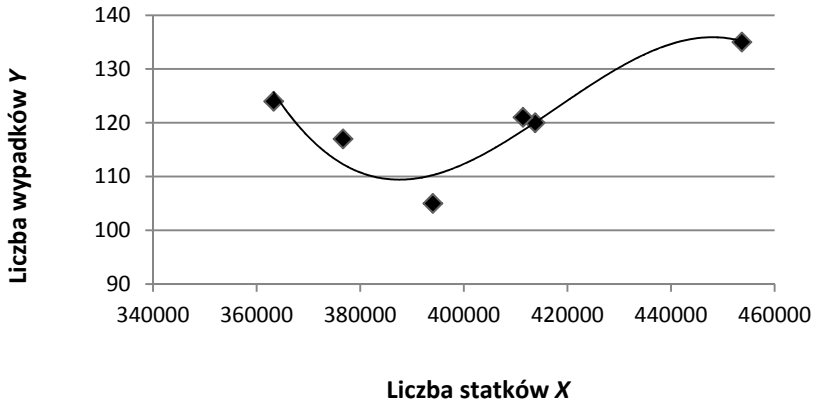
Rok	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Liczba statków X	376671	413774	453698	394026	363293	411440
Liczba wypadków Y	117	120	135	105	124	121

źródło: opracowanie własne na podstawie raportu Komisji Helsińskiej [4]

W badanej próbie średnia \bar{X} wynosi 402150,3 statków, a średnia \bar{Y} to 120,3 wypadków.

Zależność pomiędzy liczbą statków X , a liczbą wypadków Y na Morzu Bałtyckim, wraz z linią trendu, przedstawiono na rysunku 1.

² Do obliczeń wartości poszczególnych parametrów analizy regresji przyjęto wzory podane przez A. Bielecką [2], chyba, że zaznaczono inaczej.



Rys. 1. Zależność pomiędzy liczbą statków X, a liczbą wypadków Y na akwenu Morza Bałtyckiego w latach 2006-2011 wraz z linią trendu
źródło: opracowanie własne

Na podstawie zaobserwowanych w próbie wartości badanych zmiennych (danych empirycznych), można oszacować zależność między liczbą statków, a liczbą wypadków, do jakich dochodzi na Morzu Bałtyckim. Zależność ta ma charakter nieliniowy z charakterystycznymi dwoma przegięciami krzywej. Dlatego do opisu tej zależności wybrano funkcję wielomianową trzeciego stopnia postaci:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (1)$$

gdzie parametry a , b , c , d wyznaczono, rozwiązując układ równań (por. [5]):

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n y_i = a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i + nd \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i = a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 + d \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i = a \sum_{i=1}^n x_i^5 + b \sum_{i=1}^n x_i^4 + c \sum_{i=1}^n x_i^3 + d \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i = a \sum_{i=1}^n x_i^6 + b \sum_{i=1}^n x_i^5 + c \sum_{i=1}^n x_i^4 + d \sum_{i=1}^n x_i^3 \end{cases} \quad (2)$$

Po jego rozwiązaniu otrzymano³:

$$a = -2,40 \cdot 10^{-13}; b = 3,00 \cdot 10^{-7}; c = -0,12; d = 17323,81$$

Zatem funkcja wielomianowa, opisująca zależność pomiędzy liczbą statków, a liczbą wypadków, do jakich dochodzi w obszarze Morza Bałtyckiego, czyli funkcja regresji ma postać:

$$y = -2,40 \cdot 10^{-13} x^3 + 3,00 \cdot 10^{-7} x^2 - 0,12x + 17323,81 \quad (3)$$

Na konkretną, zaobserwowaną w próbie, wartość zmiennej zależnej y_i (liczba wypadków) w znacznym stopniu ma wpływ zaobserwowana wartość zmiennej niezależnej x_i (liczba statków), wyrażona przez funkcję $f(x)$, ale również oddziałują na nią inne czynniki, których charakter jest w tym wypadku losowy (np. wiek statku).

Zatem:

$$y_i = f(x) + z_i = \hat{y}_i + z_i \quad (4)$$

gdzie:

\hat{y}_i jest wartością teoretyczną zmiennej zależnej Y , wynikającą z wyznaczonej funkcji regresji, przy zaobserwowanej wartości x_i zmiennej niezależnej, natomiast z_i jest tak zwanym składnikiem resztowym, czyli resztą wartości zmiennej zależnej, której nie wyjaśnia zmienna niezależna.

Dlatego:

$$z_i = y_i - f(x) = y_i - \hat{y}_i \quad (5)$$

Biorąc powyższe pod uwagę, obliczono przeciętne odchylenie od linii regresji, czyli odchylenie standardowe S ze wzoru (por. [1]):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - (k + 1)}} \quad (6)$$

gdzie k jest stopniem wielomianu (tu: $k = 3$).

³ W rzeczywistości otrzymano liczby z większą dokładnością, i takimi posługiwano się w dalszych obliczeniach. Natomiast w artykule, ze względu na przejrzystość, zapis ograniczono.

Odchylenie standardowe dla wyznaczonej funkcji regresji (3) wynosi $S = 3,82$. Oznacza to, że szacując, na podstawie otrzymanej funkcji regresji, liczbę wypadków, średnio można pomylić się o 4 wypadki (w zaokrągleniu).

Współczynnik determinacji R^2 pozwala określić w jakim stopniu zmienność zmiennej zależnej Y (liczba wypadków) jest wyjaśniana wpływem zmienności zmiennej niezależnej X (liczba statków). Można go obliczyć ze wzoru:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2} \quad (7)$$

Dla wyznaczonej funkcji regresji współczynnik determinacji wynosi $R^2 = 0,88$. Zatem oznacza to, że 88% wypadków, do jakich dochodzi na wodach Morza Bałtyckiego w ciągu roku, można tłumaczyć liczebnością statków pojawiających się na tym akwenie.

Dopełnieniem współczynnika determinacji jest współczynniki indeterminacji φ^2 , który jest jednocześnie współczynnikiem zgodności. Można go obliczyć ze wzoru:

$$\varphi^2 = 1 - R^2 \quad (8)$$

Współczynnik indeterminacji pozwala określić, w jakim stopniu zróżnicowanie wartości zmiennej zależnej Y można wyjaśnić wpływem zmienności czynników, które nie zostały uwzględnione w funkcji regresji. Współczynnik indeterminacji dla wyznaczonej funkcji regresji wynosi $\varphi^2 = 0,12$. Oznacza to, że 12% wypadków, do jakich dochodzi w ciągu roku w regionie Morza Bałtyckiego, można wytłumaczyć innymi zjawiskami, których nie uwzględnia zbudowany model regresji.

Współczynniki determinacji oraz indeterminacji jednocześnie przedstawiają dopasowanie funkcji regresji $f(x)$ do danych empirycznych. Oba współczynniki mogą przyjmować wartości z przedziału $(0,1)$. Ale im bliższa 0 wartość współczynnika indeterminacji, a co za tym idzie im bliższa 1 wartość współczynnika determinacji, tym wyznaczona funkcja regresji jest lepiej dopasowana i lepiej wyjaśnia wpływ zmiennej niezależnej X na zmienną zależną Y . Biorąc to pod uwagę oraz znając wartości współczynnika determinacji oraz indeterminacji, można stwierdzić, że wyznaczona funkcja regresji, opisująca współzależność liczby wypadków i liczby statków, którym ulegają one w ciągu roku w regionie Morza Bałtyckiego, jest bardzo dobrze dopasowana do danych empirycznych.

**PROGNOZA LICZBY WYPADKÓW
NA PODSTAWIE MODELU REGRESJI**

Funkcję regresji (3), opisującą zależność pomiędzy zmienną niezależną X (liczba statków), a zmienną zależną Y (liczba wypadków) można wykorzystać do obliczenia teoretycznej wartości \hat{y}_p , przy założonej wartości zmiennej niezależnej x_p oraz poziomie średniego błędu, jaki się przy tym popełnia (błąd standardowy prognozy S_p), korzystając ze wzoru:

$$\hat{y}_p = f(x_p) \tag{9}$$

Dotychczas Komisja Helsińska nie opublikowała danych na temat liczby statków odnotowanych na obszarze Morza Bałtyckiego po 2011 roku. Aby jednak móc przeprowadzić prognozę liczby wypadków dla kolejnego roku, obliczono, o ile zwiększała lub zmniejszała się liczba statków na Morzu Bałtyckim w badanej próbie, w stosunku do roku poprzedniego (por. [6]). Liczbę statków X oraz roczną zmianę ich liczby w latach 2006-2011 przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Liczba statków X w regionie Morza Bałtyckiego i roczna zmiana ich liczby w latach 2006-2011

Rok	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Liczba statków X	376671	413774	453698	394026	363293	411440
Zmiana liczby statków (w stosunku do roku poprzedniego)	-	+37103	+39924	-59672	-30733	+48147

źródło: opracowanie własne

Średnioroczna zmiana liczby statków w regionie Morza Bałtyckiego wynosiła 43116 statków (w zaokrągleniu do jednośc). Dodając oraz odejmując tę wartość do i od wartości przedstawiającej liczbę statków będących na Morzu Bałtyckim w 2011 roku, otrzymano 454556 oraz 368324 statków, jako średnio możliwych w 2012 roku na Morzu Bałtyckim (w zależności od tego, czy intensywność transportu wzrosła czy zmalała w stosunku do 2011 roku). Te wartości przyjęto jako zadane wartości zmiennej niezależnej prognozowanej liczby wypadków w roku kolejnym:

$$x_{p_1} = 454556; x_{p_2} = 368324.$$

Stąd, prognozowane wartości zmiennej zależnej Y (liczba wypadków), oznaczone jako \hat{y}_{p_i} wynoszą (w zaokrągleniu do jedności): $\hat{y}_{p_1} = 135$ oraz $\hat{y}_{p_2} = 119$ wypadków.

Błąd standardowy tak wyznaczonych prognoz S_{p_i} obliczono ze wzoru:

$$S_{p_i} = S \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_p - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}} \quad (10)$$

Stąd, $S_{p_1} = 4,99$, natomiast $S_{p_2} = 4,51$, co w zaokrągleniu do jedności w obu wypadkach daje błąd standardowy prognozy $S_{p_i} = 5$.

PODSUMOWANIE

W analizowanej próbie zaobserwowano spadek intensywności transportu w regionie Morza Bałtyckiego w 2009 i 2010 roku. Z pewnością można to wytłumaczyć wszechobecnym wówczas kryzysem gospodarczym. Z kolei w prognozach na najbliższe dwie dekady przewiduje się intensywny rozwój sektora transportu morskiego w tym regionie, co pociągnie za sobą wzrost liczby statków przy jednoczesnym zwiększeniu ich pojemności. Zbudowany dla lat 2006-2011 model regresji nie ma zależności liniowej (rys. 1). Co więcej zależność ta jest malejącą przy większych wartościach zmiennej niezależnej X (liczba statków). Można zatem przewidywać, że planowany wzrost liczby statków w regionie nie pociągnie za sobą wzrostu liczby wypadków. Osoby, instytucje, administracja morska etc. odpowiedzialne za zapewnienie bezpiecznego transportu morskiego, zdając sobie sprawę z grożącego niebezpieczeństwa, wynikającego z prognozowanej intensywności transportu, udostępniają większą ilość narzędzi wspomagających działania prewencyjne. Tym także można wytłumaczyć prognozowany spadek liczby wypadków pomimo wzrostu liczebności statków na akwenie Morza Bałtyckiego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Aczel A. D., *Statystyka w zarządzaniu*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 2000,
- [2] Bielecka A., *Statystyka w biznesie i ekonomii. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Przedsiębiorczości i Zarządzania im. Leona Koźmińskiego, Warszawa 2005,
- [3] Bogalecka M., *Analysis of Sea Accidents Initial Events*, "Polish Journal of Environmental Studies", 2010, 19 (4A),
- [4] Helsinki Commission, *Report on Shipping Accidents in the Baltic Sea Area During 2011*, HELCOM SAFE NAV 3/2013,
- [5] Iwasiewicz A., Paszek Z., *Statystyka z elementami statystycznych metod sterowania jakością*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków 2000,
- [6] Pięłowski M., *Analiza regresji dla liczby systemów i placówek franczyzowych w Polsce*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego”, 2013, 776.

INTERDEPENDENCE ANALYSIS FOR SEA ACCIDENTS AND SHIPS NUMBER AT THE BALTIC SEA

ABSTRACT

The Baltic Sea is a unique ecosystem. Because of its geographical and oceanographic properties it is very sensitive to the environmental impact of human activity. Moreover, the huge traffic across the Baltic Sea is observed (15% of global transport). The pollution as a result of undamaging sea transport as well as sea accidents are the ecological balance threats of the Baltic Sea ecosystem.

The goal of the paper is an examination, how the number of ships registered by Automatic Identification System (AIS) affects the number of sea accidents during one year. The regression analysis was used to examine this interdependence. Based on the proposed regression model, the prediction of number of sea accidents in the Baltic Sea has also been done.