

## KRÓTKOTERMINOWA PROGNOZA LICZBY WYPADKÓW PRZY PRACY W ZAKŁADZIE PRZEMYSŁU WYDOBYWCZEGO

Grzegorz PELON<sup>1</sup>, Bożena GAJDZIK<sup>2</sup>, Stanisław GIL<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Doktorant w Politechnice Śląskiej,

<sup>2</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, bozena.gajdzik@polsl.pl

<sup>3</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, stanislaw.gil@polsl.pl

**Streszczenie:** W publikacji przedstawiono opracowanie krótkoterminowej prognozy liczby wypadków przy pracy ogółem w wybranym zakładzie przemysłowym (przedsiębiorstwo należy do przemysłu tradycyjnego). Prognozę opracowano na podstawie danych statystycznych o wypadkowości i przy zastosowaniu różnych modeli ekonometrycznych. W sumarycznej ocenie danej prognozy zastosowano metodę scoringową. Do analizy zostały wykorzystane dane statystyczne dotyczące wypadkowości przy pracy w latach 2007–2018.

**Słowa kluczowe:** przemysł, wypadki przy pracy, analiza statystyczna, prognoza

## SHORT-TERM FORECAST OF THE NUMBER OF ACCIDENTS AT WORK IN A MINING INDUSTRY PLANT

**Abstract:** In the publication a short-term forecast of the total number of accidents at work in the selected industrial plant (the enterprises belongs to traditional industry). The forecast based on accident statistics and using different econometric models. In the summary assessment of a obtained forecast, the scoring method was used. Statistics on accidents at work between 2007 and 2018 were used for the analysis.

**Key words:** industry, accidents at work, statistical analysis, forecast

### 1. Wprowadzenie

W przedsiębiorstwach, zwłaszcza branż tradycyjnych (górnictwo, hutnictwo) często występują wypadki w pracy. Warunki pracy w tych sektorach przemysłu zaliczane są do trudnych. Bezpieczeństwo pracy to podstawowy czynnik decydujący o prawidłowym rozwoju

każdej aktywności gospodarczej, gdyż istnieje ścisły związek pomiędzy działalnością człowieka i potrzebą zachowania bezpieczeństwa. Pomimo promowania bezpiecznych procedur wykonywania pracy zakrojonych, w tym zakrojonych na szeroką skalę działań prewencyjnych i kontrolnych w ramach systemów zarządzania bezpieczeństwem pracy, wskaźnik wypadków przy pracy w Polsce wciąż pozostaje wysoki. W 2019 roku Główny Urząd Statystyczny zarejestrował ogółem 83 205 wypadki przy pracy, z których 184 to wypadki śmiertelne, a 390 ciężkie [1].

Przewidywanie liczby wypadków można modelować na podstawie ilościowych metod prognostycznych, które pozwalają ustalić przebieg zjawiska w określonym czasie, a rezultaty prognoz umożliwiają rozpoznanie możliwych zdarzeń (zjawisk) w przyszłości i podjęcie działań prewencyjnych [2].

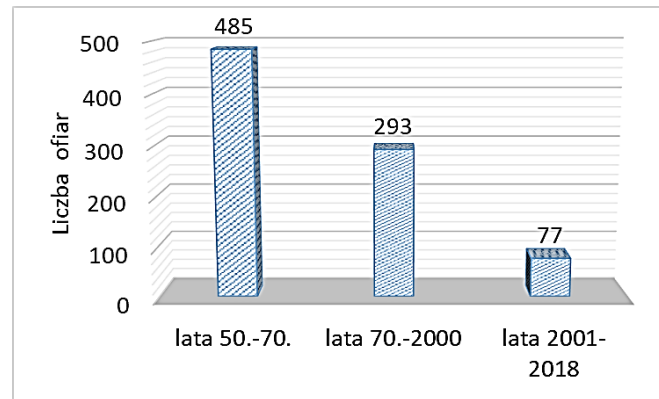
Przy budowie prognoz wykorzystuje się różne modele ekonometryczne. Optymalizacja wartości prognozy opiera się na poszukiwaniu minimalnej wartości wybranego błędu, przyjętego jako jej kryterium oceny rzetelności prognozy. Na podstawie danych statystycznych dotyczących wypadkowości zarejestrowanej w przedsiębiorstwie i przy zastosowaniu wybranych modeli ekonometrycznych można budować krótkoterminową prognozę przewidywanej liczby wypadków w wybranym zakładzie przemysłowym w przyszłości.

Celem niniejszego opracowania jest sporządzenie krótkoterminowej prognozy wypadków przy pracy (w oparciu o wybrane modele prognostyczne) na podstawie analizy bezwzględnej w wybranym zakładzie przemysłowym.

## 2. Ogólna sytuacja w badanym sektorze przemysłu

Przemysł wydobywczy charakteryzują ciężkie warunki pracy. Praca w górnictwie zawsze była związana z ryzykiem i wysoką śmiertelnością wśród pracujących górników [3-5]. W warunkach gospodarki centralnie sterowanej liczba wypadków była związana z naciskiem na wzrost wydajności przy ograniczonych środkach na inwestycje w zakresie bezpieczeństwa pracy. W gospodarce rynkowej systematycznie poprawiano warunki pracy, poszczególne kopalnie inwestowały w nowe technologie wydobywania, ograniczające wysiłek fizyczny pracowników. W sferze budowania świadomości realizowano szkolenia wśród pracowników, doposażano je w środki ochrony i budowano systemy zarządzania [6]. Stacje Ratownictwa Górniczego również odegrały istotną rolę w poprawie bezpieczeństwa pracy.

Lista katastrof górniczych w Polsce obejmuje zdarzenia śmiertelne, w których zginęło co najmniej 5 osób była przedmiotem analizy [7]. Na podstawie zamieszczonego tam zestawienia przedstawiono w sposób obrazowy wypadkowość śmiertelną (katastrofy górnicze) w latach gospodarki centralnie sterowanej i obecnie (rys. 1).



**Rysunek 1.** Ofiary wypadków w kopalniach – katastrofy w górnictwie w Polsce [7] (Uwaga: na potrzeby analizy przyjęto górne granice liczby ofiar wypadków).

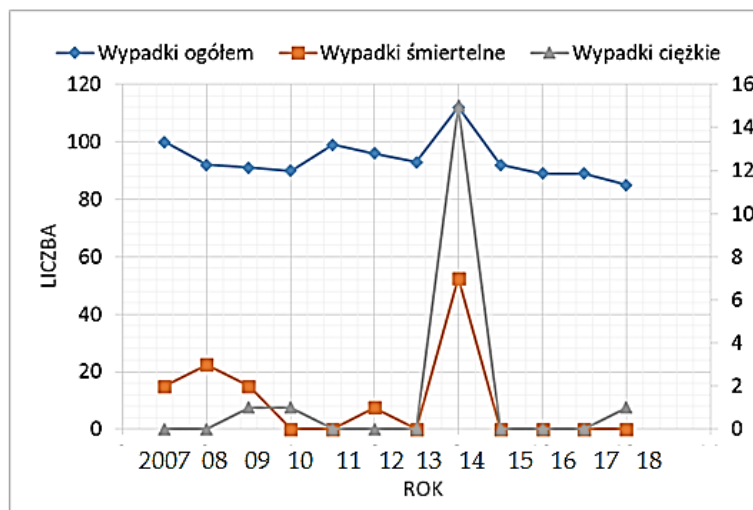
Dane Wyższego Urzędu Górniczego wskazują na ludzkie błędy jako główne przyczyny wypadków. Powstają one w większości podczas transportu oraz obsługi maszyn i urządzeń [8]. Najczęstsze naturalne przyczyny katastrof to wybuchy pyłu węglowego, wybuchy metanu oraz pożary powstałe od zapalonego metanu [9].

### 3. Dane do badań

Do prognozowania wytypowano historyczne dane o wypadkowości dla zakładu przemysłowego branży tradycyjnej (zakład wydobywczy) za lata 2007–2018 [10]. Dane użyte do prognozowania zestawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.**  
Dane statystyczne [10]

$t$	Rok	Wypadki		
		ogółem	śmiertelne	ciężkie
	$T$	$W$	$W_s$	$W_c$
1	2007	100	2	0
2	2008	92	3	0
3	2009	91	2	1
4	2010	90	0	1
5	2011	99	0	0
6	2012	96	1	0
7	2013	93	0	0
8	2014	112	7	15
9	2015	92	0	0
10	2016	89	0	0
11	2017	89	0	0
12	2018	85	0	1



**Rysunek 2.** Trendy wypadków w pracy w analizowanym przedsiębiorstwie.

Na podstawie przedstawionych trendów (rys. 2), zauważono, że rok 2014 był rokiem szczególnie trudnym w przedsiębiorstwie pod względem zachowania bezpiecznych warunków pracy. We wszystkich kategoriach zauważono wzrost wypadków w pracy, zarówno ogółem, jak i śmiertelnych i ciężkich. Takie zmiany w przebiegu trendu analizowanego zjawiska (w tym przypadku gwałtowny wzrost wypadków w 2014 roku) może powodować zmniejszenie istotności (jakości) opracowanych prognoz, dlatego też w pracy zastosowano (na końcowym etapie budowy prognoz metodę scoringu – wprowadzono wagi do oceny poszczególnych kategorii).

#### 4. Analiza bezwzględna wypadkowości

Na podstawie analizy bezwzględnej danych statystycznych dla badanego zakładu (wzrostowy przemysł) można stwierdzić, że dla liczby wypadków ogółem: suma wyniosła 1128, średnia to 94 rocznie, rozstęp w zakresie 85-112; można twierdzić o braku tendencji. Jednocześnie w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków ogółem na poziomie 1,5%. Liczba wypadków śmiertelnych: suma 15, średnia 1,5, rozstęp 0÷7; 1,33% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 75 wypadek ogółem; wypadki śmiertelne wystąpiły w latach 2007-2009, 2012 i 2014, można twierdzić o braku tendencji. Liczba wypadków ciężkich: suma 18, średnia 1,5, rozstęp 0÷15; 1,60% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 63 wypadek ogółem; wypadki ciężkie wystąpiły w latach 2009, 2010, 2014 i 2018, można twierdzić o braku tendencji.

## 5. Metodologia wyznaczania prognoz

W obliczeniach wykorzystano kilka modeli ekonometrycznych. Aby oszacować poziom dopuszczalności przyjętych metod prognostycznych, jak również w celu wyboru najlepszych metod, dokonano ewaluacji dwóch najczęściej wyznaczanych błędów prognoz wygasłych: średniej wartości względnego błędu prognoz wygasłych  $\Psi$  i pierwiastka kwadratowego, obliczanego ze średniego kwadratowego błędu prognoz pozornych  $RMSE^*$ . Optymalizacja wartości prognozy punktowej oparta była na poszukiwaniu minimalnej wartości jednego z wyżej wymienionych błędów, traktowanej jako jej kryterium [11-12]. Do oceny statystycznej uzyskanych modeli zastosowano również współczynnik zmienności losowej  $V_e$ .

Przyjęto, że jeżeli współczynnik  $V_e$  nie przekracza założonej z góry wartości granicznej, którą najczęściej ustala się na poziomie granicznej wartości maksymalnej równej 15%, to pozwala to stwierdzić, że model jest dobrze dopasowany do danych empirycznych [13]. Implementację algorytmów modeli ekonometrycznych przeprowadzono w arkuszu kalkulacyjnym Excel z wykorzystaniem wbudowanych funkcji, narzędzi analizy danych oraz narzędzia optymalizacyjnego Solver [14-15].

Aby maksymalnie zobiektywizować ocenę jakości prognoz oparto ją na następujących kryteriach:  $K_1$ : wartość błędu prognoz wygasłych  $\Psi$  dla szeregu ujmującego dane empiryczne z lat 2007–2016;  $K_2$ : wartość błędu prognoz wygasłych  $\Psi$  dla szeregu ujmującego dane empiryczne z lat 2007–2018;  $K_3$ : wartość błędu prognoz wygasłych  $\Psi$  dla szeregu ujmującego dane empiryczne z lat 2017–2018;  $K_4$ : wartość współczynnika zmienności losowej  $V_e$  dla prognoz wygasłych z lat 2007–2016, przy czym dla wszystkich prognoz z wyjątkiem modeli liniowych i linearyzowanych w oszacowaniu jego wartości wykorzystano błąd  $RMSE^*$ ;  $K_5$ : wartość współczynnika zmienności losowej  $V_e$  dla prognoz wygasłych z lat 2007–2018, przy czym dla wszystkich prognoz z wyjątkiem modeli liniowych i linearyzowanych w oszacowaniu jego wartości wykorzystano błąd  $RMSE^*$ . Każdą z wymienionych wartości błędów i współczynników poddano standaryzacji. W sumarycznej ocenie danej prognozy zastosowano wagi procentowe: 10% – dla kryteriów  $K_1$  i  $K_2$ , 20% – dla kryteriów  $K_3$  i  $K_4$ , 40% – dla kryterium  $K_5$ .

## 6. Rezultaty zastosowania scoringowej metody

Tablica 2 zawiera zestawienie wartości każdego z kryteriów dla zastosowanych metod prognozowania oraz standaryzowaną, wagową ocenę sumaryczną kryteriów. W tabeli 2 przedstawiono tylko modele dla których weryfikacja prognoz była wystarczająca.

**Tablica 2.**

*Zestawienie kryteriów estymacji w najlepszych modelach prognostycznych*

Model	Błędy prognoz 2007-2016		Błędy prognoz 2007-2018		Współczynnik Ve , %		2007-2018	Weryfikacja prognozy
	$\Psi/\%$	RMSE	$\Psi/\%$	RMSE	2007- 2016	2007- 2018	$\Psi/\%$	
liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego	5,43	7,89	5,19	7,10	8,30	7,60	1,78	-0,8719
liniowy Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego	5,61	8,20	4,69	7,13	8,60	7,60	1,54	-0,8986
kwadratowy Holta w formule addytywnej	5,21	6,56	4,31	6,09	6,90	6,50	6,18	-0,5910
trendu pełzającego prognozowanie metodą wag harmonicznnych	3,04	3,52	2,47	3,13	3,80	3,30	4,15	-1,4610
AR (1,4)			5,09	6,56		6,90		

W oparciu o przedstawione wyniki można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania do punktów empirycznych stanowiących liczbę wypadków ogółem charakteryzują się następujące modele prognostyczne mające standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną mniejszą niż – 0,5000:

- model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego;
- model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego;
- model kwadratowy Holta w formule addytywnej

model trendu pełzającego (prognozowanie metodą wag harmonicznnych).

Do modeli dobrze dopasowanych do danych empirycznych (mimo stwierdzenia braku statystycznie istotnej autokorelacji) można zaliczyć również model autoregresyjny AR(1,4) uzyskany dla szeregu czasowego 2007-2018.

## 7. Prognoza liczby wypadków przy pracy ogółem

Spośród modeli zaznaczonych na zielono w tabeli 2 przedstawiono prognozę wyznaczoną przy użyciu modelu trendu pełzającego (prognozowanie metodą wag harmonicznnych).

W metodzie trendu pełzającego z wagami harmonicznnymi, która cechuje się najlepszą dobrocią dopasowania, wyodrębnia się tendencje rozwojowe

zmiennej prognozowanej. Metoda wag harmoniczných jest narzędziem pozwalającym budować prognozy wtedy, gdy dla zmiennej prognozowanej nie zbudowano odpowiedniej jakości modelu przyczynowo-skutkowego, ani modelu tendencji rozwojowej. Podstawowe założenia tej metody prognostycznej obejmowały:

- ustalenie stałej wygładzania  $k < n$  (np. wybranie segmentów po  $k = 3$  obserwacje),
- oszacowanie na podstawie kolejnych fragmentów szeregu o długości  $k$  liniowych funkcji trendu,
- obliczenie wartości teoretycznych wynikających z poszczególnych funkcji trendu,
- obliczenie wartości trendu pełzającego dla każdego okresu  $t$  (średnia arytmetyczna z wartości teoretycznych adekwatnych funkcji trendu dla danego okresu),
- obliczenie przyrostów funkcji trendu  $w_{t+1}$  według zależności:

$$w_{t+1} = y_{t+1}^* - y_t^*, \text{ dla } t = 1, \dots, n - 1, \quad (1)$$

- nadanie wag poszczególnym przyrostom  $C$ , podlegające następującej zależności:

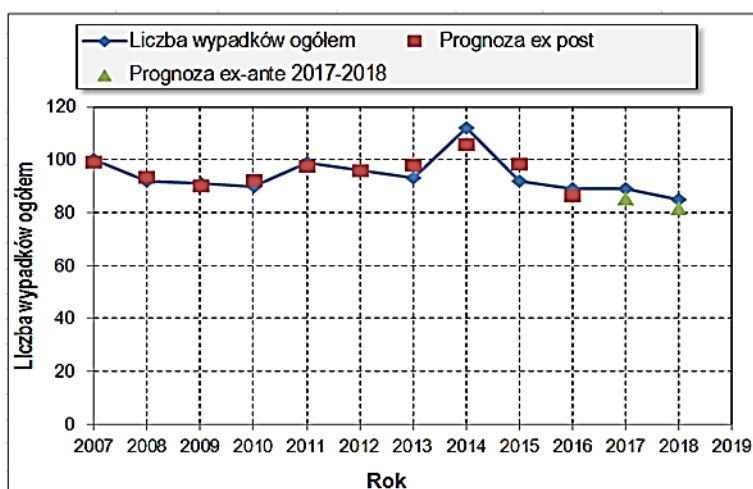
$$C_{t+1}^n = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^t \frac{1}{n-i}, \text{ dla } t = 1, \dots, n - 1; \quad (2)$$

- prognozę *ex-ante* na okres  $T$  obliczoną wg wzoru:

$$y_T^* = y_n + (T - n) \left( \sum_{t=1}^{n-1} w_{t+1} \right), \text{ dla } T = n + 1, \dots, \tau. \quad (3)$$

Implementację algorytmów przedstawionych modeli i związane z nimi obliczenia przeprowadzono w arkuszu kalkulacyjnym Excel z wykorzystaniem wbudowanych funkcji, narzędzi analizy danych oraz narzędzia optymalizacyjnego *Solver*.

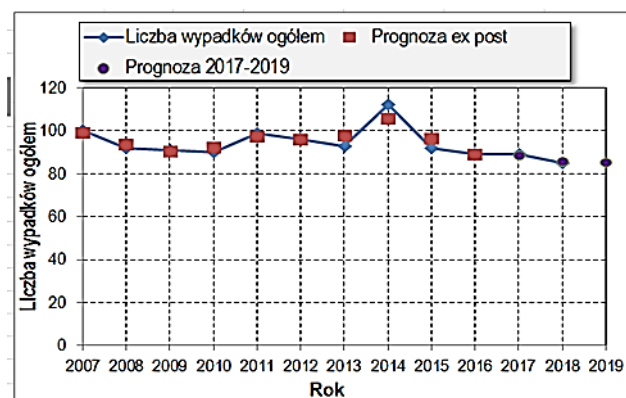
Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu trendu pełzającego ( $k = 3$ ) z wykorzystaniem metody wag harmoniczných wykonano zgodnie ze wzorami. Wyniki prognozy dla danych empirycznych z lat 2007-2016 na rys. 3, natomiast z lat 2007-2018 na rys. 4.



**Rysunek 3.** Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ( $k = 3$ ) z wykorzystaniem metody wag

## Krótkoterminowa prognoza liczby wypadków...

harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2016.



**Rysunek 4.** Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ( $k = 3$ ) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018.

## 8. Podsumowanie

Przedstawiona metodologia (zarys postępowania w wyznaczaniu prognoz) może być użyteczny dla innych przedsiębiorstw. Prognozowanie jest ostatnio bardzo popularne ponieważ pozwala wprowadzać działania zapobiegawcze. Dane predykcyjne są wykorzystywane w procesie decyzyjnym w celu poprawy warunków pracy. Przedsiębiorstwa w doskonalonych systemach zarządzania bezpieczeństwem pracy stosują metody predykcji, aby wyprzedzić rzeczywistość. Zastosowanie wag do oceny błędów prognoz może znacznie poprawić ich jakość (co zaprezentowano na rys. 3-4), gdzie prognozy prawie pokrywają się z danymi empirycznymi (w badanym okresie historycznym). Po szerszej analizie zagadnienia należy jednak stwierdzić, że nie można znaleźć jednej uniwersalnej metody prognostycznej.



## Bibliografia

1. Czyżycki R., Klóska R.: Ekonometria i prognozowanie zjawisk ekonomicznych w przykładach i zadaniach. Wyd. Economicus, Szczecin 2011.
3. Gierlotka S.: Początki ratownictwa górniczego w śląskich kopalniach, W: Zagożdżon P. P., Madziarz M. (red.). Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013, s. 65 – 72.
4. Mianowana K., Rydzak L., Mianowana V.: Wypadkowość
5. Middleton M.R.: Microsoft Excel w analizie danych. Wyd. RM, Warszawa 2004.
6. w górnictwie – prognozowanie występowania zdarzeń a ubezpieczanie pracowników. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 2016 nr 10, s. 17–23.
7. Strategor 2001: Zarządzanie firmą. Strategie. Struktury. Decyzje. Tożsamość. PWE, Warszawa
8. Strzałkowski P.: Górnictwo ogólne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2015.
9. Sławomir Cichy.: Górnicy giną jak nigdy przez fikcyjne BHP. Dziennik.pl, 21 listopada 2008 [dostęp 2009-08-14, [www.dziennik.pl/wydarzenia/article269023/gornicy....](http://www.dziennik.pl/wydarzenia/article269023/gornicy....) 2009-06-07].
10. Szeja J.: Prognozowanie struktury wypadków przy pracy w kopalniach węgla kamiennego (studium metodologiczne). Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie, 1992, nr 388, s. 15–50.
11. Welfe A.: Ekonometria. Metody i ich zastosowanie. PWE, Warszawa 2009
12. Wypadki przy pracy w 2019 r. Informacje i Opracowania Statystyczne. Główny Urząd Statystyczny z dn. 31.03.2020, Warszawa 2020.
13. Witkowska D.: Podstawy ekonometrii i teorii prognozowania. Podręcznik z przykładami i zadaniami. Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2005
14. Żarowska-Mazur A., Węglarz W.: Excel 2010. Praktyczny kurs. PWN, Warszawa 2012.
15. Dane statystyczne o wypadkowości z działu BHP wybranego zakładu przemysłowego za lata 2007–2018.
16. PAP: Metan przyczyną górniczych katastrof. [dostęp 2009-08-14, [wiadomości.wp.pl/metan-przyczyna-gornicznych-katastrof-6032045982524033a](http://wiadomości.wp.pl/metan-przyczyna-gornicznych-katastrof-6032045982524033a), 2006-11-21.]
17. Wypadki przy pracy w 2019 r. Informacje i Opracowania Statystyczne. Główny Urząd Statystyczny z dn. 31.03.2020, Warszawa 2020.