

Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa
i Automatyki Przemysłowej

PRACA DOKTORSKA

Zastosowanie wybranych modeli prognostycznych do
przewidywania liczby wypadków na przykładzie
kopalni węgla kamiennego

mgr inż. Grzegorz Pelon

Promotor pomocniczy
dr inż. Józef W. Parchański, dr h.c.

Promotor
dr hab. inż. Stanisław Gil, prof. PŚ

Katowice, 2020

SPIS TREŚCI

Wykaz oznaczeń.....	3
Spis rysunków.....	6
Spis tablic.....	13
1. WSTĘP.....	15
2. OPIS WYTYPOWANYCH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO.....	19
2.1. Opis KWK „Mysłowice – Wesola”.....	20
2.2. Opis KWK „Budryk”.....	23
2.3. Opis ZG „Brzeszcze”.....	24
3. PODSTAWY PRAWNE DOTYCZĄCE WYPADKÓW W ŚRODOWISKU PRACY.....	29
3.1. Klasyfikacja wypadków w środowisku pracy.....	29
3.2. Ubezpieczenie wypadkowe z tytułu wypadków przy pracy.....	30
3.3. Podstawy prawne dotyczące wypadków przy pracy oraz wypadków traktowanych na równi z wypadkami przy pracy.....	32
3.4. Podstawy prawne dotyczące wypadków przy pracy w okresie ubezpieczenia wypadkowego.....	36
3.5. Podstawy prawne dotyczące wypadków w drodze do pracy lub z pracy....	41
4. KLASYFIKACJA ZAGROŻEŃ I ZASADY ANALIZY WYPADKÓW PRZY PRACY.....	44
4.1. Klasyfikacja zagrożeń w środowisku pracy.....	44
4.2. Klasyfikacja zagrożeń w górnictwie.....	46
4.3. Klasyfikacja ryzyka w środowisku pracy.....	47
4.4. Zasady analizy statystyki wypadków przy pracy.....	50
4.5. Przykładowe wskaźniki wypadkowości w górnictwie.....	53
5. OPIS PROCESU PROGNOZOWANIA.....	57
5.1. Podstawy, cel, funkcje, metody i horyzont prognozowania.....	57
5.2. Etapy mechanizmu prognozowania i miary dokładności prognoz.....	60
6. WYBRANE MODELE PROGNOSTYCZNE.....	64
6.1. Modele elementarne.....	66
6.2. Modele wygładzania wykładniczego.....	70
6.3. Liniowe i linearyzowane prognostyczne modele regresyjne.....	79
6.4. Modele autoregresyjne.....	81
6.5. Ocena średniookresowego tempa zmian.....	83

7.	CEL I ZAKRES PRACY.....	84
8.	ANALIZA STATYSTYKI WYPADKÓW PRZY PRACY W WYBRANYCH KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO.....	85
8.1.	KWK „Mysłowice - Wesola”.....	85
8.1.1.	Analiza bezwzględna.....	85
8.1.2.	Analiza wskaźnikowa.....	88
8.2.	KWK „Budryk”.....	92
8.2.1.	Analiza bezwzględna.....	92
8.2.2.	Analiza wskaźnikowa.....	95
8.3.	ZG „Brzeszcze”.....	98
8.3.1.	Analiza bezwzględna.....	98
8.3.2.	Analiza wskaźnikowa.....	101
9.	PROGNOZA WYPADKOWOŚCI W WYBRANYCH KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO.....	106
9.1.	Prognoza wypadkowości w KWK „Mysłowice - Wesola”.....	108
9.1.1.	Prognoza wypadkowości w KWK „Mysłowice-Wesola” – załoga własna.....	108
9.1.2.	Prognoza wypadkowości w KWK „Mysłowice-Wesola” – firmy usługowe.....	131
9.2.	Prognoza wypadkowości w KWK „Budryk”	136
9.2.1.	Prognoza wypadkowości w KWK „Budryk” – załoga własna.....	136
9.2.2.	Prognoza wypadkowości w KWK „Budryk” – firmy usługowe....	142
9.3.	Prognoza wypadkowości w KWK „Budryk”	136
9.3.1.	Prognoza wypadkowości w ZG „Brzeszcze” – załoga własna.....	146
9.3.2.	Prognoza wypadkowości w KWK „Budryk” – firmy usługowe....	151
10	PROGNOZA WYPADKOWOŚCI OPARTA NA WSKAŹNIKU CZĘSTOŚCI WYPADKÓW OGÓLEM NA 1000 ZATRUDNIONYCH W_z	156
10.1.	Prognoza wypadkowości w KWK „Mysłowice-Wesola” oparta na wskaźniku W_z	156
10.2.	Prognoza wypadkowości w KWK „Budryk” oparta na wskaźniku W_z	164
10.3.	Prognoza wypadkowości w ZG „Brzeszcze” oparta na wskaźniku W_z	170
11	WNIOSKI.....	177
	LITERATURA.....	184
	STRESZCZENIE.....	194
	SUMMARY.....	199
	Załącznik 1. Zestawienie sumaryczne danych o wypadkowości dla załogi własnej i firm usługowych w rozważanych kopalniach	204
	Załącznik 2. Pliki z wynikami modelowania w programie Excel.....	206

Wykaz oznaczeń

symbole łacińskie

- a - współczynnik kierunkowy w równaniu liniowym,
- b - wyraz wolny w równaniu liniowym,
- C_D - wskaźnik ciężkości wypadków na 1000 roboczodniówek,
- C_W - wskaźnik ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego,
- D - liczba roboczodniówek (dniówek roboczych),
- D_N, D_S - liczba dni niezdolności do pracy (dniówek straconych),
- F - statyka F (test Fishera-Snedecora),
- F_t - wygładzona ocena poziomu (wartości średniej) na moment lub czas t ,
- G - liczba roboczogodzin (godzin roboczych),
- G_t - operator wygładzania pierwszego rzędu na moment lub czas t ,
- H_t - operator wygładzania drugiego rzędu na moment lub czas t ,
- k - stała wygładzania, czyli liczba ostatnich wyrazów szeregu czasowego brana pod uwagę do obliczania wartości średniej,
- k - liczba zmiennych objaśniających,
- l - stała wygładzania prognozy,
- M_t - operator wygładzania trzeciego rzędu na moment lub czas t ,
- n - liczba elementów szeregu czasowego (długość szeregu czasowego),
- n - współczynnik korygujący liczebność zbiorowości,
- N - liczebność całej zbiorowości,
- N_1 - liczebność zbiorowości nr 1,
- N_2 - liczebność zbiorowości nr 2,
- N_b - liczebność zbiorowości w okresie analizy,
- N_i - liczebność poszczególnych części zbiorowości,
- N_o - liczebność zbiorowości w okresie odniesienia,
- N_t - wygładzona ocena nieliniowego przyrostu tendencji rozwojowej w szeregu czasowym na moment lub czas t ,
- m - liczba początkowych okresów lub chwil czasu t , dla których nie zrealizowano prognozy wygasłej lub prognoza ta jest efektem mechanizmu rozruchowego,
- P - wielkość wytworzonej masy produkcji, Mg
- R - współczynnik korelacji Pearsona,

- R^2 - współczynnik determinacji
- $RMSE^*$ - (Root Mean Square Error) pierwiastek kwadratowy obliczany ze średniego kwadratowego błędu prognoz pozornych,
- s - odchylenie standardowe zmiennej prognozowanej y ,
- S - suma kwadratów odchyleń prostej regresji od współrzędnych y_t
- S_a - błąd średni szacunku ocen parametru a funkcji regresji,
- S_b - błąd średni szacunku ocen parametru b funkcji regresji,
- S_t - wygładzona ocena tendencji rozwojowej w szeregu czasowym na moment lub czas t ,
- S_u - odchylenie standardowe składnika resztowego,
- tS - statystyka testowa t Studenta
- t - czas lub rok w prognozie *ex-post*,
- \bar{t} - średnia arytmetyczna wartość czasu w prognozie liniowej,
- T - czas lub rok w prognozie *ex-ante*,
- T - liczba Mg węgla wzbogaconego (handlowego),
- V_u - współczynnik zmienności resztowej,
- V_z - współczynnik zmienności ($0 \leq V_z \leq 1$),
- $w_{i-T+k+1}$ - waga nadana przez prognozę wartości zmiennej prognozowanej w momencie lub czasie i , $\sum_{i=1}^k w_i = 1$,
- W - liczba poszkodowanych w wypadkach ogółem,
- W_C - liczba poszkodowanych w wypadkach ciężkich,
- W_D - wskaźnik częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek,
- W_G - wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1 mln roboczogodzin,
- W_P - wskaźnik częstości wypadków na 1 mln wytworzonej masy produkcji,
- W_R - wskaźnik ryzyka wypadków,
- W_S - liczba poszkodowanych w wypadkach śmiertelnych,
- W_T - wskaźnik częstości wypadków na 1 mln Mg (ton) wydobywania,
- W_{US} - wskaźnik uogólniony strat,
- W_Z - wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych,
- W_{ZC} - wskaźnik częstości wypadków ciężkich na 100 tys. zatrudnionych,
- W_{ZS} - wskaźnik częstości wypadków śmiertelnych na 100 tys. zatrudnionych,
- WD - wskaźnik dynamiki,
- WN - wskaźnik natężenia,
- WS - wskaźnik struktury,

- y - zmienna prognozowana,
- \bar{y} - średnia arytmetyczna wartość szeregu czasowego,
- y_i - wartość zmiennej y dla momentu lub czasu i ($i = T-k, \dots, T-1$),
- y_t - wartość szeregu czasowego (wartość zmiennej prognozowanej dla chwili lub okresu t),
- y_t^* - wartość prognozy wygasłej ($1 < t < n$),
- y_T - realizacja zmiennej y_t w czasie $T > n$, np. $T = n + 1$,
- y_{T-1} - wartość zmiennej y dla momentu lub czasu $T-1$ (czyli okresu n),
- y_T^* - prognoza zmiennej y_t w czasie $n < T < \tau$,
- Z - liczba zatrudnionych (pracujących, ubezpieczonych),

symbole greckie

- α - parametr wygładzania poziomu zmiennej prognozowanej o wartościach z przedziału $(0,1]$,
- α - przyjęty poziom istotności korelacji,
- β_i - waga nadana i -tej ocenie wartości wygładzonej lub parametr wygładzania przyrostu spowodowanego tendencją rozwojową o wartościach z przedziału $(0,1]$,
- δ_j - waga nadana przyrostowi ocen wartości wygładzonej,
- τ - ostatnia chwila lub czas, dla którego realizuje się prognozę,
- φ^2 - współczynnik zbieżności,
- Φ - parametr wygaszania trendu o wartościach z przedziału $(0,1]$,
- Ψ - średnia wartość względnego błędu prognoz wygasłych.

Spis rysunków

Rys. 6.1.	Schemat postępowania prognostycznego (<i>Gajdzik i Szymuszal 2016</i>).	64
Rys. 6.2.	Stosowane oznaczenia w modelach prognostycznych (<i>Gajdzik i Szymuszal 2016</i>).	64
Rys. 8.1.1.	Wskaźnik częstości wypadków W_Z , W_D , W_T i C_W dla załogi własnej KWK „Mysłowice – Wesola”.	90
Rys. 8.1.2.	Wskaźnik częstości wypadków W_Z i W_D dla firm usługowych KWK „Mysłowice – Wesola”.	91
Rys. 8.1.3.	Wskaźnik częstości wypadków W_Z dla KWK „Mysłowice – Wesola”.	91
Rys. 8.2.1.	Wskaźnik częstości wypadków W_Z , W_D , W_T i C_W dla załogi własnej KWK „Budryk”.	97
Rys. 8.2.2.	Wskaźnik częstości wypadków W_Z i W_D dla firm usługowych KWK „Budryk”.	97
Rys. 8.2.3.	Wskaźnik częstości wypadków W_Z dla KWK „Budryk”.	98
Rys. 8.3.1.	Wskaźnik częstości wypadków W_Z , W_D , W_T i C_W dla załogi własnej ZG „Brzeszcze”.	103
Rys. 8.3.2.	Wskaźnik częstości wypadków W_Z i W_D dla firm usługowych ZG „Brzeszcze”.	104
Rys. 8.3.3.	Wskaźnik częstości wypadków W_Z dla ZG „Brzeszcze”.	104
Rys. 8.3.4.	Porównanie wskaźników W_Z dla wytypowanych kopalń.	105
Rys. 9.1.1.	Prognoza oparta na modelu metody naiwnej w ujęciu addytywnym (KWK „Mysłowice-Wesola” – załoga własna).	108
Rys. 9.1.2.	Prognoza oparta na modelu metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym (KWK „Mysłowice-Wesola” – załoga własna)	108
Rys. 9.1.3.	Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej zwykłej (KWK „Mysłowice-Wesola” – załoga własna).	109
Rys. 9.1.4.	Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej $k = 2$ (KWK „Mysłowice-Wesola” – załoga własna).	109
Rys. 9.1.5.	Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej $k = 3$ (KWK „Mysłowice-Wesola” – załoga własna).	110
Rys. 9.1.6.	Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej ważonej szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej $k = 3$ (KWK „Mysłowice-Wesola” – załoga własna).	110
Rys. 9.1.7.	Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół tendencji rozwojowej $k = 2$ (KWK „Mysłowice-Wesola” – załoga własna).	111
Rys. 9.1.8.	Prognoza oparta na model średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół tendencji rozwojowej $k = 2$ (KWK „Mysłowice-Wesola” – załoga własna).	111
Rys. 9.1.9.	Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół tendencji rozwojowej $k = 3$ (KWK „Mysłowice-Wesola” – załoga własna).	112
Rys. 9.1.10.	Prognoza oparta na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesola” – załoga własna).	112

Rys. 9.1.11.	Prognoza oparta na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = \text{średnia pierwszych sześciu wartości empirycznych}$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	113
Rys. 9.1.12.	Prognoza oparta na modelu pojedynczego wygładzania wykładniczego (Brown) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	114
Rys. 9.1.13.	Prognoza oparta na modelu wykładniczo-autoregresyjnym ($k = 3$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	115
Rys. 9.1.14.	Prognoza oparta na modelu wykładniczo-autoregresyjnym ($k = 2$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	115
Rys. 9.1.15.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z trendem addytywnym (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	116
Rys. 9.1.16.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z trendem addytywnym (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	116
Rys. 9.1.17.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z trendem multiplikatywnym (rozruch: $S_1 = y_2/y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	117
Rys. 9.1.18.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z trendem multiplikatywnym (rozruch: $S_1 = 1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	118
Rys. 9.1.19.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	118
Rys. 9.1.20.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	119
Rys. 9.1.21.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego (rozruch: $S_1 = y_2/y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	119
Rys. 9.1.22.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego (rozruch: $S_1 = 1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	120
Rys. 9.1.23.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	120
Rys. 9.1.24.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	121
Rys. 9.1.25.	Prognoza oparta na metodzie podwójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu liniowego (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	122
Rys. 9.1.26.	Prognoza oparta na metodzie potrójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu liniowego (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	122
Rys. 9.1.27.	Prognoza oparta na zaawansowanym modelu wykładniczo-autoregresyjnym (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	123
Rys. 9.1.28.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	124
Rys. 9.1.29.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych	124

	empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	
Rys. 9.1.30.	Prognoza oparta na modelu liniowym (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	125
Rys. 9.1.31.	Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durбина-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2016 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	126
Rys. 9.1.32.	Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durбина-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	127
Rys. 9.1.33.	Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2016 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	127
Rys. 9.1.34.	Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	128
Rys. 9.1.35.	Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,2) szeregu czasowego 2007-2016 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	128
Rys. 9.1.36.	Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,4) szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	129
Rys. 9.1.37.	Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(4) szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna).	129
Rys. 9.1.38.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe).	132
Rys. 9.1.39.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe).	132
Rys. 9.1.40.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe).	133
Rys. 9.1.41.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmoniczných dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe).	134
Rys. 9.1.42.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmoniczných dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe).	134
Rys. 9.2.1.	Prognoza oparta na modelu metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym (KWK „Budryk” – załoga własna).	137
Rys. 9.2.2.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Budryk” – załoga własna).	137
Rys. 9.2.3.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Budryk” – załoga własna).	138
Rys. 9.2.4.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmoniczných dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Budryk” – załoga własna).	138

Rys. 9.2.5.	Prognoza oparta na flagach kategorii z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Budryk” – załoga własna).	139
Rys. 9.2.6.	Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durбина-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” – załoga własna).	140
Rys. 9.2.7.	Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” – załoga własna).	140
Rys. 9.2.8.	Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,3,4,5) szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” – załoga własna).	141
Rys. 9.2.9.	Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej $k = 2$ (KWK „Budryk” – firmy usługowe).	143
Rys. 9.2.10.	Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej $k = 3$ (KWK „Budryk” – firmy usługowe).	143
Rys. 9.2.11.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (KWK „Budryk” – firmy usługowe).	144
Rys. 9.2.12.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Budryk” – firmy usługowe).	144
Rys. 9.2.13.	Prognoza oparta na modelu nieliniowym linearyzowanym - wykładniczym (KWK „Budryk” – firmy usługowe).	145
Rys. 9.3.1.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (ZG „Brzeszcze” – załoga własna).	147
Rys. 9.3.2.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (ZG „Brzeszcze” – załoga własna).	147
Rys. 9.3.3.	Prognoza oparta na modelu nieliniowym linearyzowanym - wykładniczym (KWK „Brzeszcze” – załoga własna).	148
Rys. 9.3.4.	Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durбина-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” – załoga własna).	149
Rys. 9.3.5.	Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” – załoga własna).	149
Rys. 9.3.6.	Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,3,4,5) szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Brzeszcze” – załoga własna).	150
Rys. 9.3.7.	Prognoza oparta na modelu pojedynczego wygładzania wykładniczego (Browna) (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe).	152
Rys. 9.3.8.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z trendem multiplikatywnym (rozruch: $S_1 = 1$) (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe).	152
Rys. 9.3.9.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe).	153
Rys. 9.3.10.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe).	153

Rys. 9.3.11.	Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durbina-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe).	154
Rys. 9.3.12.	Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe).	154
Rys. 9.3.13.	Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,3) szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe).	155
Rys. 10.1.1.	Prognoza oparta na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	158
Rys. 10.1.2.	Prognoza oparta na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* =$ średnia pierwszych sześciu wartości empirycznych) (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	158
Rys. 10.1.3.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	159
Rys. 10.1.4.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	160
Rys. 10.1.5.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	160
Rys. 10.1.6.	Prognoza oparta na modelu liniowym (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	161
Rys. 10.1.7.	Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durbina-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	162
Rys. 10.1.8.	Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	162
Rys. 10.1.9.	Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,2) szeregu czasowego 2007-2016 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	163
Rys. 10.1.10.	Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,2) szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	163

Rys. 10.2.1.	Prognoza oparta na modelu pojedynczego wykładniczego (Browna) (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	165
Rys. 10.2.2.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	165
Rys. 10.2.3.	Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	166
Rys. 10.2.4.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmoniczných dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	167
Rys. 10.2.5.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmoniczných dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	167
Rys. 10.2.6.	Prognoza oparta na flagach kategorii z wykorzystaniem metody wag harmoniczných dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	168
Rys. 10.2.7.	Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durбина-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	169
Rys. 10.2.8.	Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	169
Rys. 10.2.9.	Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,3,4) szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	170
Rys. 10.3.1.	Prognoza oparta na modelu wykładniczo-autoregresyjnym ($k = 3$) (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	172
Rys. 10.3.2.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmoniczných dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	172
Rys. 10.3.3.	Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmoniczných dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	173
Rys. 10.3.4.	Prognoza oparta na flagach kategorii z wykorzystaniem metody wag harmoniczných dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz).	173
Rys. 10.3.5.	Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durбина-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r.	174

- (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_z).
- Rys. 10.3.6. Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_z). 175
- Rys. 10.3.7. Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,2,3,4) szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_z). 175

Spis tablic

Tablica 3.1.	Kategorie ryzyka w sekcji górnictwo i wydobywanie (opracowanie własne na podstawie załącznika nr 2 do <i>rozporządzenia 2002a</i>)	31
Tablica 8.1.1.	Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, KWK „Mysłowice – Wesoła” – załoga własna (<i>WUG 2007-2018</i>).	86
Tablica 8.1.2.	Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, KWK „Mysłowice – Wesoła” – firmy usługowe (<i>WUG 2007-2018</i>).	87
Tablica 8.1.3.	Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna i firmy usługowe (<i>WUG 2007-2018</i>).	204
Tablica 8.1.4.	Wskaźniki wypadków (KWK „Mysłowice – Wesoła” – załoga własna).	89
Tablica 8.1.5.	Wskaźniki wypadków (KWK „Mysłowice – Wesoła” – firmy usługowe).	90
Tablica 8.2.1.	Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, KWK „Budryk” – załoga własna (<i>WUG 2007-2018</i>).	93
Tablica 8.2.2.	Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, KWK „Budryk” – firmy usługowe (<i>WUG 2007-2018</i>).	94
Tablica 8.2.3.	Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, KWK „Budryk” załoga własna i firmy usługowe (<i>WUG 2007-2018</i>).	204
Tablica 8.2.4.	Wskaźniki wypadków (KWK „Budryk” – załoga własna).	95
Tablica 8.2.5.	Wskaźniki wypadków (KWK „Budryk” – firmy usługowe).	96
Tablica 8.3.1.	Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, ZG „Brzeszcze” – załoga własna (<i>WUG 2007-2018</i>).	99
Tablica 8.3.2.	Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe (<i>WUG 2007-2018</i>).	100
Tablica 8.3.3.	Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, ZG „Brzeszcze” załoga własna i firmy usługowe (<i>WUG 2007-2018</i>).	205
Tablica 8.3.4.	Wskaźniki wypadków (ZG „Brzeszcze” – załoga własna).	101
Tablica 8.3.5.	Wskaźniki wypadków (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe).	102
Tablica 9.1.1.	Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Mysłowice – Wesoła” – załoga własna)	130
Tablica 9.1.2.	Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe).	131
Tablica 9.2.1.	Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Budryk” – załoga własna).	136
Tablica 9.2.2.	Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Budryk” – firmy usługowe).	142
Tablica 9.3.1.	Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (ZG „Brzeszcze” – załoga własna).	146
Tablica 9.3.2.	Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe).	151

Tablica 10.1.1.	Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – <i>wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz</i>).	157
Tablica 10.2.1.	Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Budryk” załoga własna – <i>wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz</i>).	164
Tablica 10.3.1.	Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (ZG „Brzeszcze” załoga własna – <i>wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz</i>).	171

1. WSTĘP

Międzynarodowa Organizacja Pracy szacuje, że co roku na świecie dochodzi do 317 milionów wypadków przy pracy, w tym ok. 350000 wypadków śmiertelnych. Łącznie w wyniku wypadków przy pracy i chorób związanych z wykonywaną pracą notuje się ponad 2,3 miliona zgonów rocznie (*ILO 2019*). W Polsce tylko w 2017 roku Główny Urząd Statystyczny zarejestrował 88330 wypadków przy pracy, z czego 269 ze skutkiem śmiertelnym, a 661 ciężkimi obrażeniami ciała (*GUS 2018*).

Polska jest jednym z największych producentów węgla kamiennego w Europie ($63 \cdot 10^6$ Mg w 2018 roku), co stanowi ok. 1% wydobycia światowego i 83,5% wydobycia w Unii Europejskiej, a zatrudnienie wynosi ok. 76 697 osób (*EURACOAL 2019*).

Na przestrzeni ostatnich 29 lat (1990 – 2018) zanotowano wyraźny spadek liczby wypadków, co wiąże się między innymi ze zmniejszeniem wydobycia węgla i zatrudnienia w kopalniach oraz procesami restrukturyzacyjnymi. W 1990 roku liczba wypadków ogółem wynosiła 16515, w 2000 roku liczba ta spadła do 2756, a w 2018 roku do 1686. Liczba wypadków śmiertelnych w tym czasie zmalała prawie siedmiokrotnie, a wypadków ciężkich sześciokrotnie. Wartości wskaźnika częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych w górnictwie węgla kamiennego w latach 2007-2017 mieściły się w zakresie 13,5 – 20,5, natomiast wartości wskaźnika częstości wypadków ogółem na 10^6 Mg wydobycia w przedziale 22,5 – 36,2 (*WUG 1990-2018*).

W oparciu o dane Głównego Urzędu Statystycznego oraz na podstawie analizy bezwzględnej i wskaźnikowej wypadków stwierdzono, że „górnictwo” znajduje się w grupie podwyższonego ryzyka wypadków przy pracy wraz „budownictwem” oraz „rolnictwem, leśnictwem, łowiectwem i rybołówstwem”. Szczególną cechą branży górniczej są natomiast wypadki zbiorowe i katastrofy. W wyniku tych zdarzeń, w rozważanym okresie lat 2009 – 2018, najwięcej wypadków śmiertelnych (24 osoby) miało miejsce w 2009 roku, wypadków ciężkich (29 poszkodowanych) również w tym samym roku, a wypadków lekkich (86 poszkodowanych) w 2013 roku (*GUS 2009-2018*).

W latach 2009 – 2018 najwięcej wypadków śmiertelnych i ciężkich dotyczyło pracowników o stażu pracy mniejszym niż 5 lat (ok. 32%) oraz o stażu pracy powyżej 20 lat (ok. 37%). Wypadkom śmiertelnym i ciężkim ulegali głównie pracownicy w przedziale wiekowym 41-45 lat, co stanowiło ok. 22% wszystkich wypadków śmiertelnych oraz ciężkich, zaistniałych w tym okresie w kopalniach (*WUG 1990-2018*).

Zawód górnika jest jedną z najbardziej niebezpiecznych profesji, a kopalnie węgla kamiennego mają bardzo wysokie wartości wskaźników wypadkowości, np. w latach 2009 - 2013 średnia wartość wskaźnika częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych była w przypadku górnictwa 2,07 razy większa od wartości wskaźnika dotyczącego całej Polski (*Krause 2015*).

Pomimo, że w kopalniach węgla kamiennego uzyskano pewną stabilizację poziomu bezpieczeństwa, okresowo pojawiają się zdarzenia o charakterze katastrof górniczych, np. wybuch pyłu węglowego (KWK JAS-MOS, 2002 rok, 12 ofiar katastrofy, w tym 10 ofiar śmiertelnych), wybuch metanu i pyłu węglowego (KWK Halemba, 2006 rok, 23 ofiar katastrofy, w tym 23 ofiary śmiertelne), wybuch metanu (KWK Wujek, 2009 rok, 54 ofiar katastrofy, w tym 20 ofiar śmiertelnych), wybuch metanu (KWK Mysłowice-Wesoła, 2014 rok, 30 ofiar katastrofy, w tym 5 ofiar śmiertelnych).

Głównymi przyczynami wypadków śmiertelnych i ciężkich w polskim górnictwie w okresie lat 2002 - 2018 były: zapłon metanu, oberwanie się skał ze stropu i ociosów, brak ostrożności przy wykonywaniu prac w pobliżu przenośników taśmowych będących w ruchu, przebywanie w strefie zabronionej podczas pracujących maszyn i urządzeń, jazda przenośnikiem taśmowym nieprzystosowanym do przewozu ludzi, niewłaściwa organizacja pracy, nieprawidłowe wykonywanie robót strzałowych, nieprzestrzeganie technologii prowadzenia robót, tąpnięcia, zwarcie instalacji elektrycznej oraz praca pod wpływem alkoholu. W wyżej wymienionych przypadkach czynnik ludzki miał znaczący wpływ na ich zaistnienie poza zagrożeniami naturalnymi jak: metan, tąpnięcia i pył węglowy.

Najwyższe wartości wskaźnika częstości ujmującego wypadki śmiertelne na 10⁶ Mg wydobywania węgla stwierdzono w latach 2006 i 2009 (wynosiły one odpowiednio 0,48 i 0,46), natomiast najniższą wartość (0,11) odnotowano w 2004 roku. W odniesieniu do wypadków ciężkich dominujący jest 2009 rok, w którym wskaźnik ten wyniósł 0,56. Najmniejszą jego wartość 0,10 odnotowano natomiast w 2015 roku (*Gil i inni 2017*).

Ciekawego porównania tego wskaźnika dokonano (*Koteras i inni 2015*) analizując dane z lat 2009 – 2013. Pod uwagę wzięto największych producentów węgla z Ameryki, Azji i Europy: USA, Chiny i Polskę. Z opracowania wynika, że wskaźnik częstości wypadków śmiertelnych w odniesieniu do wydobywania węgla w Stanach Zjednoczonych jest stabilny i utrzymuje się na bardzo niskim poziomie (0,02 – 0,05), natomiast w przypadku pozostałych dwóch krajów wskaźnik ten jest relatywnie wysoki (Chiny w zakresie 0,29 – 0,88, Polska 0,17 – 0,45). Należy jednak zauważyć, że widoczny jest systematyczny spadek wartości tego wskaźnika

w tych krajach, co wskazuje na wyraźną poprawę bezpieczeństwa pracy. W przypadku Chin potwierdzają to badania przeprowadzone na przestrzeni dziesięciu lat (2001 – 2010). Wskaźnik częstości wypadków śmiertelnych na 10⁶ Mg wydobywania w 2001 roku. wyniósł 5,07, a w roku 2010 zmalał ok. siedmiokrotnie do wartości 0,76 (*Chen i inni 2012, Geng i Saleh 2015*). Badania przeprowadzone w USA pokazują, że w latach 1995-2005 wypadki śmiertelne wśród górników o stażu mniejszym niż pięć lat stanowiły 44% wszystkich wypadków śmiertelnych zaistniałych w górnictwie (*Kowalski-Trakofler i inni 2005, Laurence 2005, Kecojevic i inni 2007*). Liczba wypadków ciężkich w kopalniach węgla w Chinach i liczba ofiar śmiertelnych w tych wypadkach w rozważanym okresie systematycznie spadała (*Chen i inni 2012*).

Bezpieczeństwo i higiena pracy determinuje czynniki decydujące o rozwoju każdej aktywności gospodarczej, gdyż istnieje ścisły związek pomiędzy działalnością człowieka i potrzebą zachowania bezpieczeństwa. W oparciu o art. 236 Kodeksu pracy (*Ustawa 1974 ze zm.*) każdy pracodawca zobowiązany jest do systematycznej analizy przyczyn wypadków przy pracy i do stosowania na jej podstawie właściwych środków zapobiegawczych. Aktualnie żaden akt prawny czy norma techniczna nie określają metodyki analizy statystyki wypadków przy pracy. Podstawowym celem analizy wypadkowości jest profilaktyka przyczyn i skutków zagrożeń. Powinna ona obejmować aktualną sytuację w zakresie wypadkowości w zakładzie pracy, rodzaj prac, technologii i stanowisk o szczególnym zagrożeniu wypadkowym oraz zakres działań zmierzających do usunięcia tych zagrożeń. Przy sporządzaniu analizy wypadków należy zwrócić szczególną uwagę na kryteria pozwalające ustalić przyczynę danego wypadku oraz określić czynniki mające największy wpływ na wzrost wypadkowości. Poszczególne kryteria pozwalają m.in. na obliczenie wskaźników częstości i ciężkości wypadków. Do dokonania analizy wypadkowości niezbędne są informacje o liczbie wypadków w okresie sprawozdawczym, średnim zatrudnieniu w tym okresie, liczbie dni niezdolności do pracy spowodowanej wypadkami i liczbie wypadków śmiertelnych, ciężkich oraz zbiorowych. Biorąc pod uwagę powtarzalność przyczyn wypadków, ważne są takie kryteria jak: miejsce powstania wypadku czy niebezpieczne wydarzenie.

Przewidywanie liczby wypadków można modelować na podstawie ilościowych metod prognostycznych, które pozwalają ustalić przebieg zjawiska w określonym czasie, a rezultaty prognoz umożliwiają rozpoznanie możliwych scenariuszy w przyszłości i wybór rozwiązania optymalnego (*Strategor 2001*). Przy budowie prognoz wypadków wykorzystano modele ekonometryczne (liniowe, nieliniowe) oraz adaptacyjne modele autokorelacyjne. W celu wyznaczenia poziomu dopuszczalności przyjętych metod prognostycznych i wyboru najlepszych

dokonuje się oszacowania dwóch najczęściej wyznaczanych błędów prognoz wygasłych (*ex-post*):

- średniej wartości względnego błędu prognoz wygasłych, która informuje o części błędu bezwzględnego przypadającego na jednostkę rzeczywistej wartości zmiennej;
- pierwiastka kwadratowego, obliczonego ze średniego kwadratowego błędu prognoz pozornych, który informuje o przeciętnych odchyleniach prognoz od wartości rzeczywistych w przedziale weryfikacji prognoz.

Optymalizacja wartości prognozy opiera się na poszukiwaniu minimalnej wartości jednego z wyżej wymienionych błędów, przyjętego jako jej kryterium (*Czyżycki i Klóska 2011, Welfe 2009, Witkowska 2005*).

Na podstawie danych statystycznych o wypadkowości, dotyczących trzech wybranych - reprezentatywnych kopalń węgla kamiennego (o złożonej i prostej strukturze, mających za sobą intensywne i mniejsze przekształcenia własnościowe), udostępnionych przez Wyższy Urząd Górniczy za lata 2007-2018 (*WUG 2007 - 2018*) oraz danych z publikacji Centralnego Ośrodka Informatyki Górnictwa za lata 2007-2016 (*COIG 2007 - 2016*) o wypadkowości w wybranych kopalniach, przy zastosowaniu wybranych modeli ekonometrycznych, przedstawiono sposób budowy krótkoterminowej prognozy liczby wypadków w górnictwie węgla kamiennego.

2. OPIS WYTYPOWANYCH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

Według danych Wyższego Urzędu Górniczego na dzień 31.12.2019 r. (*WUG 1990-2018*) w Polsce funkcjonuje 20 kopalń wydobywających węgiel kamienny i prowadzących wydobywanie na 30 ruchach oraz 16 kopalń węgla kamiennego w likwidacji (wszystkie podległe Spółce Restrukturyzacji Kopalń S.A.).

Struktura górnictwa węgla kamiennego w Polsce w aktualnym stanie przedstawia się następująco:

- a) Polska Grupa Górnicza S.A. (8 kopalń): KWK ROW, KWK Ruda, KWK Piast-Ziemowit, KWK Bolesław Śmiały, KWK Sośnica, KWK Murcki-Staszic, **KWK Myslowice-Wesoła**, KWK Wujek;
- b) Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. (4 kopalnie): KWK Borynia-Zofiówka-Jastrzębie, **KWK Budryk**, KWK Knurów-Szczygłowice, KWK Pniówek;
- c) Tauron Wydobywanie S.A. (3 kopalnie): ZG Sobieski, ZG Janina, **ZG Brzeszcze**;
- d) pozostałe przedsiębiorstwa górnicze (5 kopalń): Węglukoks Kraj Sp. z o.o. KWK Bobrek-Piekary, Lubelski Węgiel Bogdanka S.A., Przedsiębiorstwo Górnicze Silesia Sp. z o.o., Zakład Górniczy Siltech, Zakład Górniczy Eko-Plus.

Spośród aktualnie funkcjonujących kopalń węgla kamiennego, analizą i prognozą wypadkowości starano się objąć reprezentantów największych przedsiębiorstw górniczych (Polska Grupa Górnicza S.A., Jastrzębska Spółka Węglowa S.A., Tauron Wydobywanie S.A.), kopalnie o złożonej i prostej strukturze (wieloruchowe i jednoruchowe), zakłady mające za sobą intensywne i mniejsze przekształcenia własnościowe.

Do badań wytypowano trzy kopalnie węgla kamiennego:

- e) KWK Myslowice-Wesoła - wchodząca w skład Polskiej Grupy Górniczej S.A., największego producenta węgla kamiennego w Polsce i Europie (powstała m.in. z połączenia Kompanii Węglowej S.A. i Katowickiego Holdingu Węglowego S.A.); aktualnie kopalnia jednoruchowa z dużym nasileniem zagrożeń naturalnych;
- f) KWK Budryk - przedstawiciel Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A., największego producenta węgla energetycznego w Polsce i Europie, posiada typowy model nowej kopalni jednoruchowej, najmłodsza nowa kopalnia w Polsce (budowana w latach 1978-1994), kopalnia nowoczesna i rozwojowa z dużym nasileniem zagrożeń naturalnych;
- g) ZG Brzeszcze - wchodząca w skład Tauron Wydobywanie S.A., koncernu energetyczno-górniczego; duże przekształcenia restrukturyzacyjne (m.in. samodzielna kopalnia,

Nadwiślańska Spółka Węglowa S.A., Kompania Węglowa S.A., kopalnia w likwidacji), kopalnia określana jako nowoczesna i rozwojowa (poziom 900 m w budowie), aktualnie kopalnia jednoruchowa z dużym nasileniem zagrożeń naturalnych.

2.1. Opis KWK „Mysłowice – Wesola”

Historia zorganizowanego górnictwa na terenie kopalni „Mysłowice” sięga 1837 roku, a na terenie kopalni „Wesola” roku 1914. Pod nazwą KWK „Mysłowice” kopalnia działała od 1951 roku, a w 1952 roku uruchomiono KWK „Wesola”. W 1993 roku KWK „Mysłowice” i KWK „Wesola” weszły w skład 11 kopalń tworzących Katowicki Holding Węglowy S.A. 1 stycznia 2007 roku nastąpiło połączenie kopalń i od tej pory zakład funkcjonuje pod nazwą: KWK „Mysłowice - Wesola” w Mysłowicach. 1 czerwca 2015 część ruchu "Mysłowice" została przekazana do Spółki Restrukturyzacji Kopalń, a 1 kwietnia 2017 roku KWK „Mysłowice - Wesola” weszła w skład Polskiej Grupy Górniczej S.A (*pgg.pl 2019*).

Zakład Górniczy KWK „Mysłowice - Wesola” zlokalizowany jest na terenie miast: Katowice (26,11 km²), Mysłowice (12,65 km²) i Tychy (1,65 km²). Zasoby Oddziału KWK „Mysłowice-Wesola” wg. stanu na 31.12.2017 r. przedstawiają się następująco: zasoby bilansowe 736·10⁶ Mg, zasoby przemysłowe 306·10⁶ Mg, zasoby operatywne 148·10⁶ Mg (w roku 2018 wynosiły ok. 142·10⁶ Mg).

Złoże węgla kamiennego KWK „Mysłowice-Wesola” zalega w obrębie północnego skrzydła Niecki Głównej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Na obszarze złoża węgla rozpoznany jest profil karbonu o łącznej miąższości około 1230 m.

Wydobywany węgiel należy do węgla energetycznych typu 32, a jego wartość opałowa zawiera się w granicach 22 - 30 MJ/kg, Na terenie kopalni znajduje się siedem parceli wydobywczych: partia Aw - pokład 510, partia Az - pokład 416, 501, 510, partia B1 - pokład 510, partia B3 - pokład 510, partia C - pokład 510, partia Dw - pokład 510, partia S - pokład 349 (*pgg.pl 2019*).

Pomimo, że obydwie kopalnie przed formalnym połączeniem były już w pewien sposób połączone przede wszystkim wyrobiskami wentylacyjnymi, to jednak docelowa koncepcja modelu kopalni wymagała wykonania w stosunkowo krótkim czasie poważnych prac górniczych i mechanicznych. Między innymi zaprojektowano, zbudowano i uruchomiono niezależną podziemną trasę transportu urobku z Ruchu „Mysłowice” do Ruchu „Wesola”, zbudowano i uruchomiono nową nitkę odstawy z części wschodniej Ruchu „Wesola” oraz

umożliwiono transport urobku przenośnikami taśmowymi z poziomu 665 m na poziom 465 m – w sumie zbudowano i zmodernizowano blisko 10 km odstawy taśmowej. Dodatkowo wykonano szereg wyrobisk górniczych łączących obydwie ruchy kopalni w celu umożliwienia transportu urobku i materiałów oraz dla celów wentylacyjnych. Działaniom tym towarzyszyły intensywne prace w zakresie integracji systemów telekomunikacyjnych i energetycznych oraz modernizacja i rozbudowa infrastruktury podziemnej i powierzchniowej między innymi Zakładu Przeróbki Mechanicznej Węgla (*Utworzenie Centrum Wydobywczego 2008*).

Kopalnia eksploatuje 8 szybów z czego na Ruchu „Wesoła”: „Bronisław”, „Piotr”, „Karol (szyby wdechowe) oraz „Wacław” i „Wentylacyjny II” (szyby wydechowe), na Ruchu „Mysłowice”: „Wschodni I”, „Wschodni II” (szyby wdechowe) oraz „Południowy” (szyb wydechowy). W celu ograniczenia kosztów wydobywania, kopalnia prowadzi działania zmierzające do całkowitej likwidacji Ruchu „Mysłowice”. W roku 2007 w KWK „Mysłowice - Wesoła” zatrudnionych było 5700 osób, a w roku 2018 zatrudnienie zmalało do 3537 osób.

KWK „Mysłowice - Wesoła” jest kopalnią, w której występuje wiele zagrożeń naturalnych, takich jak: metanowe (IV kategoria), pożarowe (III – V grupa samozapalności), tąpnięciami (I, II stopień), wybuch pyłu węglowego (klasa B) i wodne (I, II, III stopień).

Roboty górnicze w pokładach 501 Az, 510 Aw oraz 510 B1 prowadzone są w warunkach jednoczesnego współwystępowania dwóch lub więcej zagrożeń naturalnych, tj. IV kategorii zagrożenia metanowego oraz II stopnia zagrożenia tąpnięciami. Dlatego też stosowane są systemy, które w sposób ciągły prowadzą monitoring występujących zagrożeń (*Opracowanie PGG 2018*).

Stan zagrożenia pożarowego w wyrobiskach eksploatacyjnych monitorowany jest czujnikami tlenu węgla (ACO – ok. 130 szt.) zabudowanymi w wyrobiskach doprowadzających i odprowadzających powietrze ze ścian.

Średnie temperatury na poszczególnych poziomach przedstawiają się następująco: na poziomie 465 m – 21,4 °C, na poziomie 665 m – 27,4 °C, a na poziomie 865 m – 33,5 °C. Temperatura pierwotna skał w partiach eksploatowanych kształtuje się w zakresie od 33,3 °C do 37,0 °C. Dla zapewnienia odpowiednich warunków klimatycznych w miejscach pracy załogi górniczej stosuje się: odpowiednie systemy przewietrzania wyrobisk, odpowiednią kolejność wybierania i prowadzenia robót górniczych, zwiększone ilości powietrza doprowadzane do miejsc pracy, lutniociągi oraz wysokowydajne wentylatory lutniowe dla przewietrzania drażnionych wyrobisk, wentylację tłoczącą lub kombinowaną oraz inne systemy.

W roku 2018 zgodnie z koncepcją likwidacji oznaczonej części zakładu górniczego KWK Mysłówice – Wesoła, przekazano do SRK S.A. zasoby (*Opracowanie PGG 2018*):

- złoża „Mysłówice” w ilości:
 - zasoby bilansowe 27 429 tys. Mg,
 - zasoby przemysłowe 22 004 tys. Mg,
 - zasoby operatywne 9 017 tys. Mg,
- części złoża „Wesoła” (tj. nieprodukcyjnej części partii D) w ilości:
 - zasoby bilansowe ok. 9 500 tys. ton (wartość wstępna, przybliżona).

Obecnie ruch „Wesoła” funkcjonuje w oparciu o podział złoża na funkcjonalne parcele wydobywcze, utworzone w oparciu o przebieg głównych uskoków geologicznych i granice obszaru górniczego tj. partie (pola): Aw, Az, B1, B3, C, Dz, Dw, D1 i S. Złoże „Wesoła” udostępnione jest szybami na ruchu „Wesoła”: „Bronisław”, „Piotr”, „Karol” (szyby wdechowe) oraz „Wacław” i „Wentylacyjny II” (szyby wydechowe), w oparciu o które funkcjonują poziomy: wentylacyjne 230 m i 575 m, wydobywco – transportowe 465 m, 665 m oraz będący w rozbudowie 865 m. Ponadto poziom 465 m jest połączony z poziomem 665 m w partii D „szybikiem międzypoziomym”, stanowiącym między innymi drogę wentylacyjną dla odprowadzenia powietrza z partii D i Aw do szybów wentylacyjnych przez poziom 465 m. Transport pionowy odbywa się głównie przy pomocy szybów: „Wacław”, „Piotr”, „Bronisław” i obsługuje przede wszystkim poziomy 465 m, 665 m i 865 m. Odstawa urobku realizowana jest przenośnikami zgrzeblowymi i taśmowymi do szybu wydobywczego „Karol”. Kopalnia dysponuje trzema głównymi nitkami transportowymi przenośników taśmowych umożliwiającymi niezależny transport urobku do szybu wydobywczego „Karol” na poziomach 465 m oraz 665 m (z partii Az i B, z partii Aw i z partii D). Podziemna struktura udostępnienia złoża ma charakter mieszany (kamiennie – węglowy) tj. główne wyrobiska przekopowe na poziomach pełniące funkcje transportowo – wentylacyjne są wykonane w kamieniu łącząc się z pochyłymi i poziomymi wyrobiskami węglowymi i węglowo – kamiennymi udostępniającymi bezpośrednio poszczególne parcele wydobywcze. Aktualny model kopalni pozwala na niezależne prowadzenie robót górniczych w pokładach: 510Aw, 510 B1, 510B3, 510Dw oraz 416Az i 501Az (przy uwzględnieniu koordynacji robót ze względu na zagrożenie tąpnięciami).

2.2. Opis KWK „Budryk”

Kopalnia Węgla Kamiennego „Budryk” to jedna z najmłodszych polskich kopalni węgla kamiennego. Znajduje się na terenie miejscowości Ornontowice w powiecie mikołowskim, w województwie śląskim.

W 1978 roku na podstawie rozporządzenia nr 33 Ministerstwa Górnictwa z dnia 14 listopada tego roku zostało utworzone przedsiębiorstwo państwowe pod nazwą Kopalnia Węgla Kamiennego "Budryk" w budowie. Uchwała nr 13/78 Rady Ministrów z dnia 15 września 1978 roku była aktem normatywnym zezwalającym na rozpoczęcie budowy kopalni. Założono uzyskanie docelowego wydobycia w 1991 roku.

Prace przy budowie kopalni rozpoczęto w 1979 roku. W miesiącu październiku rozpoczęto głębianie szybu III, natomiast w miesiącu listopadzie szybów I, II i VI. Zaakceptowano nową koncepcję modelu kopalni z terminem docelowego wydobycia w 1995 roku

Pole wydobywcze kopalni ma powierzchnię 35,97 km² i leży w centrum górnośląskiej niecki węglowej. Eksploatowane złoża znajdują się na terenie gmin Ornontowice i Gierałtówice oraz pod miastami Knurów, Czerwionka-Leszczyny i Mikołów. 21 marca 1994 kopalnia uzyskała ministerialną koncesję i tego samego roku podjęto wydobycie węgla kamiennego a także eksploatację metanu jako kopaliny towarzyszącej. Zasoby węgla, których wydobycie byłoby ekonomicznie opłacalne, szacuje się na ok. 235 milionów Mg, w 2007 roku wydobycie sięgało 14 tys. Mg na dobę. Kopalnia posiada pięć szybów w tym jeden wydobywczy. W 2015 roku zakończono pogłębianie szybu VI Chudów do 1290 m, przez co stał się on najgłębszym szybem w Polsce.

Obszar górniczy KWK "Budryk" to Ornontowice I - 35,97 km² oraz Ornontowice II - 4,63 km². Zasoby operatywne wynoszą 223,5 mln Mg. Typ produkowanego węgla to węgiel gazowo-koksowy typu 34,2. Wydobycie dobowe netto wynosi ok. 11 600 Mg. Kopalnia posiada 5 szybów, z czego 1 wydobywczy, 2 zjazdowo – materiałowe i 2 wentylacyjne. Kopalnia posiada jeden poziom wydobywczy (poziom 700) i trzy poziomy wentylacyjne (poziom: 900, 1050, 1290). Kopalnia ma 2 pokłady w eksploatacji o miąższości 1,65 - 2,3 m i nachyleniu 4° – 6°. Obszar kopalni graniczy z zakładami górniczymi: od południowego zachodu z byłą KWK „Dębieńsko”; od północnego zachodu z KWK „Knurów”, od północy z KWK „Sośnica – Makoszowy”; od wschodu z KWK „Bolesław Śmiały”, od południowego wschodu z KWK „Bielszowice”.

Zagrożeniami naturalnymi występującymi w KWK „Budryk” są: wybuchy pyłu węglowego, zagrożenie metanowe, wyrzuty gazów i skał, pożary, zagrożenia wodne i radiacja naturalna. Pokłady lub ich części zaliczone są do klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, a kopalnia zaliczona jest do metanowego zakładu górnictwa (wszystkie pokłady, w których prowadzone są roboty są zaliczone do określonej kategorii zagrożenia metanowego). Eksploatowane pokłady nie są zagrożone wyrzutami metanu i skał. Węgiel z obecnie eksploatowanych pokładów zakwalifikowany został do I, II i III grupy samozapalności. Złoże węgla kamiennego zostało zaliczone do I i II stopnia zagrożenia wodnego. Wyrobiska podziemne nie są zagrożone radiacyjnie naturalnymi substancjami promieniotwórczymi (*Przywarska 2013*).

2.3. Opis ZG „Brzeszcze”

W latach 1898 - 1901 dr Arnold Chaim de Porada Rapaport prowadził pierwsze wierceń w okolicach Kaniówka i Brzeszcz, a eksploatację rozpoczęto w 1907 roku. Na mocy rozporządzenia prezydenta RP z 17 marca 1927 r. gwarectwo „Brzeszcze” zostało przekształcone w przedsiębiorstwo skomercjalizowane, pod nazwą Państwowa Kopalnia Węgla Kamiennego „Brzeszcze”. Podczas II wojny światowej KWK „Brzeszcze” zostało przejęte przez koncern „Herman Goering”. Po wojnie kopalnia wznowiła produkcję, a wydobywanie węgla szybko zaczęło wzrastać osiągając w 1949 roku 1 177 tys. Mg. Od 1993 roku KWK „Brzeszcze” została jedną z ośmiu kopalń, które weszły w skład Nadwiślańskiej Spółki Węglowej, a w 2003 roku KWK weszła w skład grupy kopalń i zakładów Kompanii Węglowej. W 2005 roku KWK „Brzeszcze” połączyło się z kopalnią „Silesia” i zakład górnictwa przyjął nazwę KWK „Brzeszcze – Silesia”. W maju 2015 r. Zarządy Kompanii Węglowej S.A. oraz Spółki Restrukturyzacji Kopalń S.A. zawarły umowę, na mocy której przekazano KWK „Brzeszcze” do SRK. Zawiązana 31 lipca 2016 r. przez Tauron Polska Energia S.A. Spółka Nowe Brzeszcze Grupa Tauron Sp. z o.o. w dniu 31 grudnia 2015 r. nabyła od Spółki Restrukturyzacji Kopalń S.A. oznaczoną część Zakładu Górnictwa „Brzeszcze” jako zorganizowaną część przedsiębiorstwa i od dnia 1 stycznia 2016 r. rozpoczęła działalność związaną z wydobywaniem, wzbogacaniem i sprzedażą węgla kamiennego. W dniu 1 grudnia 2016 r. dokonano połączenia Tauron Wydobywanie S.A. z siedzibą w Jaworznie (jako Spółki Przejmującej) z Nowe Brzeszcze Grupa Tauron sp. z o.o. z siedzibą w Brzeszczach (jako Spółką Przejmowaną). W wyniku połączenia ZG „Brzeszcze”

stał się trzecim zakładem górniczym w spółce Tauron Wydobycie S.A (*Historia KWK „Brzeszcze” 2017*).

Tauron Wydobycie S.A. Zakład Górniczy „Brzeszcze” prowadzi działalność wydobywczą w granicach obszaru górniczego Brzeszcze II o powierzchni 26,9 km². Złoże węgla kamiennego Brzeszcze usytuowane jest na południowym skrzydle Niecki Głównej GZW. Obszar Górniczy „Brzeszcze” II zlokalizowany jest w obrębie Kotliny Oświęcimskiej (widły Wisły i Soły) na terenie dwóch województw: małopolskiego i śląskiego. Złoże węgla kamiennego Brzeszcze zostało udokumentowane do głębokości zalegania pokładu 510, tj. do głębokości około 1 150 m. ZG „Brzeszcze” posiada 56,5 mln Mg zasobów operatywnych węgla, przy czym prawie 42 % zlokalizowanych jest w najbardziej produktywnym pokładzie 510. W budowie geologicznej złoża udział biorą następujące formacje: czwartorzędu (holocen i plejstocen), neogenu (miocen) i karbonu produktywnego. Utwory czwartorzędu i trzeciorzędowe stanowią nadkład węglonośnych warstw karbońskich (*www.tauron-wydobycie 2019*).

Zakład Górniczy „Brzeszcze” eksploatuje złoże węgla kamiennego „Brzeszcze” w granicach obszaru górniczego „Brzeszcze II”. Eksploatacja prowadzona jest, a także projektowana, w północnej części OG „Brzeszcze II”. Część południowa została już wybrana (zlikwidowany Ruch II- Jawiszowice). Aktualnie w złożu znajduje się 5 pokładów przemysłowych; są to pokłady: 347, 352, 364, 405/1 i 510. Ich miąższości zawierają się w granicach 1,40 ÷ 7,50 m, a największe grubości osiągają pokłady 510 i 405/1. Pokłady przemysłowe cechują się wysokimi parametrami jakościowymi: wartość opałowa wynosi ok. 29000 kJ/kg, popiół – 10 %, siarka – 0,5%. Wiodącym jest pokład 510, w którym koncentrują się roboty eksploatacyjne i przygotowawcze. Stan zasobów przemysłowych operatywnych wynosi ok. 53,5·10⁶ Mg (stan na 31.12.2017 r.).

Złoże węgla kamiennego „Brzeszcze” udostępnione jest ośmioma szybami, przy czym pięć należy do ZG „Brzeszcze”, natomiast trzy zostały przekazane do Spółki Restrukturyzacji Kopalń S.A. w Bytomiu celem ich likwidacji.

Uzupełnienie struktury przestrzennej zakładu stanowią przekopy główne na poziomach 512 m, 640 m, 740 m i 900 m oraz przekopy oddziałowe. Przekopy główne połączone są z przekopami oddziałowymi chodnikami głównymi w poszczególnych pokładach lub przekopami kamiennymi. Z przekopów głównych i oddziałowych prowadzone są roboty rozcinające pokłady węgla. Struktura udostępnienia w ZG „Brzeszcze” to struktura mieszana

z przewagą struktury złożowej. Głównym poziomem wydobywczym kopalni jest poziom 640 m, natomiast poziom 900 m jest w budowie.

Model wydobywczy ZG „Brzeszcze” oparty jest na modelu dwuścianowym. Eksploatacja prowadzona jest systemem ścianowym z zawałem stropu w pokładach 364, 401, 405/1, 510, których miąższość zawiera się w przedziale 1,8 - 4,5 m. Roboty przygotowawcze realizowane są przez oddział własny GRP oraz firmy zewnętrzne.

Struktura udostępnienia w ZG Brzeszcze to struktura mieszana z przewagą struktury złożowej. Jest w pełni ukształtowana i będzie jeszcze uzupełniona, w ostatnim okresie istnienia kopalni, stosunkowo niewielkim zakresem robót udostępniających na poz. 900 oraz 1000 m. Umożliwi to praktycznie pełne wyczerpanie przemysłowych zasobów węgla oraz ewentualną eksploatację ścian w cienkich pokładach. Stare poziomy 109, 170, 230, 360 i 430 m aktualnie ograniczają się do podszybi i służą do głównego odwadniania kopalni.

Oprócz przekopów głównych na poszczególnych poziomach wykonane są przekopy oddziałowe. Przekopy główne połączone są z przekopami oddziałowymi chodnikami głównymi w poszczególnych pokładach lub przekopami kamiennymi. Z przekopów głównych i oddziałowych prowadzone są roboty rozcinające pokłady węgla.

Szyby usytuowane są praktycznie w jednej linii tj. północ-południe. Podobnie sieć przekopów głównych usytuowana jest również generalnie w linii północ-południe. Udostępniają one wszystkie pokłady węgla w rejonie zachodnim złoża Brzeszcze. Złoże udostępnione jest na następujących poziomach:

- poziom 512 m (-248,6 m n.p.m.) udostępnia pokłady 334 – 364, 401 – 416, 510; jest to poziom wentylacyjny;
- poziom 640 m (-378,0 m n.p.m.) udostępnia pokłady 334 – 510; jest to obecnie główny poziom wydobywczy kopalni;
- poziom 740 m (-478,0 m n.p.m.) udostępnia pokłady 334 – 510; jest to poziom pomocniczy dla poziomu 640m; wydobyte z piętra 740 – 900 m podawane jest na poz. 740 m, a następnie na poz. 640 m główną magistralą w pokładzie 364;
- poziom 900m (-640,3m n.p.m.) jest poziomem w budowie; udostępnia pokłady 510, 401 – 416, 352 – 364.

Głównym poziomem wydobywczym kopalni jest poziom 640 m, natomiast najgłębszym poziomem jest poziom 900 m.

Transport ludzi, maszyn i urządzeń realizowany jest szynowymi kolejkami podwieszanymi z własnym napędem spalinowym. Uzupełnienie stanowi kolej podziemną

torowa, która przy użyciu lokomotyw elektrycznych oraz kolejek spalinowych, realizuje transport maszyn i urządzeń między głównym szybem zjazdowo-materiałowym Andrzej VIII, a głównymi stacjami materiałowymi na poziomach.

Odstawa urobku z robót wydobywczych i przygotowawczych realizowana jest systemem przenośników taśmowych do zbiornika głównego na poz. 640 m, skąd urządzeniem skipowym zainstalowanym w szybie wydobywczym Andrzej V wydobywane jest na powierzchnię i dalej do Zakładu Przeróbki Mechanicznej Węgla. Tam po sortowaniu, dwustopniowej klasyfikacji wstępnej oraz wzbogacaniu w cieczy ciężkiej otrzymujemy produkt handlowy, który z zakładu trafia do odbiorcy głównie transportem kolejowym (*www.tauron-wydobycie 2019*).

Roboty górnicze w ZG „Brzeszcze” prowadzone są w warunkach skojarzonych zagrożeń naturalnych, przy dominującym zagrożeniu metanowym – IV kategoria zagrożenia metanowego. Pozostałe zagrożenia to:

- I stopień zagrożenia tapaniami (tylko pokład 510),
- klasa B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego,
- III - V grupa skłonności węgla do samozagrzewania,
- I i II stopień zagrożenia wodnego.

Wszystkie pokłady węgla w ZG „Brzeszcze” udostępnione robotami górniczymi w obrębie całego obszaru górniczego, wraz z drogami wentylacyjnymi należą do pokładów IV kategorii zagrożenia metanowego. Pokładami szczególnie silnie metanowymi są te, w bezpośrednim sąsiedztwie których występują pokłady towarzyszące pozabilansowe w warstwach stropowych i spągowych. W szczególności należą do nich pokłady: 352, 364, 405/1 i 510. Miejscami intensywnego wydzielania metanu są: strefy wylotów ścian, roboty przygotowawcze prowadzone w pokładach węgla, tamy izolacyjne izolujące silnie metanowe zroby, uskoki i zaburzenia geologiczne. Wydzielanie metanu w większym nasileniu występuje również w czasie gwałtownych zniżek barometrycznych, a także w czasie okresowych zawałów stropu zasadniczego w ścianach eksploatacyjnych. Dla każdej ściany prowadzona jest prognoza metanowości, uwzględniająca zmiany wydobycia, oraz określająca niezbędną profilaktykę metanową.

Wszystkie pokłady, w których roboty górnicze są prowadzone, zaliczone zostały do klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. Do klasy A zagrożenia wybuchem pyłu węglowego zaliczono wybrane wyrobiska na wszystkich poziomach zgodnie z Zarządzeniami Kierownika Ruchu ZG „Brzeszcze”.

ZG „Brzeszcze” prowadzi eksploatację pokładu 510, który został zaliczony przez Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego do pierwszego stopnia zagrożenia tąpnięciami. Roboty górnicze w tym pokładzie prowadzone są zgodnie z kompleksowym projektem eksploatacji, który został pozytywnie zaopiniowany przez Komisję do spraw Zagrożeń w Zakładach Górniczych oraz zatwierdzony przez Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego i Przedsiębiorcę. Zgodnie z ekspertyzami wykonanymi przez rzeczoznawców do spraw ruchu zakładu górniczego maksymalna energia pojedynczego wstrząsu górotworu, mogącego być skutkiem eksploatacji pokładu 510 w ZG „Brzeszcze” nie powinna przekroczyć wartości $5 \cdot 10^6$ J (*www.tauron-wydobycie 2019*).

3. PODSTAWY PRAWNE DOTYCZĄCE WYPADKÓW W ŚRODOWISKU PRACY

Analizie poddano wypadki zawodowe (wypadki przy pracy, wypadki traktowane na równi z wypadkami przy pracy, wypadki przy pracy w okresie ubezpieczenia wypadkowego oraz wypadki w drodze do pracy lub z pracy) w świetle podstaw prawnych, które określają podstawową terminologię oraz zasady postępowania w zakresie ustalania okoliczności i przyczyn wypadku (postępowania powypadkowego), w tym m.in. zasady uznawania zdarzenia za wypadek, dokumentowania wypadków i przyznawania świadczeń z ubezpieczenia wypadkowego z tytułu wypadków przy pracy.

3.1. Klasyfikacja wypadków w środowisku pracy

Pojęcie wypadku jest jednym z podstawowych pojęć z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy. Ma ono charakter wieloznaczny i dlatego może być różnie interpretowane. W świetle przepisów prawnych wypadek jest rozumiany najczęściej jako:

- zdarzenie nagłe,
- zdarzenie wywołane przyczyną zewnętrzną,
- zdarzenie powodujące uraz lub śmierć,
- zdarzenie związane ze świadczeniem pracy,
- zdarzenie uzasadniające przyznanie świadczeń.

Wypadki można podzielić według różnych kryteriów klasyfikacji (*Krause 2018*):

- kryterium liczby poszkodowanych – wypadek indywidualny i zbiorowy;
- kryterium ciężkości skutków – wypadek śmiertelny, ciężki i lekki (pozostały);
- kryterium związku z pracą lub ze służbą – wypadek zawodowy i pozazawodowy.

Wypadek zbiorowy jest to wypadek, któremu uległy co najmniej dwie osoby w wyniku tego samego zdarzenia, a wypadek indywidualny to wypadek, któremu uległa jedna osoba.

Wypadek śmiertelny jest to wypadek, w wyniku którego nastąpiła śmierć, a wypadek ciężki to wypadek, w wyniku którego nastąpiło ciężkie uszkodzenie ciała. Wypadki lekkie obejmują pozostałe zdarzenia, w wyniku których osoba poszkodowana nie doznała żadnych lub lekkich (innych niż śmiertelne i ciężkie) uszkodzeń ciała.

Wypadek zawodowy jest to wypadek, który jest związany z działalnością zawodową, a podstawa prawna wynika z przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy lub służby (np. wypadki pracownika lub funkcjonariusza). Wypadek pozazawodowy to wypadek, który jest

związany z działalnością pozazawodową, a podstawa prawna nie wynika z przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy lub służby (np. wypadki wolontariusza lub konsumenta).

Wypadki przy pracy oraz wypadki traktowane na równi z wypadkami przy pracy to wypadki pracowników, czyli osób świadczących pracę na podstawie stosunku pracy, np. umowy o pracę. Wypadki przy pracy w okresie ubezpieczenia wypadkowego to wypadki osób świadczących pracę na innej podstawie niż stosunek pracy, np. umowy zlecenia lub umowy o dzieło. Wypadki w drodze do pracy lub z pracy obejmują wypadki z udziałem pracowników i innych osób w okresie ubezpieczenia wypadkowego.

3.2. Ubezpieczenie wypadkowe z tytułu wypadków przy pracy

Ustawa o ubezpieczeniu społecznym z tytułu wypadków przy pracy i chorób zawodowych (*Ustawa 2002 ze zm.*), zwana dalej ustawą wypadkową i ubezpieczeniem wypadkowym określa:

- rodzaje świadczeń z tytułu wypadków przy pracy i chorób zawodowych oraz warunki nabywania prawa do tych świadczeń;
- zasady i tryb przyznawania świadczeń, ustalania ich wysokości oraz zasady ich wypłaty;
- zasady różnicowania stopy procentowej składki na ubezpieczenie wypadkowe;
- zasady finansowania prewencji wypadkowej.

Z tytułu wypadku przy pracy lub choroby zawodowej przysługują następujące świadczenia (art. 6.1 *ustawy 2002 ze zm.*): zasiłek chorobowy (dla ubezpieczonego), świadczenie rehabilitacyjne (dla ubezpieczonego), zasiłek wyrównawczy (dla ubezpieczonego), jednorazowe odszkodowanie (dla ubezpieczonego, dla członków rodziny), renta z tytułu niezdolności do pracy (dla ubezpieczonego), renta szkoleniowa (dla ubezpieczonego), renta rodzinna (dla członków rodziny), dodatek dla renty rodzinnej (dla sieroty zupełnej), dodatek pielęgnacyjny, pokrycie kosztów leczenia z zakresu stomatologii i szczepień ochronnych oraz zaopatrzenia w przedmioty ortopedyczne.

Zasady różnicowania stopy procentowej składki na ubezpieczenie społeczne z tytułu wypadków przy pracy i chorób zawodowych w zależności od zagrożeń zawodowych i ich skutków określają przepisy *ustawy 2002 ze zm.* w rozdziale 4 – wymagania ogólne i *rozporządzenie 2002a* – wymagania szczegółowe.

Zgodnie z ww. przepisami ustala się odrębnie kategorię ryzyka dla grupy działalności i dla płatnika składek w zależności od ryzyka określonego wskaźnikami częstości, w tym

wskaźnikami częstości wypadków przy pracy w przeliczeniu na umowną liczbę 1000 osób i odrębnie za pełny rok kalendarzowy.

Kategorię ryzyka dla grupy działalności ustala się w zależności od ryzyka określonego następującymi wskaźnikami częstości:

- wskaźnik częstości poszkodowanych w wypadkach przy pracy ogółem – obliczany w przeliczeniu na 1000 pracujących (waga 1);
- wskaźnik częstości poszkodowanych w wypadkach przy pracy śmiertelnych i ciężkich – obliczany w przeliczeniu na 1000 pracujących (waga 1);
- wskaźnik częstości stwierdzonych chorób zawodowych – obliczany w przeliczeniu na 1000 zatrudnionych (waga 1);
- wskaźnik częstości zatrudnionych w warunkach zagrożenia – obliczany w przeliczeniu na 1000 zatrudnionych (waga 1).

Kategorię ryzyka dla płatnika składek ustala się w zależności od ryzyka określonego następującymi wskaźnikami częstości:

- wskaźnik częstości poszkodowanych w wypadkach przy pracy ogółem – obliczany w przeliczeniu na 1000 ubezpieczonych (waga 1);
- wskaźnik częstości poszkodowanych w wypadkach przy pracy śmiertelnych i ciężkich – obliczany w przeliczeniu na 1000 ubezpieczonych (waga 1);
- wskaźnik częstości zatrudnionych w warunkach zagrożenia – obliczany w przeliczeniu na 1000 ubezpieczonych (waga 2).

W tabelicy 3.1 przedstawiono kategorie ryzyka dla wybranych grup działalności według aktualnej klasyfikacji PKD w sekcji B (górnictwo i wydobywanie), w oparciu o załącznik nr 2 do *rozporządzenia 2002a*.

Tablica 3.1. Kategorie ryzyka w sekcji górnictwo i wydobywanie (opracowanie własne na podstawie załącznika nr 2 do *rozporządzenia 2002a*)

Lp.	Grupa działalności	Kod PKD	Kategorie ryzyka	Stopy procentowe (%)
1	Wydobywanie węgla kamiennego i węgla brunatnego	B-05	12	3,33
2	Górnictwo ropy naftowej i gazu ziemnego	B-06	10	2,80
3	Górnictwo rud metali	B-07	11	3,06
4	Pozostałe górnictwo i wydobywanie	B-08	7	2,00
5	Działalność usługowa wspomagająca górnictwo i wydobywanie	B-09	11	3,06

3.3. Podstawy prawne dotyczące wypadków przy pracy oraz wypadków traktowanych na równi z wypadkami przy pracy

Podstawy prawne dotyczące wypadków przy pracy określają m.in. następujące przepisy:

- *Ustawa 1974 ze zm.* – Kodeks pracy, w tym dział X „Bezpieczeństwo i higiena pracy”, rozdział VII „Wypadki przy pracy i choroby zawodowe” – ogólne zasady postępowania dotyczące pracodawcy i pracownika w razie wystąpienia wypadku przy pracy;
- *Ustawa 2002 ze zm.* – ustawa wypadkowa, wykaz i zasady przyznawania świadczeń z ubezpieczenia wypadkowego, definicje wypadku przy pracy, wypadku traktowanego na równi z wypadkiem przy pracy, wypadku śmiertelnego, wypadku ciężkiego, wypadku zbiorowego;
- *Rozporządzenie 2009b* – szczegółowe zasady postępowania w razie wystąpienia wypadku przy pracy oraz zasady dokumentowania, w tym zasady sporządzania rejestru wypadków przy pracy (bez wzoru formularza);
- *Rozporządzenie 2019* – wzór formularza protokołu ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku przy pracy (bez zasad sporządzania);
- *Rozporządzenie 2009a ze zm.* – wzór formularza statystycznej karty wypadku przy pracy oraz zasady sporządzania.

Podstawowa terminologia dotycząca wypadków przy pracy według wymagań *ustawy 2002 ze zm.*:

1. **za wypadek przy pracy** (art. 3.1) – uważa się nagłe zdarzenie wywołane przyczyną zewnętrzną, powodujące uraz lub śmierć, które wystąpiły w związku z pracą:
 - 1) podczas lub w związku z wykonywaniem przez pracownika zwykłych czynności albo poleceń przełożonych;
 - 2) podczas lub w związku z wykonywaniem przez pracownika czynności na rzecz pracodawcy, nawet bez polecenia;
 - 3) w czasie pozostawania pracownika w dyspozycji pracodawcy, w drodze między siedzibą pracodawcy a miejscem wykonywania obowiązku wynikającego ze stosunku pracy;
2. **na równi z wypadkiem przy pracy**, w zakresie uprawnień do świadczeń określonych w *ustawie 2002 ze zm.* (art. 3.2) – traktuje się wypadek, któremu pracownik uległ:

- 1) w czasie podróży służbowej, w okolicznościach innych niż określone w art. 3.1 *ustawy 2002 ze zm.*, chyba że wypadek został spowodowany postępowaniem pracownika, które nie pozostaje w związku z wykonywaniem powierzonych mu zadań;
- 2) podczas szkolenia w zakresie powszechnej samoobrony;
- 3) przy wykonywaniu zadań zleconych przez organizacje związkowe działające u pracodawcy;

Ustawa 2002 określa skutki wypadków przy pracy:

- *uraz* (art. 2, pkt 13) – oznacza uszkodzenie tkanek ciała lub narządów człowieka wskutek działania czynnika zewnętrznego;
- *za śmiertelny wypadek przy pracy* (art. 3.4) – uważa się wypadek, w wyniku którego nastąpiła śmierć w okresie nieprzekraczającym sześciu miesięcy od dnia wypadku;
- *za ciężki wypadek przy pracy* (art. 3.5) – uważa się wypadek, w wyniku którego nastąpiło ciężkie uszkodzenie ciała, np.: utrata wzroku, słuchu, mowy, zdolności rozrodczej lub inne uszkodzenie ciała albo rozstrój zdrowia, naruszające podstawowe funkcje organizmu, a także choroba nieuleczalna lub zagrażająca życiu, trwała choroba psychiczna, trwała, całkowita lub znaczna niezdolność do pracy w zawodzie albo trwałe, istotne zeszpecenie lub zniekształcenie ciała;
- *za zbiorowy wypadek przy pracy* (art. 3.6) – uważa się wypadek, któremu w wyniku tego samego zdarzenia uległy co najmniej dwie osoby

Wybrane zasady postępowania dla wypadków przy pracy według *ustawy 1974 ze zm.*:

- art. 234 § 1. W razie wypadku przy pracy pracodawca jest obowiązany podjąć niezbędne działania eliminujące lub ograniczające zagrożenie, zapewnić udzielenie pierwszej pomocy osobom poszkodowanym i ustalenie w przewidzianym trybie okoliczności i przyczyn wypadku oraz zastosować odpowiednie środki zapobiegające podobnym wypadkom;
- art. 234 § 2. Pracodawca jest obowiązany niezwłocznie zawiadomić właściwego okręgowego inspektora pracy i prokuratora o śmiertelnym, ciężkim lub zbiorowym wypadku przy pracy oraz o każdym innym wypadku, który wywołał wymienione skutki, mającym związek z pracą, jeżeli może być uznany za wypadek przy pracy;
- art. 234 § 3. Pracodawca jest obowiązany prowadzić rejestr wypadków przy pracy;

- art. 234 § 3¹. Pracodawca jest obowiązany przechowywać protokół ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku przy pracy wraz z pozostałą dokumentacją powypadkową przez 10 lat;
- art. 234 § 4. Koszty związane z ustalaniem okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy ponosi pracodawca;
- art. 236. Pracodawca jest obowiązany systematycznie analizować przyczyny wypadków przy pracy, chorób zawodowych i innych chorób związanych z warunkami środowiska pracy i na podstawie wyników tych analiz stosować właściwe środki zapobiegawcze.

Wybrane zasady postępowania przy ustaleniu okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy według przepisów *rozporządzenia 2009b*:

- § 2. Pracownik, który uległ wypadkowi, jeżeli stan jego zdrowia na to pozwala, powinien poinformować niezwłocznie o wypadku swojego przełożonego;
- § 3.1. Do czasu ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku pracodawca ma obowiązek zabezpieczyć miejsce wypadku w sposób wykluczający:
 - 1) dopuszczenie do miejsca wypadku osób niepowołanych;
 - 2) uruchamianie bez koniecznej potrzeby maszyn i innych urządzeń technicznych, które w związku z wypadkiem zostały wstrzymane;
 - 3) dokonywanie zmiany położenia maszyn i innych urządzeń technicznych, jak również zmiany położenia innych przedmiotów, które spowodowały wypadek lub pozwalają odtworzyć jego okoliczności.
- § 3.2. Zgodę na uruchomienie maszyn i innych urządzeń technicznych lub dokonanie zmian w miejscu wypadku wyraża pracodawca, w uzgodnieniu ze społecznym inspektorem pracy, po dokonaniu oględzin miejsca wypadku oraz po sporządzeniu, jeśli zachodzi potrzeba, szkicu lub fotografii miejsca wypadku.
- § 3.3. Zgodę, o której mowa w ust. 2, w sytuacji zaistnienia wypadku śmiertelnego, ciężkiego lub zbiorowego wyraża pracodawca po uzgodnieniu z właściwym inspektorem pracy i prokuratorem, a w razie zaistnienia takich wypadków w zakładzie górniczym — także po uzgodnieniu z właściwym organem nadzoru górniczego;
- § 4. Okoliczności i przyczyny wypadków ustala powoływany przez pracodawcę zespół powypadkowy, w skład którego wchodzi pracownik służby bezpieczeństwa i higieny pracy oraz społeczny inspektor pracy;

- § 7.1. Niezwłocznie po otrzymaniu wiadomości o wypadku zespół powypadkowy jest obowiązany przystąpić do ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku, w szczególności:
 - 1) dokonać oględzin miejsca wypadku, stanu technicznego maszyn i innych urządzeń technicznych, stanu urządzeń ochronnych oraz zbadać warunki wykonywania pracy i inne okoliczności, które mogły mieć wpływ na powstanie wypadku;
 - 2) jeżeli jest to konieczne, sporządzić szkic lub wykonać fotografię miejsca wypadku;
 - 3) wysłuchać wyjaśnień poszkodowanego, jeżeli stan jego zdrowia na to pozwala;
 - 4) zebrać informacje dotyczące wypadku od świadków wypadku;
 - 5) zasięgnąć opinii lekarza, a w razie potrzeby innych specjalistów, w zakresie niezbędnym do oceny rodzaju i skutków wypadku;
 - 6) zebrać inne dowody dotyczące wypadku;
 - 7) dokonać prawnej kwalifikacji wypadku zgodnie z art. 3 ust. 1 i 2 *ustawy 2002 ze zm.*;
 - 8) określić środki profilaktyczne oraz wnioski, w szczególności wynikające z oceny ryzyka zawodowego na stanowisku pracy, na którym wystąpił wypadek;
- § 8.1. Ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku, który miał miejsce na terenie innego zakładu pracy, dokonuje zespół powypadkowy powołany przez pracodawcę poszkodowanego, w obecności przedstawiciela pracodawcy, na którego terenie miał miejsce wypadek;
- § 9.1. Po ustaleniu okoliczności i przyczyn wypadku zespół powypadkowy sporządza – nie później niż w terminie 14 dni od dnia uzyskania zawiadomienia o wypadku – protokół ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku przy pracy, zwany dalej protokołem powypadkowym.
- § 12.1. Stwierdzenie w protokole powypadkowym, że wypadek nie jest wypadkiem przy pracy albo, że zachodzą okoliczności, które mogą mieć wpływ na prawo pracownika do świadczeń przysługujących z tytułu wypadku, wymaga szczegółowego uzasadnienia i wskazania dowodów stanowiących podstawę takiego stwierdzenia;
- § 12.2. Do protokołu powypadkowego dołącza się zapis wyjaśnień poszkodowanego i informacji uzyskanych od świadków wypadku, a także inne dokumenty zebrane w czasie ustalania okoliczności i przyczyn wypadku, w szczególności pisemną opinię lekarza lub innych specjalistów, szkice lub fotografie miejsca wypadku, a także odrębne zdanie złożone przez członka zespołu powypadkowego oraz uwagi i

zastrzeżenia, o których mowa w § 11 ust. 2 i 4 – stanowiące integralną część protokołu powypadkowego;

- § 16.1. Pracodawca prowadzi rejestr wypadków przy pracy na podstawie wszystkich protokołów powypadkowych.

Wzór formularza protokołu powypadkowego określa załącznik do rozporządzenia 2019. Zakres informacji zawartych w rejestrze wypadków przy pracy określa § 16.2. rozporządzenia 2009b. Na podstawie protokołu powypadkowego pracodawca sporządza statystyczną kartę wypadku przy pracy, a wzór formularza określa załącznik do *rozporządzenia 2009a ze zm.*.

Świadczenia przysługujące z tytułu wypadku przy pracy oraz wypadku traktowanego na równi z wypadkami przy pracy obejmują:

- świadczenia wynikające z przepisów Kodeksu pracy (art. 237 *ustawy 1974 ze zm.*): świadczenia z ubezpieczenia społecznego (określone w przepisach *ustawy 2002 ze zm.*), odszkodowanie za utratę lub uszkodzenie w związku z wypadkiem przedmiotów osobistego użytku oraz przedmiotów niezbędnych do wykonywania pracy, z wyjątkiem utraty lub uszkodzenia pojazdów samochodowych oraz wartości pieniężnych;
- świadczenia z ubezpieczenia społecznego z tytułu wypadków przy pracy i chorób zawodowych (art. 6.1 *ustawy 2002 ze zm.*): zasiłek chorobowy, świadczenie rehabilitacyjne, zasiłek wyrównawczy, jednorazowe odszkodowanie, renta z tytułu niezdolności do pracy, renta szkoleniowa, renta rodzinna, dodatek do renty rodzinnej, dodatek pielęgnacyjny, pokrycie kosztów leczenia.

W rocznikach statystycznych GUS wypadki przy pracy ujęte są razem z wypadkami traktowanymi na równi z wypadkami przy pracy, natomiast w statystykach WUG podawane są wypadki zaistniałe w ruchu zakładu górniczego, wobec czego figurują w nich wypadki uznane jako wypadki przy pracy w wyrobiskach podziemnych oraz w obiektach na powierzchni, które zaliczane są do ruchu zakładu górniczego. Statystyki WUG nie obejmują również wypadków traktowanych na równi z wypadkami przy pracy, gdyż wypadki te miały miejsce poza terenem zakładu górniczego (*Parchański 2017*).

3.4. Podstawy prawne dotyczące wypadków przy pracy w okresie ubezpieczenia wypadkowego

Podstawy prawne dotyczące wypadków przy pracy w okresie ubezpieczenia wypadkowego określają m.in. następujące przepisy:

- *Ustawa 2002 ze zm.* – ustawa wypadkowa, wykaz i zasady przyznawania świadczeń z ubezpieczenia wypadkowego, definicja wypadku przy pracy w okresie ubezpieczenia wypadkowego;
- *Rozporządzenie 2002b* – szczegółowe zasady postępowania dla wypadku przy pracy w okresie ubezpieczenia wypadkowego oraz zasady dokumentowania, w tym wzór formularza karty wypadku (bez zasad sporządzania).

Definicja wypadku wymienionego w art. 3.3 *ustawy 2002 ze zm.*:

za wypadek przy pracy (art. 3.3) – uważa się również nagle zdarzenie wywołane przyczyną zewnętrzną powodujące uraz lub śmierć, które nastąpiło w okresie ubezpieczenia wypadkowego z danego tytułu podczas:

- 1) uprawiania sportu w trakcie zawodów i treningów przez osobę pobierającą stypendium sportowe;
- 2) wykonywania odpłatnie pracy na podstawie skierowania do pracy w czasie odbywania kary pozbawienia wolności lub tymczasowego aresztowania;
- 3) pełnienia mandatu posła lub senatora, pobierającego uposażenie;
- 4) odbywania szkolenia, stażu, przygotowania zawodowego dorosłych lub przygotowania zawodowego w miejscu pracy przez osobę pobierającą stypendium w okresie odbywania tego szkolenia, stażu, przygotowania zawodowego dorosłych lub przygotowania zawodowego w miejscu pracy na podstawie skierowania wydanego przez powiatowy urząd pracy lub przez inny podmiot kierujący, pobierania stypendium na podstawie przepisów o promocji zatrudnienia i instytucjach rynku pracy w okresie odbywania studiów podyplomowych;
- 5) wykonywania przez członka rolniczej spółdzielni produkcyjnej, spółdzielni kółek rolniczych oraz przez inną osobę traktowaną na równi z członkiem spółdzielni w rozumieniu przepisów o systemie ubezpieczeń społecznych, pracy na rzecz tych spółdzielni;
- 6) wykonywania pracy na podstawie umowy agencyjnej, umowy zlecenia lub umowy o świadczenie usług, do której zgodnie z Kodeksem cywilnym stosuje się przepisy dotyczące zlecenia;
- 6a) wykonywania pracy na podstawie umowy uaktywniającej;
- 7) współpracy przy wykonywaniu pracy na podstawie umowy agencyjnej, umowy zlecenia lub umowy o świadczenie usług, do której zgodnie z Kodeksem cywilnym stosuje się przepisy dotyczące zlecenia;

- 8) wykonywania zwykłych czynności związanych z prowadzeniem działalności pozarolniczej w rozumieniu przepisów o systemie ubezpieczeń społecznych;
- 9) wykonywania zwykłych czynności związanych ze współpracą przy prowadzeniu działalności pozarolniczej w rozumieniu przepisów o systemie ubezpieczeń społecznych;
- 10) wykonywania przez osobę duchowną czynności religijnych lub czynności związanych z powierzonymi funkcjami duszpasterskimi lub zakonnymi;
- 11) odbywania służby zastępczej;
- 12) nauki w Krajowej Szkole Administracji Publicznej im. Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej Lecha Kaczyńskiego przez słuchaczy pobierających stypendium;
- 12a) kształcenia się w szkole doktorskiej przez doktorantów otrzymujących stypendium;
- 13) wykonywania pracy na podstawie umowy agencyjnej, umowy zlecenia lub umowy o świadczenie usług, do której zgodnie z Kodeksem cywilnym stosuje się przepisy dotyczące zlecenia, albo umowy o dzieło, jeżeli umowa taka została zawarta z pracodawcą, z którym osoba pozostaje w stosunku pracy, lub jeżeli w ramach takiej umowy wykonuje ona pracę na rzecz pracodawcy, z którym pozostaje w stosunku pracy;
- 14) (uchylony).

Definicja podmiotu wymienionego w art. 5.1 *ustawy 2002 ze zm.*:

Ustalenia okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy, o których mowa w art. 3.3 *ustawy 2002 ze zm.*, dokonuje w karcie wypadku:

- 1) podmiot wypłacający stypendium sportowe – w stosunku do pobierających te stypendia;
- 2) podmiot, na którego rzecz wykonywana jest odpłatnie praca w czasie odbywania kary pozbawienia wolności lub tymczasowego aresztowania – w stosunku do wykonujących tę pracę na podstawie skierowania do pracy;
- 3) Kancelaria Sejmu w stosunku do posłów i Kancelaria Senatu w stosunku do senatorów;
- 4) pracodawca, u którego osoba pobierająca stypendium odbywa staż, przygotowanie zawodowe dorosłych, przygotowanie zawodowe w miejscu pracy lub szkolenie, albo jednostka, w której osoba pobierająca stypendium odbywa

- szkolenie – w stosunku do osoby pobierającej stypendium w okresie odbywania tego stażu, przygotowania zawodowego dorosłych, przygotowania zawodowego w miejscu pracy lub szkolenia na podstawie skierowania wydanego przez powiatowy urząd pracy lub przez inny podmiot kierujący, pobierania stypendium na podstawie przepisów o promocji zatrudnienia i instytucjach rynku pracy w okresie odbywania studiów podyplomowych;
- 5) spółdzielnia produkcyjna, spółdzielnia kółek rolniczych – w stosunku do członków tych spółdzielni oraz innych osób traktowanych na równi z członkiem spółdzielni, w rozumieniu przepisów o systemie ubezpieczeń społecznych, wykonujących pracę na rzecz tych spółdzielni;
 - 6) podmiot, na którego rzecz wykonywana jest praca na podstawie umowy agencyjnej, umowy zlecenia lub umowy o świadczenie usług, do której zgodnie z Kodeksem cywilnym stosuje się przepisy dotyczące zlecenia – w stosunku do wykonujących te umowy;
 - 7) osoba wykonująca pracę na podstawie umowy agencyjnej, umowy zlecenia lub umowy o świadczenie usług, do której zgodnie z Kodeksem cywilnym stosuje się przepisy dotyczące zlecenia – w stosunku do współpracujących z tą osobą;
 - 8) Zakład Ubezpieczeń Społecznych – w stosunku do prowadzących pozarolniczą działalność oraz współpracujących przy prowadzeniu takiej działalności w rozumieniu przepisów o systemie ubezpieczeń społecznych, a także w stosunku do wykonujących pracę na podstawie umowy uaktywniającej;
 - 9) (uchylony);
 - 10) właściwa zwierzchnia instytucja diecezjalna lub zakonna – w stosunku do duchownych;
 - 11) pracodawca, u którego osoba odbywa służbę zastępczą – w stosunku do odbywających tę służbę;
 - 12) Krajowa Szkoła Administracji Publicznej im. Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej Lecha Kaczyńskiego – w stosunku do słuchaczy tej szkoły pobierających stypendium;
 - 12a) podmiot prowadzący szkołę doktorską – w stosunku do kształcących się w tej szkole doktorantów otrzymujących stypendium;
 - 13) pracodawca – w stosunku do osób wykonujących pracę na podstawie umowy agencyjnej, umowy zlecenia lub umowy o świadczenie usług, do której zgodnie z

Kodeksem cywilnym stosuje się przepisy dotyczące zlecenia albo umowy o dzieło, jeżeli umowa taka została zawarta z pracodawcą, z którym osoby te pozostają w stosunku pracy;

14) podmiot, z którym została zawarta umowa agencyjna, umowa zlecenia lub umowa o świadczenie usług, do której zgodnie z Kodeksem cywilnym stosuje się przepisy dotyczące zlecenia, albo umowa o dzieło – w stosunku do osób wykonujących umowę, jeżeli w ramach takiej umowy praca jest wykonywana na rzecz pracodawcy, z którym osoby te pozostają w stosunku pracy;

15) (uchylony).

Wybrane zasady postępowania dla wypadków przy pracy w okresie ubezpieczenia wypadkowego według przepisów *rozporządzenia 2002b*:

- § 1. Rozporządzenie stosuje się do zdarzeń wymienionych w art. 3.3 *ustawy 2002 ze zm.*, które nastąpiły w okresie ubezpieczenia wypadkowego osób niebędących pracownikami.
- § 2.1. Osoby, o których mowa w § 1, zwane dalej poszkodowanymi, zawiadamiają o wypadku odpowiednie podmioty wymienione w art. 5.1 *ustawy 2002 ze zm.*;
- § 3.1. Zdarzenie, o którym mowa w § 1, uznaje się za wypadek przy pracy na podstawie ustalenia jego okoliczności i przyczyn, w szczególności przez:
 - 1) zabezpieczenie miejsca wypadku w sposób pozwalający odtworzyć jego okoliczności;
 - 2) dokonanie oględzin miejsca wypadku, stanu technicznego maszyn i innych urządzeń technicznych, stanu urządzeń ochronnych oraz zbadanie warunków wykonywania pracy i innych okoliczności, które mogły mieć wpływ na powstanie wypadku;
 - 3) wysłuchanie wyjaśnień poszkodowanego, jeżeli stan jego zdrowia na to pozwala;
 - 4) zebranie informacji dotyczących wypadku od świadków wypadku;
 - 5) zebranie innych dowodów dotyczących wypadku, uznanych za niezbędne;
- § 3.2. Kwalifikacji prawnej zdarzenia dokonują podmioty, o których mowa w § 2.1, zgodnie z art. 3 ust. 3–6 *ustawy 2002 ze zm.*;
- § 3.3. Stwierdzenie, że zdarzenie nie jest wypadkiem przy pracy, wymaga uzasadnienia i wskazania dowodów stanowiących podstawę takiego stwierdzenia;
- § 4.1. Po ustaleniu okoliczności i przyczyn wypadku – nie później niż w terminie 14 dni od dnia uzyskania zawiadomienia o wypadku – podmioty, o których mowa w

§ 2.1, sporządzają kartę wypadku, której wzór jest określony w załączniku do rozporządzenia;

- § 4.3. Do karty wypadku dołącza się zapis wyjaśnień poszkodowanego i informacji uzyskanych od świadków wypadku, a także inne dokumenty zebrane w czasie ustalania okoliczności i przyczyn wypadku, w szczególności dokumenty sporządzone z oględzin miejsca wypadku, inne dowody dotyczące wypadku i uznane za niezbędne do ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku, a także uwagi i zastrzeżenia do ustaleń zawartych w karcie wypadku zgłoszone przez poszkodowanego lub uprawnionego członka rodziny.

Na podstawie karty wypadku pracodawca sporządza statystyczną kartę wypadku przy pracy, a wzór formularza określa załącznik do *rozporządzenia 2009a ze zm.*.

Świadczenia przysługujące z tytułu wypadku przy pracy w okresie ubezpieczenia wypadkowego obejmują takie same świadczenia z tytułu ubezpieczenia społecznego jak w przypadku wypadku przy pracy i wypadku traktowanego na równi z wypadkiem przy pracy.

W rocznikach statystycznych GUS wypadki w trakcie ubezpieczenia wypadkowego (zgodnie z przepisami) ujmowane są wg sekcji działalności gospodarczej, do której poszkodowany zgłosił swoją działalność (np. handel, usługi, działalność przemysłowa i inne, z wyłączeniem sekcji górnictwo). Jeśli ten rodzaj wypadku zaistniał w ruchu zakładu górniczego, to jest ujmowany w statystykach WUG. Wypadki powyższe w skali całego górnictwa węglowego nie są identyfikowane (*Parchański 2017*).

3.5. Podstawy prawne dotyczące wypadków w drodze do pracy lub z pracy

Podstawy prawne dotyczące wypadków w drodze do pracy lub z pracy określają m.in. następujące przepisy:

- *Ustawa 1998 ze zm.* – wykaz i zasady przyznawania świadczeń z ubezpieczenia rentowego, definicje wypadku w drodze do pracy lub z pracy oraz drogi do pracy lub z pracy;
- *Ustawa 1999 ze zm.* – wykaz i zasady przyznawania świadczeń z ubezpieczenia chorobowego, definicja wypadku w drodze do pracy lub z pracy;
- *Rozporządzenie 2002c* – szczegółowe zasady postępowania w razie wystąpienia wypadku w drodze do pracy lub z pracy oraz zasady dokumentowania, w tym wzór formularza karty wypadku w drodze do pracy lub z pracy (bez zasad sporządzania).

Podstawowa terminologia dotycząca wypadków w drodze do pracy lub z pracy według wymagań *ustawy 1998 ze zm.*:

za wypadek w drodze do pracy lub z pracy (art. 57b.1) – uważa się nagłe zdarzenie wywołane przyczyną zewnętrzną, które nastąpiło w drodze do lub z miejsca wykonywania zatrudnienia lub innej działalności stanowiącej tytuł ubezpieczenia rentowego, jeżeli droga ta była najkrótsza i nie została przerwana; jednakże uważa się, że wypadek nastąpił w drodze do pracy lub z pracy, mimo że droga została przerwana, jeżeli przerwa była życiowo uzasadniona i jej czas nie przekraczał granic potrzeby, a także wówczas, gdy droga, nie będąc drogą najkrótszą, była dla ubezpieczonego, ze względów komunikacyjnych, najdogodniejsza;

za drogę do pracy lub z pracy (art. 57b.2) – oprócz drogi z domu do pracy lub z pracy do domu uznaje się również drogę do miejsca lub z miejsca:

- 1) innego zatrudnienia lub innej działalności stanowiącej tytuł ubezpieczenia rentowego;
- 2) zwykłego wykonywania funkcji lub zadań zawodowych albo społecznych;
- 3) zwykłego spożywania posiłków;
- 4) odbywania nauki lub studiów.

Wybrane zasady postępowania dla wypadków w drodze do pracy lub z pracy według przepisów *rozporządzenia 2002c*:

- § 1. Ubezpieczony, który uległ wypadkowi w drodze do pracy lub z pracy, zwany dalej poszkodowanym, zawiadamia niezwłocznie lub po ustaniu przeszkód uniemożliwiających niezwłoczne zawiadomienie o wypadku pracodawcę lub podmiot określony w art. 5.1 *ustawy 2002 ze zm.*;
- § 2. Uznanie zdarzenia za wypadek w drodze do pracy lub z pracy następuje na podstawie:
 - 1) oświadczenia poszkodowanego, członka jego rodziny lub świadków co do czasu, miejsca i okoliczności zdarzenia;
 - 2) informacji i dowodów pochodzących od podmiotów badających okoliczności i przyczyny zdarzenia lub udzielających poszkodowanemu pierwszej pomocy;
 - 3) ustaleń sporządzającego kartę;
- § 3.1. Ustalenie okoliczności wypadku w drodze do pracy lub z pracy jest dokonywane w karcie wypadku w drodze do pracy lub z pracy;
- § 3.2. Wzór karty wypadku stanowi załącznik do rozporządzenia;

- § 4. Kartę wypadku, o której mowa w § 3, pracodawca i podmiot określony w § 1 sporządzają po ustaleniu okoliczności i przyczyn zdarzenia, nie później niż w terminie 14 dni od dnia uzyskania zawiadomienia o wypadku, w dwóch egzemplarzach, z których jeden otrzymuje poszkodowany lub członek jego rodziny, a drugi przechowuje się w dokumentacji powypadkowej;
- § 5. Odmowa uznania zdarzenia za wypadek w drodze do pracy lub z pracy wymaga uzasadnienia.

Świadczenia przysługujące z tytułu wypadku w drodze do pracy lub z pracy obejmują:

- świadczenia wynikające z przepisów Kodeksu pracy (art. 92 - § 1 - pkt 2 *ustawy 1974 ze zm.*): zasiłek chorobowy – za czas niezdolności do pracy wskutek wypadku w drodze do pracy lub z pracy (w okresie wskazanym w pkt 1) pracownik zachowuje prawo do 100% wynagrodzenia;
- świadczenia z ubezpieczenia społecznego w razie choroby i macierzyństwa (art. 2 *ustawy 1999 ze zm.*): świadczenie rehabilitacyjne, zasiłek wyrównawczy;
- świadczenia z ubezpieczeń emerytalnego i rentowych (art. 4 *ustawy 1998*): emerytura, renta z tytułu niezdolności do pracy (w tym renta szkoleniowa), renta rodzinna, dodatek pielęgnacyjny, dodatek do renty rodzinnej (dla sieroty zupełnej), zasiłek pogrzebowy.

Wypadki w drodze do pracy i z pracy, zgodnie z obowiązującymi przepisami, nie podlegają statystyce GUS i WUG. Tym samym w rocznikach GUS nie ma danych o tych wypadkach w odniesieniu do zakładów pracy wg sekcji działalności gospodarczej. WUG również nie gromadzi danych o tych wypadkach, ponieważ są to wypadki powierzchniowe poza terenem zakładu pracy. Pełne dane o nich posiada jedynie kopalnia (Dział BHP) oraz ZUS. Z kolei ZUS nie ma ustanowionego ustawowo obowiązku tworzenia i publikowania danych statystycznych o tego typu wypadkach w zakładach pracy (*Parchański 2017*).

4. KLASYFIKACJA ZAGROŻEŃ I ZASADY ANALIZY WYPADKÓW PRZY PRACY

Analizie poddano wybrane klasyfikacje zagrożeń i ryzyka w środowisku pracy (z uwzględnieniem specyfiki górnictwa węgla kamiennego) w świetle podstaw prawnych oraz literatury przedmiotu. Analizą objęto także zasady analizy statystyki wypadków przy pracy (analiza bezwzględna, analiza wskaźnikowa, analiza rodzajowa) i klasyfikacje wskaźników wypadkowości w górnictwie węgla kamiennego (wskaźnik częstości wypadków, wskaźnik ciężkości wypadków, wskaźnik ryzyka wypadków).

4.1. Klasyfikacja zagrożeń w środowisku pracy

Aktualnie nie ma ogólnie przyjętej klasyfikacji zagrożeń w środowisku pracy, dotyczy to zarówno aktów prawnych, norm technicznych, jak i publikacji specjalistycznych.

Wyjątek stanowią czynniki szkodliwe dla zdrowia, dla których są wymagane badania i pomiary według *rozporządzenia 2011 ze zm.* oraz są wyznaczone wartości dopuszczalne według *rozporządzenia 2018 ze zm.*: chemiczne czynniki szkodliwe dla zdrowia, pyłowe czynniki szkodliwe dla zdrowia, hałas i hałas ultradźwiękowy, drgania mechaniczne (ogólne i miejscowe), mikroklimat gorący i mikroklimat zimny, promieniowanie optyczne (nielaserowe i laserowe), pole elektromagnetyczne.

Pojęcie zagrożenia występuje w przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy. Termin ten jest używany w środowisku pracy do określenia czynników, zdarzeń lub zachowań, które mogą oddziaływać na życie, zdrowie i samopoczucie człowieka.

Według *rozporządzenia 1997 ze zm.* zagrożenie oznacza stan środowiska pracy mogący spowodować wypadek lub chorobę. Pojęcie to można interpretować jako źródło możliwego urazu, pogorszenia stanu zdrowia lub obniżenia sprawności psychofizycznej, które aktywizują się w wyniku wzajemnego oddziaływania środowiska pracy i człowieka.

Przykładowe kryteria klasyfikacji zagrożeń w środowisku pracy to m.in. (*Krause 2008*):

- kryterium przyczyn oddziaływania (charakteru działania): czynniki fizyczne, chemiczne, biologiczne i psychofizyczne;
- kryterium skutków oddziaływania (konsekwencji działania): czynniki niebezpieczne, szkodliwe dla zdrowia i uciążliwe;
- kryterium możliwości pomiaru: czynniki mierzalne i niemierzalne;

- kryterium lokalizacji energii: czynniki naturalne, techniczne i osobowe;
- kryterium systematyki TOL: czynniki techniczne, organizacyjne i ludzkie;
- kryterium rodzaju środowiska: litosfera, hydrosfera, atmosfera, biosfera i gleba, technosfera i człowiek.

Na potrzeby oceny ryzyka zawodowego podstawowe znaczenie mają kryteria przyczyn i skutków oddziaływania oraz możliwości pomiaru, natomiast dla oceny ryzyka wypadków przy pracy kryteria lokalizacji energii i systematyki TOL.

Aktualnie nie ma zbiorczych przepisów dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy dla zagrożeń fizycznych i psychofizycznych, ale są ustanowione dla zagrożeń chemicznych i szkodliwych czynników biologicznych.

Przykładowa klasyfikacja zagrożeń fizycznych (*Krause 2012*): zagrożenia mechaniczne, zagrożenia elektryczne, pyły, hałas, drgania mechaniczne, mikroklimat, promieniowanie optyczne, pole elektromagnetyczne, promieniowanie jonizujące, oświetlenie stanowisk pracy.

Obowiązujące kryteria klasyfikacji zagrożeń chemicznych według *rozporządzenia 2012*:

- kryterium właściwości fizykochemicznych: czynniki utleniające, wybuchowe, łatwopalne, skrajnie łatwopalne, wysoce łatwopalne;
- kryterium właściwości toksycznych dla zdrowia człowieka: czynniki bardzo toksyczne, toksyczne, szkodliwe, żrące, drażniące, uczulające;
- kryterium specyficznych skutków dla zdrowia człowieka: czynniki rakotwórcze, mutagenne, działające szkodliwie na rozrodczość.

Obowiązujące kryteria klasyfikacji szkodliwych czynników biologicznych według *rozporządzenia 2005 ze zm.*:

- kryterium rodzaju skutków: zakażenia, alergie i zatrucia;
- kryterium rodzaju organizmu: bakterie i organizmy podobne, wirusy, grzyby i pasożyty wewnętrzne człowieka;
- kryteria grup zagrożenia i właściwości zakaźnych: grupa 1, grupa 2, grupa 3 i grupa 4.

Przykładowa klasyfikacja zagrożeń biologicznych według kryterium systematyki biologicznej (*Krause 2012*): bakterie, wirusy, grzyby, pasożyty, rośliny i zwierzęta.

Przykładowa klasyfikacja zagrożeń psychofizycznych według kryterium uciążliwości pracy (*Krause 2012*): obciążenie fizyczne (dynamiczne, statyczne i monotopowe) oraz obciążenie psychiczne (umysłowe, emocjonalne i percepcyjne).

4.2. Klasyfikacja zagrożeń w górnictwie

Aktualnie nie ma ogólnie przyjętej klasyfikacji zagrożeń w górnictwie węgla kamiennego. Wynika to zarówno z analizy aktów prawnych, jak i publikacji branżowych. Wyjątek stanowi podział zagrożeń naturalnych według (*rozporządzenia 2013 ze zm.*).

Akty prawne i publikacje specjalistyczne dotyczące branży górnictwa określają różne kryteria klasyfikacji zagrożeń występujących w kopalniach węgla kamiennego.

Przepisy dotyczące zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych (*Rozporządzenie 2013 ze zm.*) wyróżniają następujące zagrożenia naturalne w kopalniach węgla kamiennego: zagrożenie tąpnięciami, zagrożenie metanowe, zagrożenie wyrzutami skał, zagrożenie wybuchem pyłu węglowego, zagrożenie klimatyczne, zagrożenie wodne, zagrożenie substancjami promieniotwórczymi.

Przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy dotyczące prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (*Rozporządzenie 2016 ze zm.*) opisują następujące zagrożenia w kopalniach węgla kamiennego:

- zagrożenia występujące w ruchu zakładu górniczego (dział V): zagrożenie tąpnięciami, zagrożenie metanowe, zagrożenie wyrzutami skał, zagrożenie wybuchem pyłu węglowego, zagrożenie klimatyczne, zagrożenie wodne, zagrożenie radiacyjne naturalnymi substancjami promieniotwórczymi, zagrożenie pożarowe;
- inne zagrożenia górnicze: gazy kopalniane, w tym ditlenek węgla, tlenek węgla, tlenek azotu, ditlenek siarki, siarkowodór (dział III), czynniki szkodliwe dla zdrowia, w tym pyły szkodliwe dla zdrowia (dział IV), źródła promieniowania jonizującego (dział VI). Publikacje branżowe wyróżniają m.in. następujące klasyfikacje zagrożeń górniczych:
 - klasyfikacja zagrożeń w górnictwie podziemnym (*Ryncarz 1983*): kryterium sfery środowiska kopalnianego (litosfera, atmosfera i technosfera), kryterium fizycznego rozwoju procesu (mechaniczny, substancyjny i cieplny), kryterium natężenia procesu (przepływy powolny i nagły);
 - klasyfikacja zagrożeń naturalnych w kopalniach węgla kamiennego (*Konopko 2006*): zagrożenia katastrofogenne (zagrożenie wybuchem, zagrożenie pożarami, zagrożenie sejsmiczne, zagrożenie wyrzutami, zagrożenie grawitacyjnym opadem skał, zagrożenie wodne) oraz zagrożenia niekatastrofogenne (zagrożenie pyłowe, zagrożenie gazowe, zagrożenie klimatyczne, zagrożenie radiacyjne, inne zagrożenia);

- klasyfikacja zagrożeń w kopalniach węgla kamiennego na potrzeby oceny ryzyka zawodowego (*Krause 2008*): zagrożenia fizyczne, zagrożenia chemiczne, zagrożenia biologiczne, zagrożenia psychofizyczne, specyficzne zagrożenia górnicze, w tym m.in. zagrożenia naturalne, zagrożenia elektryczne w górnictwie, zagrożenia mechaniczne w górnictwie, zagrożenia związane z robotami strzałowymi w górnictwie.

Przykład szczegółowej klasyfikacji zagrożeń według sfery środowiska kopalnianego (*Szlązak i Szlązak 2012*):

- atmosfera, np. zapalenie lub wybuch gazów, wybuch pyłu węglowego, wystąpienie gazów szkodliwych dla zdrowia;
- litosfera, np. tąpnięcie, zawał skał stropowych, oberwanie się skał z ociosów, wdarcie się wody lub kurzawki, wyrzut gazów i skał, pożar endogeniczny;
- technosfera, np. wybuch naczyń pod ciśnieniem, niekontrolowany wybuch środków strzałowych, upadek, potknięcie się, wpadnięcie lub spadnięcie osób na niższy poziom, upadek, stoczenie lub obsunięcie się przedmiotów i materiałów, pożar egzogeniczny.

Zasady ustalania okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy w górnictwie obejmują m.in. następujące grupy wymagań:

- statystyka ogólna – określająca podstawy analizy statystyki wypadków przy pracy, w tym statystyka Głównego Urzędu Statystycznego (*GUS 2018*);
- statystyka branżowa – uwzględniająca specyfikę górnictwa węgla kamiennego, w tym statystyka Centralnego Ośrodka Informatyki Górnictwa (*COIG 2018*) i Wyższego Urzędu Górniczego (*WUG 2018*).

Przykładowo statystyka ogólna (*GUS 2018*) zawiera m.in. parametr wydarzenie powodujące uraz, a statystyka branżowa (*COIG 2018*) uwzględnia specyfikę środowiska pracy i zagrożeń górniczych w kopalniach węgla kamiennego jako parametr niebezpieczne wydarzenie, np. oberwanie się skał ze stropu, oberwanie się skał z ociosu, wdarcie się wody lub kurzawki, wyrzut gazów i skał, zapalenie lub wybuch gazów, zapalenie lub wybuch pyłu węglowego, pożary, tąpnięcie.

4.3. Klasyfikacja ryzyka w środowisku pracy

Aktualnie nie ma ogólnie przyjętej klasyfikacji ryzyka w środowisku pracy. Dotyczy to zarówno aktów prawnych, norm technicznych, jak i publikacji specjalistycznych.

Przykładowe kryteria klasyfikacji ryzyka w środowisku pracy to m.in. (*Krause 2008*):

- kryterium charakterystyki rodzaju ryzyka (ekspozycji i skutków): ryzyko bezpieczeństwa (S), zdrowia (H) i środowiska (E);
- kryterium charakterystyki zakresu ryzyka (badań ryzyka): ryzyko procesowe (SHE), zawodowe (SH) i zdrowotne (H);
- kryterium podmiotu i zakresu badań: ryzyko indywidualne (osobiste), zbiorowe (zespołowe) i obszarowe;
- kryterium zastosowania profilaktyki: ryzyko pierwotne i resztkowe (szczątkowe);
- kryterium poziomu dopuszczalności: ryzyko dopuszczalne i niedopuszczalne;
- kryterium rodzaju skutków: ryzyko wypadkowe i chorobowe.

Pojęcie ryzyka zawodowego występuje w przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy. Termin ten może być używany do określenia ryzyka związanego z wykonywaną pracą, ryzyka związanego ze stanowiskiem pracy lub ryzyka wykonywania określonego zawodu.

Ryzyko zawodowe według *rozporządzenia 1997 ze zm.* oznacza prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanych zdarzeń, związanych z wykonywaną pracą, powodujących straty, w szczególności wystąpienia u pracowników niekorzystnych skutków zdrowotnych w wyniku zagrożeń zawodowych występujących w środowisku pracy lub sposobu wykonywania pracy. Pojęcie to można interpretować jako kombinację możliwości wystąpienia urazu, pogorszenia stanu zdrowia lub obniżenia sprawności psychofizycznej oraz stopnia ich ciężkości, które wynikają z zagrożeń w środowisku pracy lub sposobu wykonywania pracy (*Krause 2018*).

Pojęcie ryzyka wypadkowego jest często stosowane w literaturze specjalistycznej, ale nie występuje formalnie jako pojęcie w przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy. Termin ten może być używany do określenia poziomu lub stanu bezpieczeństwa pracy i wypadkowości zawodowej jako ryzyko wystąpienia wypadku zawodowego, w tym wypadku przy pracy.

Ryzyko wypadkowe można interpretować jako prawdopodobieństwo zaistnienia (zajścia) wypadku związanego z wykonywaną pracą w wyniku aktywacji zagrożeń zawodowych lub sposobu wykonywania pracy, powodującego straty, w szczególności wystąpienia u pracowników niekorzystnych skutków zdrowotnych powodujących niezdolność do wykonywania pracy (*Parchański 2017*).

Przykład klasyfikacji wypadków zawodowych w górnictwie węgla kamiennego (*Parchański 2017*) oraz ich podstawa prawna dotycząca zasad postępowania powypadkowego:

- wypadki przy pracy oraz wypadki traktowane na równi z wypadkami przy pracy (pracownicy) – *Ustawa 1974 ze zm., Ustawa 2002 ze zm., Rozporządzenie 2009a ze zm., Rozporządzenie 2009b, Rozporządzenie 2019;*
- wypadki przy pracy w okresie ubezpieczenia wypadkowego – *Ustawa 1974 ze zm., Ustawa 2002 ze zm., rozporządzenie 2002b;*
- wypadki w drodze do pracy lub z pracy (pracownicy i osoby niebędące pracownikami) – *Ustawa 1998 ze zm., Ustawa 1999 ze zm., Rozporządzenie 2002c.*

Na potrzeby analizy wypadków zawodowych można wyróżnić m.in. następujące określenia (*Krause 2018*):

- skutki wypadku – co się stało wskutek wypadku?
- osoba poszkodowana – kto uległ wypadkowi?
- czas wypadku – kiedy doszło do wypadku?
- miejsce wypadku – gdzie doszło do wypadku?
- przyczyny wypadku – dlaczego doszło do wypadku?
- profilaktyka wypadkowa – jak ograniczyć ryzyko wypadku?

Przykładowa klasyfikacja metod badań na potrzeby analizy wypadków zawodowych oraz ich opis merytoryczny (*Krause 2018*):

- metody zbierania danych – zastosowanie metod badania wypadków, mające na celu pozyskanie danych i informacji potrzebnych do szczegółowej analizy przyczyn i skutków zagrożeń, np. analiza dokumentów, obserwacja, sondaż, studium przypadku, listy kontrolne;
- metody badania pracy – metody badań stosowane w przypadku, gdy metody zbierania danych są niewystarczające, ponieważ nie pozyskują danych i informacji potrzebnych do szczegółowej analizy przyczyn i skutków zagrożeń, np. chronometraż, fotografia dnia roboczego, obserwacje migawkowe, analiza ruchów elementarnych;
- metody badania wypadków – metody badań mające na celu rozpoznanie okoliczności i przyczyn wypadku przez zastosowanie szczegółowej analizy przyczyn i skutków zagrożeń, np. systematyka TOL, listy kontrolne, analiza co-gdy, metoda SCAT, metoda MORT, metoda WAIT, metody ETA i FTA.

Zasady oceny stanu (poziomu) bezpieczeństwa i higieny pracy w aspekcie oceny ryzyka wypadków przy pracy w górnictwie obejmują m.in. następujące grupy wymagań:

- wymagania ogólne – określające podstawy badań w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy, w tym modele i metody badania wypadków przy pracy (*np. Pietrzak*

2004), podstawy metodologii oceny ryzyka zawodowego (np. Krause 2008), podstawy metodologii analizy wypadków zawodowych (np. Krause 2018);

- wymagania branżowe – uwzględniające specyfikę górnictwa węgla kamiennego, w tym podstawy bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie (np. Szlązak i Szlązak 2012, Konopko i in. 2013a, Konopko i in. 2013b), zagrożenia górnicze i ocena ryzyka zawodowego (np. Krause 2012), wypadkowość zawodowa i ocena ryzyka wypadkowego (np. Parchański 2017).

4.4. Zasady analizy statystyki wypadków przy pracy

W żadnym przepisie akty prawne nie określają wprost wymagań dotyczących analizy statystyki wypadków przy pracy; najczęściej wykorzystuje się w tym celu kryteria oparte na formularzu statystycznej karty wypadku przy pracy według *rozporządzenia 2009a ze zm.*

Na potrzeby analizy statystyki wypadków przy pracy należy przyjąć założenia badawcze oraz wybrać rodzaj analizy retrospektywnej (Krause 2018).

Podstawowe założenia badawcze w zakresie analizy statystyki wypadków przy pracy obejmują m.in. następujące elementy (Krause 2018):

- obiekt badań – najczęściej jest to zakład pracy lub przedsiębiorstwo, może być to obiekt mniejszy, np. jednostka organizacyjna, lub obiekt większy, np. zgrupowanie przedsiębiorstw (w zależności od potrzeb);
- okres analizy – najczęściej jest to rok sprawozdawczy, może być to okres krótszy lub okres dłuższy (w zależności od potrzeb);
- obiekt odniesienia – najczęściej jest to statystyka krajowa lub branżowa według danych GUS-u, np. Polska, sekcje lub podsekcje PKD;
- okres odniesienia – najczęściej jest to rok poprzedzający analizę, zaleca się okres dłuższy, co najmniej okres kilkuletni, np. 5 lub 10 lat;
- ogólną ocenę poziomu wypadkowości – najczęściej przez określenie tendencji zmian, np. tendencja rosnąca, tendencja malejąca, brak tendencji;
- szczegółową ocenę poziomu wypadkowości – najczęściej przez zastosowanie metod statystycznych, np. analiza korelacji, testy istotności.

Przykład klasyfikacji analizy retrospektywnej (Krause 2018) oraz jej opisu merytorycznego na podstawie publikacji Głównego Urzędu Statystycznego pt. Wypadki przy pracy (GUS 2018):

- analiza bezwzględna – oparta na porównaniu liczby i skutków wypadków;
- analiza wskaźnikowa – oparta na porównaniu wskaźników wypadkowości;
- analiza rodzajowa – oparta na badaniu określonych parametrów wypadków;
- analiza korelacji – oparta na badaniu zależności między parametrami wypadków.

Dane GUS-u (*GUS 2018*) obejmują wybrane kryteria analizy bezwzględnej, wskaźnikowej, rodzajowej i korelacji. Dane te zawierają statystyki wypadków przy pracy w Polsce i w wybranych sekcjach PKD za okres sprawozdawczy jednego roku, w których formułowane są ogólne stwierdzenia dotyczące liczby poszkodowanych i wskaźników wypadkowości.

Analiza bezwzględna wypadkowości według statystyki GUS-u obejmuje następujące kryteria: liczba wypadków, liczba poszkodowanych w wypadkach (ogółem, śmiertelnych, ciężkich, lekkich), liczba dni niezdolności do pracy spowodowanej wypadkami.

Analiza wskaźnikowa wypadkowości według statystyki GUS-u zawiera dwa wskaźniki: liczbę poszkodowanych w wypadkach na tysiąc pracujących (czyli wskaźnik częstości wypadków), liczbę dni niezdolności do pracy spowodowanej wypadkami na jednego poszkodowanego (czyli wskaźnik ciężkości wypadków).

Analiza rodzajowa wypadkowości według statystyki GUS-u obejmuje m.in. następujące kryteria: opis poszkodowanego (np. płeć, wiek i staż pracy), opis skutków wypadku (np. rodzaj i umiejscowienie urazu), opis czasu wypadku (np. data i godzina wypadku), opis miejsca wypadku (np. miejsce powstania wypadku, proces pracy), opis przebiegu wypadku (np. czynnik materialny – związany z czynnością, związany z odchyleniem i będący źródłem urazu, czynność wykonywana w chwili wypadku, wydarzenie powodujące uraz, przyczyny wypadku – techniczne, organizacyjne i ludzkie).

Analiza korelacji wypadkowości według statystyki GUS-u zawiera m.in. następujące kryteria: przyczyny wypadków według wydarzenia powodującego uraz, przyczyny wypadków według czynności wykonywanej w chwili wypadku, wydarzenie powodujące uraz według miejsca powstania wypadku, wydarzenie powodujące uraz według czynności wykonywanej w chwili wypadku.

Do analizy wypadków w górnictwie (*Zhang i inni 2020*) można wykorzystać również metodę WBA (Why Because Analysis) oraz modele bazujące na teorii zagrożenia (*Liang i inni 2011*).

Na potrzeby analizy wypadkowości w górnictwie węgla kamiennego należy przyjąć założenia badawcze oraz wybrać rodzaj analizy retrospektywnej, m.in. w aspekcie specyfiki środowiska pracy i zagrożeń górniczych (*Parchański 2017*).

Podstawowe założenia badawcze w zakresie analizy wypadkowości w górnictwie węgla kamiennego obejmują m.in. następujące elementy (*Parchański 2017*):

- cel badań – przeprowadzenie systemowej analizy wypadków przy pracy w górnictwie węgla kamiennego na podstawie parametrów i ich wielkości, które są uznane i wykorzystywane jako oficjalne dane statystyczne;
- zakres badań – przedmiot badań, obiekt badań, podmiot badań oraz okres badań;
- przedmiot badań – wypadki przy pracy, jakim ulegają pracownicy (podmiot badań) wykonujący swe czynności zawodowe w kopalni węgla kamiennego (obiekt badań) w przyjętym okresie analizy (okres badań);
- obiekt badań – kopalnia węgla kamiennego jako zakład pracy, będąca jednocześnie pracodawcą, zgodnie z przepisami ustawy Kodeks pracy (*Ustawa 1974 ze zm.*) oraz zakładem górniczym, zgodnie z przepisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze (*Ustawa 2011 ze zm.*);
- podmiot badań – wszyscy pracownicy wykonujący czynności zawodowe w obiekcie badań, niezależnie od pracodawcy, z którym zawarli umowę o pracę, oraz inne osoby uczestniczące w procesie produkcyjnym kopalń, zgodnie z wymaganiami (*Ustawa 2002 ze zm., Ustawa 2011 ze zm.*);
- okres badań – okres analizy, dla którego przeprowadzono systemową analizę wypadków przy pracy w górnictwie węgla kamiennego, okres ten można poszerzyć o lata wcześniejsze w celu dowiedzenia zasadności oceny ryzyka wypadkowego;
- źródła danych – dane statystyczne, które uważane są jako oficjalne, w tym statystyki ogólne: np. Głównego Urzędu Statystycznego (*GUS 2018*) i branżowe np. Centralnego Ośrodka Informatyki Górnictwa (*COIG 2018*) oraz Wyższego Urzędu Górniczego (*WUG 2018*).

Dane GUS-u prezentowane w opracowaniu pt. „Wypadki przy pracy” (*GUS 2018*) obejmują kompletne dane dotyczące analizy bezwzględnej dla Polski, sekcji „górnictwo i wydobywanie” i podsekcji „wydobywanie węgla kamiennego”, natomiast przedstawiają pewne braki w zakresie analizy wskaźnikowej dla podsekcji „wydobywanie węgla kamiennego” (brak wartości wskaźnika ciężkości wypadków).

Dane statystyczne Centralnego Ośrodka Informatyki Górnictwa pt. „Analiza miesięczna stanu bezpieczeństwa i higieny pracy w kopalniach węgla kamiennego i przedsiębiorstwach robót górniczych” (*COIG 2018*) zawierają wybrane kryteria analizy bezwzględnej, wskaźnikowej i rodzajowej. Dane te zawierają następujące rodzaje wskaźników wypadkowości w górnictwie węgla kamiennego: wskaźnik ciężkości wypadków, wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych, wskaźnik częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek, wskaźnik częstości wypadków śmiertelnych na 1 mln Mg wydobywania, wskaźnik częstości pożarów na 1 mln Mg wydobywania, wskaźnik częstości zawałów na 1 mln Mg wydobywania.

Dane statystyczne Wyższego Urzędu Górniczego pt. „Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górniczo-geologiczną” (*WUG 2018*) obejmują wybrane kryteria analizy bezwzględnej, wskaźnikowej i rodzajowej. Dane te zawierają statystyki wypadków przy pracy w ruchu zakładu górniczego (załoga własna i pracownicy firm usługowych) za okres sprawozdawczy jednego roku. Nieregularnie są zamieszczane zbiorcze statystyki za okres kilku lat, ale zakres informacji nie jest jednolity w poszczególnych latach. Kompletne informacje dotyczące analizy bezwzględnej dla górnictwa i jego poszczególnych rodzajów (m.in. liczba wypadków ogółem, śmiertelnych i ciężkich) można odczytać z tekstu, wykresów i tablic, natomiast dane dotyczące analizy wskaźnikowej nie są w pełni kompletne (dotyczy to m.in. wskaźnika częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych, wskaźnika częstości wypadków śmiertelnych na 1000 zatrudnionych oraz wskaźnika częstości wypadków śmiertelnych na 1 mln Mg wydobywania).

4.5. Przykładowe wskaźniki wypadkowości w górnictwie

Wskaźniki wypadkowości można podzielić według różnych kryteriów klasyfikacji, np. (*Dudka i Bojanowski 2007, Krause 2018*):

- kryterium czasu – wskaźniki retrospektywne i prospektywne;
- kryterium budowy – wskaźniki proste (indywidualne) i złożone;
- kryterium analizy statystycznej (wskaźniki statystyczne) – wskaźniki struktury, natężenia i dynamiki;
- kryterium analizy wypadkowości (wskaźniki zawodowe) – wskaźniki częstości (częstotliwości), ciężkości i ryzyka (złożone, syntetyczne, zagregowane).

Wskaźniki statystyczne obejmują m.in. następujące grupy (*Krause 2018*):

- wskaźnik struktury WS – stosunek wielkości poszczególnych części zbiorowości do wielkości całej zbiorowości (populacji), najczęściej wyrażony w procentach:

$$WS = \frac{N_i}{N} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

- wskaźnik natężenia WN – stosunek wielkości dwóch zbiorowości pozostających we wzajemnym związku logicznym, który opisuje nasilenie badanych zjawisk i może być wyrażony w jednostkach miar:

$$WN = \frac{N_1}{N_2} \cdot 10^n, \quad (4.2)$$

- wskaźnik dynamiki WD – stosunek wielkości charakteryzujących zjawisko w okresie analizy i w okresie odniesienia, który opisuje rozwój badanego zjawiska w czasie przez przyrost względny, najczęściej wyrażony w procentach:

$$WD = \frac{N_b - N_o}{N_o} \cdot 100\%. \quad (4.3)$$

Wskaźniki zawodowe obejmują m.in. następujące grupy (*Krause 2018*):

- wskaźnik częstości wypadków (prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku) – stosunek liczby poszkodowanych w wypadkach do określonej wielkości odniesienia, w tym m.in. liczebność zbiorowości (np. zatrudnieni, pracujący, ubezpieczeni), czas zatrudnienia (np. roboczodniówki, roboczogodziny), wielkość produkcji (np. masa, energia);
- wskaźnik ciężkości wypadków (skutki wystąpienia wypadku) – stosunek liczby dni niezdolności do pracy do określonej wielkości odniesienia, np. liczba poszkodowanych, liczba roboczodniówek;
- wskaźnik ryzyka wypadków (ryzyko wystąpienia wypadku) – wskaźnik złożony wykorzystujący najczęściej kombinacje wskaźników częstości wypadków i ciężkości wypadków oraz określonych funkcji agregujących, np. iloczyn wskaźnika częstości wypadków na 1000 pracujących i wskaźnika ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego.

Obowiązujące przepisy dotyczące wskaźników wypadków przy pracy:

- ubezpieczenie społeczne z tytułu wypadków przy pracy (*Rozporządzenie 2002a*): wskaźnik częstości poszkodowanych w wypadkach ogółem na 1000 pracujących lub ubezpieczonych, wskaźnik częstości poszkodowanych w wypadkach śmiertelnych i ciężkich na 1000 pracujących lub ubezpieczonych;
- statystyka wypadków przy pracy według danych Głównego Urzędu Statystycznego (*GUS 2018*): wskaźnik częstości wypadków (ogółem, śmiertelne, ciężkie, lekkie) na 1000 pracujących, wskaźnik ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego (ogółem, bez śmiertelnych).

Przykładowa klasyfikacja wskaźników wypadków przy pracy oraz ich opis merytoryczny (*Krause 2018*):

- h) wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z :

$$W_Z = \frac{W}{Z} \cdot 10^3, \quad (4.4)$$

- i) wskaźnik częstości wypadków śmiertelnych na 100 tys. zatrudnionych W_{ZS} :

$$W_{ZS} = \frac{W_S}{Z} \cdot 10^5, \quad (4.5)$$

- j) wskaźnik częstości wypadków ciężkich na 100 tys. zatrudnionych W_{ZC} :

$$W_{ZC} = \frac{W_C}{Z} \cdot 10^5, \quad (4.6)$$

- k) wskaźnik częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D :

$$W_D = \frac{W}{D} \cdot 10^5, \quad (4.7)$$

- l) wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1 mln roboczogodzin W_G :

$$W_G = \frac{W}{G} \cdot 10^6, \quad (4.8)$$

- m) wskaźnik częstości wypadków na 1 mln wytworzonej masy produkcji W_P :

$$W_P = \frac{W}{P} \cdot 10^6, \quad (4.9)$$

- n) wskaźnik ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego C_W :

$$C_W = \frac{D_N}{W - W_S}, \quad (4.10)$$

- o) wskaźnik ciężkości wypadków na 1000 roboczodniówek C_D :

$$C_D = \frac{D_N}{D} \cdot 10^3, \quad (4.11)$$

p) wskaźnik ryzyka wypadków W_R (Parchański 2017):

$$W_R = W_Z \cdot C_W = \frac{W}{Z} \cdot 10^3 \cdot \frac{D_N}{W-W_S}, \quad (4.12)$$

$$\text{gdy } W_S = 0, \text{ wtedy } W_R = \frac{D_N}{Z} \cdot 10^3. \quad (4.13)$$

Analizę wskaźników wypadkowości w górnictwie węgla kamiennego, m.in. w aspekcie specyfiki środowiska pracy i zagrożeń górniczych przedstawiono w publikacjach górniczych (Parchański 2001a, Parchański 2001b, Rydlewski 2003, Rydlewski 2005).

Przykładowa klasyfikacja wskaźników wypadkowości w górnictwie węgla kamiennego oraz ich opis merytoryczny (Parchański 2017):

q) wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z :

$$W_Z = \frac{W}{Z} \cdot 10^3, \quad (4.4)$$

r) wskaźnik częstości wypadków na 100 tys. roboczodniówek W_D :

$$W_D = \frac{W}{D} \cdot 10^5, \quad (4.7)$$

s) wskaźnik częstości wypadków na 1 mln Mg wydobywania W_T :

$$W_T = \frac{W}{T} \cdot 10^6, \quad (4.14)$$

t) wskaźnik ciężkości wypadków C_W :

$$C_W = \frac{D_S}{W-W_S}, \quad (4.10)$$

u) wskaźnik uogólniony strat W_{US} :

$$W_{US} = W_Z \cdot 10^{-3} \cdot C_W. \quad (4.15)$$

5. OPIS PROCESU PROGNOZOWANIA

Prognozę można scharakteryzować jako rezultat procesu predykcji dla bliższej lub dalszej przyszłości na podstawie specjalistycznych badań w danej dziedzinie (*Balcerowicz-Szkutnik i Szkutnik 2006, Borkowski i inni 2003, Goryl i inni 1999, Guzik i inni 2007, Marcinkowska-Lewandowska i Michalski 1991, Nowakowski 2005, Osińska (red.) 2007, Pawłowski 1966*). Wykorzystanie prognozy typu ostrzegawczego do zapobiegania rozwojowi badanej sytuacji (w przypadku tej pracy o powstawaniu wypadków) może doprowadzić do tego, że dana prognoza jest tym cenniejsza, im skuteczniej potrafi uruchomić różnorakie działania, które będą zapobiegać realizacji samej prognozy (*Szeja 1992, Zheng i Liu 2009, Mianowana i inni 2016, Sari i inni 2009, Maiti i inni 2009*).

5.1. Podstawy, cel, funkcje, metody i horyzont prognozowania

W literaturze przedmiotu często identyfikuje się pojęcie prognozowania z pojęciem przewidywania. Przewidywanie należy rozumieć jako określenie pewnych nieznanych zdarzeń na podstawie zdarzeń przeszłych, czyli znanych. Zakłada się, że zdarzenie nieznanie należy jednocześnie do przeszłości jak i do przyszłości, gdyż wykryć można zarówno to co może się zdarzyć, jak również to, co się już wydarzyło (*Guzik i inni 2007, Krawczyk 2001, Dittmann 2008*).

Prognozowanie to wypowiedzenie sądu, który posiada kilka charakterystycznych własności:

- v) jest niepewny, ale akceptowany;
- w) jest sądem oznajmującym (bezwarunkowym), a nie warunków;
- x) odnosi się do określonego okresu w przyszłości;
- y) w momencie formułowania tego sądu jego wartość logiczna jest całkowicie nieznaną.

U podstaw sformułowania tego sądu leży wykorzystanie dorobku nauki, a jego weryfikacja empiryczna jest możliwa dopiero w przyszłości (*Zeliaś i inni 2001, Aczel i Sounderpandian 2017*).

Prognozowanie to racjonalne i mające naukowe podstawy przewidywanie zdarzeń, które mogą wystąpić w przyszłości, a jej podstawowym celem jest przede wszystkim zmniejszenie ryzyka w trudnym procesie podejmowania decyzji (*Guzik i inni 2007, Krawczyk 2001, Zeliaś i inni 2001*).

Z prognozą związane są pewne funkcje podstawowe i pomocnicze. Do funkcji podstawowych zalicza się funkcję preparacyjną, informacyjną oraz aktywizującą, natomiast do pomocniczych funkcję argumentacyjną, doradczą oraz funkcję mediacyjną (*Dittmann 2008, Dittmann i inni 2011*).

Preparacyjna funkcja prognozy jest działaniem, które może przygotować inne działania podejmowane przez zarządzającego (wybrana instytucja, pojedynczy człowiek, wybrana grupa osób, podmiot gospodarczy). Decydent opierając się na sformułowanej prognozie może postąpić w sposób racjonalny jedynie w przypadku, gdy będzie miał do tej prognozy pełne zaufanie. Za odpowiedni poziom jakości prognozy odpowiada sam prognosta, ale osoba zarządzająca powinna posiadać pełną umiejętność jej oceny, ponieważ potencjalne skutki podjętych decyzji poniesie w prognozowanej przyszłości (*Dittmann i inni 2011*).

Funkcja informacyjna prognoz jest najczęściej związana z przyzwyczajaniem się do nadchodzących zmian i zmniejszaniem poziomu niepokoju przed przyszłością. W przeszłości opisywaną rolę odgrywały różnego rodzaju prorocтва, które przepowiadały klęski żywiołowe, np. suszę czy powódź. Zapoznanie się z niektórymi prognozami prowadziło do znacznie bardziej opanowanych reakcji na zmiany, a w niektórych przypadkach nawet do ich pełnego zaakceptowania (*Dittmann 2008*).

Funkcja aktywizująca polega głównie na pewnego rodzaju pobudzeniu do podejmowania działań, które mogą sprzyjać realizacji prognozy w przypadku, kiedy zapowiada ona korzystne zdarzenia lub wręcz przeciwstawiającej się jej spełnieniu w tych przypadkach, w których przewidywane zdarzenia są oceniane jednoznacznie negatywnie (*Aczel i Sounderpandian 2017*).

Funkcja argumentacyjna polega na tym, że prognoza jest w stanie dostarczyć osobom zarządzającym odpowiednich argumentów, które znacznie ułatwiają podejmowanie wybranych przez nich decyzji (*Zeliaś i inni 2001*).

Dwie ostatnie pomocnicze funkcje prognoz (funkcja doradczą i mediacyjną) polegają na przygotowaniu wybranych informacji odnoszących się do zjawisk, które są przedmiotem wybranego procesu decyzyjnego (*Zeliaś i inni 2001*).

Istnieje wiele kryteriów klasyfikacji prognoz. Najważniejszym z nich jest horyzont czasowy, czyli długość okresu, na jaki prognoza została opracowana. Pod względem tego kryterium wyróżnić można:

- prognozy krótkoterminowe, których horyzont czasowy najczęściej nie przekracza jednego roku,

- prognozy średnioterminowe budowane najczęściej na okres do dwóch lat,
- prognozy długoterminowe obejmują okres od dwóch do pięciu lat.

Wymieniona klasyfikacja ma charakter umowny, gdyż warunkuje go głównie charakter zjawiska, które podlega prognozowaniu. Dla przykładu meteorologiczne prognozy krótkookresowe opracowywane są na kilka do kilkunastu godzin, średniookresowe na kilka kolejnych dni, a długookresowe na kilkanaście kolejnych dni. Przeciwnieństwem przedstawionych długości okresów może być demografia, w której do prognoz krótkookresowych zalicza się najczęściej prognozy budowane na okres nie przekraczający pięciu lat, natomiast prognozy średniookresowe i długookresowe na okresy odpowiednio do dziesięciu i powyżej dziesięciu lat (*Aczel i Sounderpandian 2017, Gajda 2001, Zeliaś i inni 2001*). Do podstawowych kryteriów wyboru metody prognozowania należą przede wszystkim:

- wybrany horyzont czasowy,
- ogólna dostępność,
- wielkość kosztów związanych z zebraniem danych,
- możliwość łatwego i praktycznego przeprowadzenia potrzebnych obliczeń oraz interpretacji,
- wiarygodność uzyskanych wyników.

Duże znaczenie odgrywa również problem dopuszczalności wykorzystanej metody progностycznej (*Dittmann 2008, Gajda 2001, Krawczyk 2001, Zeliaś i inni 2001*). Pośród metod prognozowania można wyróżnić metody ilościowe i jakościowe. Ilościowe metody prognozowania buduje się w oparciu o dane empiryczne, które dotyczą bezpośrednio kształtowania się zarówno wartości zmiennej prognozowanej (np. wielkości wypadkowości bezwzględnej), jak i wartości zmiennych objaśniających (czyli okresu czasu do jakiego odnosi się wielkość wypadkowości) w przyszłości (*Aczel i Sounderpandian 2017, Szapiro 2001, Zeliaś i inni 2001*). Najczęściej wykorzystuje się sześć podstawowych metod prognozowania ilościowego opartego na modelach (*Dittmann 2008, Dittmann i inni 2011, Sobczyk 2008*):

- szeregów czasowych,
- ekonometrycznych,
- analogowych,
- zmiennych wiodących,
- wynikach testów rynkowych,

- analizy kohortowej.

Metody jakościowe oparte są na opinii wybranego eksperta lub danej grupy ekspertów. Formułowane przez nich opinie mogą, choć nie muszą być tworzone w oparciu o dane, które dotyczą kształtowania się wartości zmiennej prognozowanej oraz zachowania się wartości zmiennych objaśniających w niedalekiej przyszłości. Pośród metod jakościowego prognozowania można wyróżnić następujące metody (*Dittmann i inni 2011, Sobczyk 2008*):

- delficką (opinie ekspertów uzyskiwane w procesie ankietyzacji),
- brain storming (opinie ekspertów wymieniane bezpośrednio),
- opinie pracowników,
- opinie kierownictwa,
- badania intencji odbiorców.

5.2. Etapy mechanizmu prognozowania i miary dokładności prognoz

Złożony proces podejmowania decyzji składa się z kilku etapów i powinien przebiegać według z góry określonego schematu postępowania. Do najważniejszych etapów należy zidentyfikowanie sytuacji decyzyjnej, następnie zaprojektowanie wybranych wariantów, a potem dokonanie ich oceny i w konsekwencji wybór jednego z wariantów według założonych kryteriów. Ostatni etap obejmuje realizację danej decyzji oraz kontrolę efektów wybranej decyzji (*Cieślak (red.) 2011, Chybalski i inni 2007, Gass 1976, Mańkowski i Tarapata 2000, Nazarko (red.) 2005, Nowak (red.) 1998, Witkowski i Klimanek 2006, Zawadzki 1989*).

Cały proces prognozowania obejmuje szereg czynności, które ujmują się w tzw. etapy procesu prognostycznego (*Dittmann 2008, Gajda 2001, Lipiec-Zajchowska (red.) 2003, Szymshal i Blacha 2005, Witkowska 2006, Zeliaś 1007, Zeliaś i inni 2001*):

- **w pierwszym etapie** określa się najczęściej zjawisko podlegające prognozowaniu, a także definiuje cel budowy danej prognozy, który wynika z konkretnie rozwiązywanego problemu decyzyjnego. Po jednoznacznym określeniu celu budowanej prognozy należy dokonać wyboru zmiennej opisującej dane zjawisko i określić: okres prognostyczny, wielkość przedziału czasowego oraz horyzont prognozy. Na podstawie maksymalnej wartości błędu budowanej prognozy określa się również wymagania związane z dopuszczalnością prognozy (stopień niepewności). Dopuszczalny błąd prognozy ma najczęściej charakter asymetryczny. Jednoznaczne

sformułowanie zadania prognostycznego ma bezpośredni wpływ na postępowanie prognosty w kolejnych etapach procesu prognostycznego;

- **w drugim etapie** określone są przesłanki prognostyczne, które ujmuje najważniejsze czynniki związane z bliższym i dalszym otoczeniem rozważanego zagadnienia. W tym etapie należy również przyjąć hipotezy dotyczące sposobu oddziaływania wybranych czynników na kształtowanie się zjawiska objętego prognozowaniem;
- **trzeci etap** procesu prognostycznego obejmuje: zebranie, obróbkę i analizę statystyczną danych prognostycznych oraz zebranie danych, które są niezbędne do zbudowania modelu i ostatecznego sformułowania prognozy; następnie przeprowadzenie obróbki danych, w wyniku której można wykryć istniejące prawidłowości związane z korelacją i charakterem trendu oraz wahań sezonowe. Prawidłowość prowadzonego procesu wnioskowania zależy od tego, czy prognosta ma do dyspozycji właściwy zasób danych dotyczący prognozowanego zjawiska oraz umiejętność ich wykorzystywania do konstrukcji prognozy.
- **czwarty z etapów** procesu prognostycznego sprowadza się do dokonania wyboru metody prognozowania, w skład której wchodzi budowa modelu oraz reguła samego prognozowania. Prawidłowo dobrany model prognostyczny powinien odwzorować prawidłowości zachodzące w przeszłości oraz takie, co do których budujący prognozę zakłada, że będą występowały w przyszłości w prognozowanym zjawisku. Omawiane odwzorowanie ma najczęściej charakter uproszczony w odniesieniu do warunków rzeczywistych, ale powinno zachować wszystkie istotne cechy zjawiska, takie jak istniejący trend, czy wahań sezonowe. Wśród wykorzystywanych modeli prognostycznych wyróżnia się modele, które mają na ogół postać równania lub układu równań, a za regułę prognozowania uważa się sposób przejścia od modelu do prognozy. Najczęściej wykorzystywaną regułą prognozowania jest reguła "podstawowa", w której budowaną prognozę otrzymuje się na drodze ekstrapolacji modelu. Gdy zanotowane odchylenia związane z empirycznymi obserwacjami zmiennej prognozowanej od odpowiadających im wartości teoretycznych będą utrzymywać się w najbliższej przyszłości, wykorzystuje się często regułę "podstawową z poprawką". W innych przypadkach wykorzystuje się również inne reguły prognozowania jak na przykład regułę "największej wiarygodności", w której za wielkość prognozy przyjmuje się stan zmiennej związanej z największym prawdopodobieństwem realizacji (najczęściej wartość dominantny). Czasami stosuje się

regułę „minimalnej straty”, w której za wielkość prognozy przyjmuje się taki stan zmiennej, którego zrealizowanie prowadzi do najmniejszych strat. Wybór właściwej metody prognozowania należy do równie ważnych, jak jej późniejsze poprawne wykorzystanie. Podstawowym warunkiem wyboru właściwej metody prognozowania jest przede wszystkim poprawnie przeprowadzony proces diagnostyczny lub też sam opis danego problemu połączony ze zgromadzeniem danych, które są niezbędne do jego rozwiązania. Do budowy prognozy można wykorzystywać zarówno bardzo proste metody (np. oparte na modelach szeregów czasowych), jak i bardziej skomplikowane (np. oparte na uzyskanych wcześniej wynikach przeprowadzonych testów). Ponieważ każdy problem prognostyczny jest inny, wymaga od prognosty dobrej znajomości istniejących metod prognozowania. Istotną rolę w procesie wyboru metody konstrukcji prognozy odgrywają różne przesłanki prognostyczne. Wybór metody prognozowania wiąże się ściśle z rodzajem danych, które są wykorzystywane w budowie samej prognozy. Dla przykładu, w modelach opartych o różnego rodzaju trendy wykorzystuje się dane w postaci szeregu czasowego zmiennej prognozowanej a w modelu analogowym - dane w postaci rozbudowanego szeregu czasowo-przekrojowego. W metodach ekonometrycznych stosuje się dane w postaci wielowymiarowych szeregów czasowych zmiennej prognozowanej przy jednoczesnej znajomości wielkości zmiennych objaśniających. Istniejący trend, obecność wahań sezonowych czy istotnej korelacji z innymi zjawiskami mają znaczny wpływ na wybór właściwej metody wykorzystywanej w budowaniu prognoz. Przy wyborze metody budowania prognozy najważniejsze role odgrywają najczęściej: prostota, łatwość jej wykorzystania, liczba okresów (jakie obejmuje się daną prognozą), koszty wybranych metod oraz ich horyzont czasowy. Możliwość zastosowania techniki komputerowej w rozwiązywaniu problemów prognostycznych wpływa na znaczne zwiększenie możliwości wykorzystania wielu różnorodnych, często nawet bardzo skomplikowanych metod prognozowania, a jednym z czynników decydujących o wyborze danej metody jest dysponowanie właściwym oprogramowaniem;

- **piąty etap** dotyczy skonstruowania odpowiedniego modelu prognostycznego oraz oszacowania prognozy za pomocą wybranych, opisanych wcześniej reguł prognozowania. Jeśli prognosta przyjmuje postawę pasywną, to skonstruowana prognoza jest najczęściej uznawana za ostateczną, natomiast gdy osoba wykonująca prognozę przyjmie postawę aktywną, uwzględniając różnorakie hipotezy związane

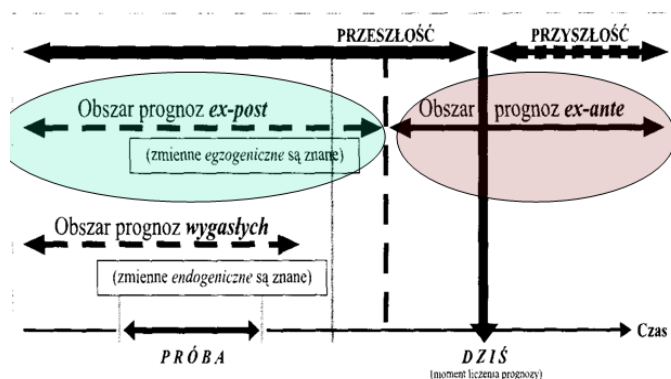
z oddziaływaniem na zjawisko prognozowane, to prognozę ostateczną wybiera się najczęściej spośród zdefiniowanych prognoz badawczych.

- **w szóstym etapie** prowadzi się prace związane z oceną dopuszczalności prognozy, gdyż samo wyznaczenie prognozy nie kończy procesu prognostycznego. Stopień niepewności prognozy wyrażany jest najczęściej za pomocą błędu *ex-ante* określającego w sposób bezpośredni dokładność uzyskanej prognozy, a wiarygodność konstruowanej prognozy za pomocą poziomu prawdopodobieństwa jej spełnienia się. ~~konstruowanej prognozy~~. Dokładność prognozy (dobroć dopasowania) określa się za pomocą błędów *ex-post* prognoz wyznaczonych na okresy wcześniejsze niż okres ocenianej prognozy. Błąd prognozy *ex-ante* może być szacowany jedynie w odniesieniu do prognoz ilościowych opartych na modelach formalnych. Wielkość błędu *ex-post* stosowana jest również bezpośrednio do oceny trafności konstruowanych prognoz, przy czym mogą to być prognozy budowane na okresy, dla których już wcześniej są znane dane empiryczne.
- **siódmy etap** obejmuje wykorzystanie opracowanej prognozy zgodnie z celem założonym w pierwszym etapie procesu prognozowania,
- **ósmym (ostatnim) etapem** obejmuje działania polegające na analizie i ocenie trafności skonstruowanej prognozy, którą można zweryfikować dopiero po upływie okresu, dla którego ją zbudowano. Wyniki oceny trafności skonstruowanej prognozy wykorzystuje się w procesie ewentualnej modyfikacji aktualnej prognozy, czyli w okresie jej ważności. Jeśli trafność zbudowanej prognozy charakteryzowała się niewielkim błędem *ex-post*, to wybraną metodę prognozowania można po ewentualnej aktualizacji zebranych wcześniej danych empirycznych wykorzystać do zbudowania prognoz na kolejne okresy, ale warunkiem jest stałość i niezmienność: horyzontu, okresu, przedziału, dopuszczalności samej prognozy i przesłanek prognostycznych. Gdy błąd prognozy *ex-post* jest zbyt duży (w stosunku do założonej wielkości), to przed konstrukcją kolejnych prognoz należy powrócić do wcześniejszych etapów procesu prognostycznego.

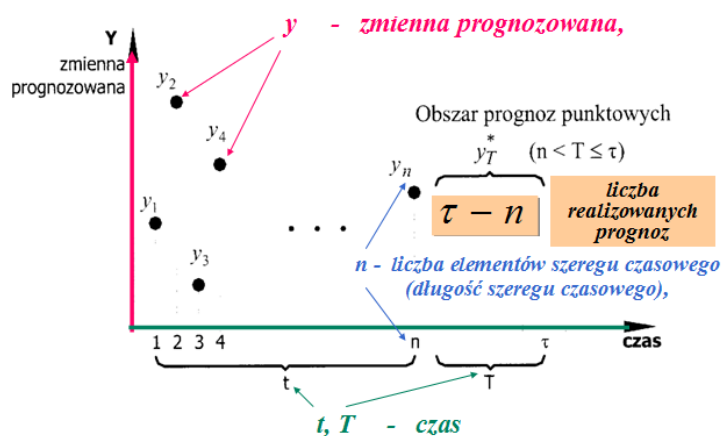
6. WYBRANE MODELE PROGNOSTYCZNE

W definicji pojęcia „prognoza” występują dwie przesłanki: pierwsza, to wskazanie, co ma być prognozowane; druga, to jakie wykorzystać metody, by tego dokonać. Proces przewidywania i oceny przyszłości, zgodnie z teorią prognoz, oparty jest na teoretycznych badaniach, analitycznych rozważaniach, logicznych przesłankach oraz praktycznych doświadczeniach. W teorii wykorzystywane są metody ilościowe o charakterze statystycznym, rachunek prawdopodobieństwa oraz modele. Modele opisują ilościowe współzależności zachodzące pomiędzy zmiennymi *ex-post*, gdzie historyczne dane empiryczne są podstawą do oszacowania parametrów struktury stochastycznej (Błaszczuk 2006, Pawełek i inni 2008).

Strukturę procesu prognostycznego oparto na schemacie przedstawionym na rys. 6.1 (Gajda 2001), natomiast wybrane oznaczenia, przyjęte w procesie prognozowania zaprezentowano na rys. 6.2 dla przejrzystości opisu prezentowanych modeli (Gajdzik i Szymuszal 2016).



Rys. 6.1. Schemat postępowania prognostycznego (Gajda 2001).



Rys. 6.2. Oznaczenia w modelach prognostycznych (Gajdzik i Szymuszal 2016).

Współczynnik zmienności jako względną miarę zróżnicowania rozkładu cechy (miara rozproszenia) opisać można zależnościami:

$$V_z = \frac{s}{y} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t} \quad (6.1)$$

lub

$$V_z = \frac{s}{y} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t} \quad (6.2)$$

Wysoka wartość tego współczynnika oznacza duże zróżnicowanie cechy i świadczy o niejednorodności badanego zbioru danych; niska wartość świadczy o małej zmienności cechy i jednorodności tego zbioru (*Krawiec 2014*).

Aby oszacować poziom dopuszczalności przyjętych metod prognostycznych, jak również w celu wyboru najlepszych metod, dokonuje się ewaluacji dwóch najczęściej wyznaczanych błędów prognoz wygasłych (*Czyżycki i inni 2006, Czyżycki i Klóska 2011, Hillier i Lieberman 2005, Welfe 2009, Witkowska 2005*):

- średniej wartości względnego błędu prognoz wygasłych Ψ ,
- pierwiastka kwadratowego, obliczanego ze średniego kwadratowego błędu prognoz pozornych $RMSE^*$.

Optymalizacja wartości prognozy punktowej oparta jest na poszukiwaniu minimalnej wartości jednego z wyżej wymienionych błędów, traktowanej jako jej kryterium. Spośród przetestowanych metod wybiera się prognozy optymalne w oparciu o wymienione kryteria optymalizacji (*Czyżycki i Klóska 2011, Kildiszew, A. Frenkel 1976, Krawiec 2014, Tarapata 2000*).

Średnią wartość względnego błędu prognoz wygasłych Ψ , która informuje o części błędu bezwzględnego, przypadającego na jednostkę rzeczywistej wartości zmiennej y wyznacza się według wzoru:

$$\Psi = \frac{1}{n-m} \sum_{t=m+1}^n \frac{|y_t - y_t^*|}{y_t} \quad (6.3)$$

Po wyznaczeniu wartości prognozy y_t^* , dla każdego z okresów t (gdzie $t \in \overline{1, T}$) wyznacza

się iloraz $\frac{|y_t - y_t^*|}{y_t}$, gdzie y_t to empiryczna wartość, czyli realizacja zmiennej Y w danym okresie t . W następnej kolejności, wartość obliczonej sumy względnych wartości dzieli się przez ich liczbę $n - m$, gdzie m oznacza liczbę początkowych okresów lub chwil czasu t , dla których nie zrealizowano prognozy wygasłej lub ta prognoza jest efektem mechanizmu rozruchowego (*Brown 1959, Brown 1963, Czyżycki i inni 2006, Leśkow 2005, Sobczyk 2008, Welfe 2009*).

Błąd $RMSE^*$ określa się w oparciu o następującą procedurę: po wyznaczeniu wartości prognozy y_t^* dla każdego z przyjętych okresów czasu t ($t \in \overline{1, T}$) szacuje się wartości kwadratów różnic $(y_t - y_t^*)^2$, a następnie wszystkie wartości te sumuje się, dzieli przez ich liczbę (czyli $n - m$) i z tak otrzymanej liczby wyciąga się pierwiastek kwadratowy. Ostatecznie więc, błąd ten opisuje zależność (*Czyżycki i Klóska 2011, Milo 2002, Welfe 2009, Witkowska 2005*)

$$RMSE^* = \sqrt{\frac{1}{n - m} \sum_{t=m+1}^n (y_t - y_t^*)^2} \quad (6.4)$$

Błąd $RMSE^*$ jest bardziej wrażliwy niż błąd Ψ na występujące w szeregu wartości nietypowe zmiennej prognozowanej, czyli w przypadku, gdy ma się do czynienia z dużymi, choć rzadkimi błędami prognozy. Wartość błędu Ψ jest mniej wrażliwa na mogące wystąpić rzadkie, ale duże błędy, ponieważ miara tego błędu jest szacowana przy użyciu względnych, a nie jak w przypadku błędu $RMSE^*$ bezwzględnych odchyłeń od wartości rzeczywistych podniesionych do kwadratu (*Brown 1963, Czyżycki i inni 2006, Czyżycki i Klóska 2011, Krawiec 2014, Pawłowski 1973, Radzikowska 2004, Welfe 2009, Witkowska 2005*).

6.1. Modele elementarne

Elementarne modele prognostyczne to modele adaptacyjne, opierające się na najprostszych przesłankach odnośnie przyszłości mówiących, że nie nastąpią żadne zmiany w dotychczasowym sposobie oddziaływania wszystkich czynników określających wartości zmiennej prognostycznej, które pozwalają na sformułowanie prognozy punktowej. Pośród modeli elementarnych można wyróżnić:

1. Model metody naiwnej w ujęciu addytywnym dla szeregu czasowego z tendencją

- rozwojową,
2. Model metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym dla szeregu czasowego z tendencją rozwojową,
 3. Model średniej ruchomej zwykłej,
 4. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k=2$),
 5. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k=3$),
 6. Model średniej ruchomej ważonej dla czasowego szeregu kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k=3$),
 7. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k=2$),
 8. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k=3$),
 9. Model średniej ruchomej ważonej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k=3$).

Poniżej przedstawiono algorytmy dla wymienionych dziewięciu modeli.

Ad. 1. Model metody naiwnej w ujęciu addytywnym (Czyżycki i inni 2006) może występować dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) lub z tendencją rozwojową. Tendencja rozwojowa została w niej opisana jako różnica, którą dodaje się do ostatniej wartości szeregu czasowego. Jeżeli współczynnik zmienności $V_z < 0,3$, to szereg czasowy kształtuje się wokół wartości przeciętnej. Wtedy prognozy *ex-post* opisane są zależnością:

$$y_t^* = y_{t-1}, \text{ dla } t = 2, \dots, n, \quad (6.5)$$

a prognozę *ex-ante* przedstawia wyrażenie:

$$y_T^* = y_{T-1}, \text{ dla } T = n+1. \quad (6.6)$$

Jeżeli współczynnik zmienności $V_z > 0,3$, to szereg czasowy kształtuje się wokół trendu i prognozy *ex-post* przyjmują postać:

$$y_t^* = y_{t-1} + (y_{t-1} - y_{t-2}) \text{ dla } t = 3, \dots, n, \quad (6.7)$$

a prognozę *ex-ante* opisuje wzór:

$$y_T^* = y_{T-1} + (y_{T-1} - y_{T-2}) \text{ dla } T = n + 1. \quad (6.8)$$

Wadą tej metody jest to, że można zbudować tylko jedną prognozę punktową.

Ad. 2. **Model metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym** (Zeliaś 1997) rozważa się wtedy, gdy zmienna wartość wynikająca z tendencji rozwojowej może być wyrażana w sposób względny (za pomocą ilorazu). W założeniach dla tej metody prognozy *ex-post* są równe:

$$y_t^* = y_{t-1} \cdot \left(\frac{y_{t-1}}{y_{t-2}} \right) \text{ dla } t = 3, \dots, n, \quad (6.9)$$

natomiast prognozy *ex-ante* przyjmują postać:

$$y_T^* = y_{T-1} \cdot \left(\frac{y_{T-1}}{y_{T-2}} \right)^{(T-n)} \text{ dla } T = n + 1, \dots, \tau. \quad (6.10)$$

Ad. 3. W **modelu średniej ruchomej zwykłej** (Guzik 2007) uwzględnia się w procesie budowania prognozy wszystkie obserwacje danego szeregu czasowego $\{y_1, y_2, \dots, y_T\}$. Prognoza na czas $T + 1$ wyznaczana jest w oparciu o następujący wzór:

$$y_{T+1}^* = \bar{y} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y_t \quad (6.11)$$

Ze wzoru tego wynika, że w każdym kolejnym okresie zwiększa się liczba wyników obserwacji, które brane są pod uwagę przy budowaniu prognozy. Do zalet prognozowania opartego na zwykłej średniej jest dość duża prostota obliczeniowa oraz ograniczenie wpływu wahań przypadkowych ostateczny kształt prognozy. Wśród wad tej metody prognozowania należy wymienić fakt, że wszystkie obserwacje uwzględniane przy stawianiu prognozy są jednakowo ważne, niezależnie od ich wieku. Wykorzystane w pracy kolejne metody prognozowania oparte o wartości średnie uwzględniają ważny fakt, że starzejące się obserwacje powinny mieć malejące znaczenie dla prognozowania przyszłych wartości zmiennej.

Model średniej ruchomej może służyć zarówno do wygładzania szeregu czasowego jak i do prognozowania. Polega to na wygładzeniu zmiennych poprzez ich średnią, gdy w danych występuje duży błąd losowy. Najprostszym sposobem wyeliminowania tego błędu jest wprowadzenie średniej ruchomej, która działa jak filtr, eliminując z szeregu wahania krótkookresowe. Wykorzystanie tej metody jest przydatne, gdy nie ma możliwości doboru dostatecznie dokładnej postaci analitycznej funkcji trendu.

Ad. 4. W **modelu średniej ruchomej prostej** (Witkowska 2005) dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej dla **stałej wygładzania $k = 2$** prognozy *ex-post* opisane są zależnościami:

$$y_t^* = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k}^{t-1} y_i \quad \text{dla } t = 3, \dots, n, \quad (6.12)$$

a prognoza *ex-ante* zapisana jest wzorem:

$$y_T^* = \frac{1}{k} \sum_{i=T-k}^{T-1} y_i \quad \text{dla } T = n + 1, \dots, \tau. \quad (6.13)$$

Ad. 5. W przypadku, gdy stała wygładzania $k = 3$ w modelu średniej ruchomej prostej (Witkowska 2005) dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej, prognozy *ex-post* opisane są równaniem (6.12) dla $t = 4, \dots, n$, natomiast prognozę *ex-ante* opisuje wyrażenie (6.13).

Ad. 6. **Metoda średniej ruchomej ważonej** (Krawiec 2014) jest jedną z metod prognostycznych opartych na analizie szeregów czasowych bez tendencji. Stosowana jest przy stałym poziomie zjawiska oraz znacznych wahaniami przypadkowych. Bieżące dane zazwyczaj mają większy wpływ na kształtowanie się szeregu, niż dane w bardziej odległej przeszłości, co pozwala przypisać przedziałom szeregu odpowiednie wagi w metodzie średniej ruchomej ważonej. W modelu średniej ruchomej ważonej dla czasowego szeregu kształtującego się wokół wartości przeciętnej dla stałej wygładzania $k = 3$ prognozy *ex-post* opisywane są wzorem:

$$y_t^* = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k}^{t-1} (y_i \cdot w_{i-t+k+1}) \quad \text{dla } t = 4, \dots, n, \quad (6.14)$$

a prognozę *ex-ante* opisuje zależność:

$$y_T^* = \frac{1}{k} \sum_{i=T-k}^{T-1} (y_i \cdot w_{i-T+k+1}) \quad \text{dla } T = n + 1, \dots, \tau. \quad (6.15)$$

Wagi występujące w tej metodzie muszą spełniać założenie:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^k w_i = 1 \\ 0 < w_1 < w_2 < \dots < w_k < 1 \end{cases} \quad (6.16)$$

Ad. 7. W modelu średniej ruchomej prostej (Krawiec 2014) dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej dla $k = 2$ prognozy *ex-post* opisane są wyrażeniem:

$$y_t^* = y_{t-1} + \frac{y_{t-1} - y_{t-k-1}}{k} \quad \text{dla } t = 4, \dots, n, \quad (6.17)$$

a prognoza *ex-ante* następującym wzorem:

$$y_T^* = y_{T-1} + \frac{y_{T-1} - y_{T-k-1}}{k} \quad \text{dla } T = n + 1, \dots, \tau. \quad (6.18)$$

Ad. 8. W modelu średniej ruchomej prostej (Dittmann 2008, Dittmann i inni 2011) dla szeregu kształtującego się wokół **tendencji rozwojowej przy stałej wygładzania $k = 3$** prognozy *ex-post* opisane są równaniem (6.17) dla $t = 4, \dots, n$, natomiast prognozę *ex-ante* opisuje wyrażenie (6.18).

Ad. 9. W modelu średniej ruchomej ważonej (Kildiszew i Frenkel 1976) dla szeregu kształtującego się wokół **tendencji rozwojowej dla $k = 3$** prognozy *ex-post* opisywane są zależnością:

$$y_t^* = y_{t-1} + \sum_{i=t-k}^{t-1} (y_i - y_{i-1}) \cdot w_{i-t+k+1} \quad \text{dla } t = 5, \dots, n, \quad (6.19)$$

a prognoza *ex-ante* następującym wyrażeniem:

$$y_T^* = y_{T-1} + \sum_{i=T-k}^{T-1} (y_i - y_{i-1}) \cdot w_{i-T+k+1} \quad \text{dla } T = n + 1, \dots, \tau. \quad (6.20)$$

Wagi występujące w tej metodzie muszą spełniać założenie układu równań (6.16).

6.2. Modele wygładzania wykładniczego

Mechanizm wygładzania wykładniczego jest metodą obróbki szeregu czasowego prowadzącą do istotnego zmniejszenia jego wariancji poprzez wykorzystanie ważonej średniej ruchomej z przeszłych wartości. Wagi maleją wykładniczo wraz z odległością w czasie. Metoda jest stosowana do prostego usuwania szumu danych w szeregu czasowym.

W zastosowanych w dysertacji modelach wygładzania wykładniczego zakłada się, że informacja zawarta w szeregach czasowych starzeje się w sposób wykładniczy. Mechanizm ten jest przydatny w prognozowaniu szeregów czasowych o niewielkim stosunku sygnału do szumu, szczególnie jeśli nie ma wyraźnego trendu i wyraźnych wahań sezonowych. Wykorzystano następujące modele wygładzania wykładniczego (numeracja modeli jest kontynuacją z poprzedniego rozdziału):

10. Prosty model wygładzania wykładniczego,
11. Model pojedynczego wygładzania wykładniczego (Browna),
12. Model wykładniczo-autoregresyjny ($k=3$),
13. Model wykładniczo-autoregresyjny ($k=2$),
14. Model liniowy Holta z trendem addytywnym (dla różnych mechanizmów rozruchu),

15. Model liniowy Holta z trendem multiplikatywnym (dla różnych mechanizmów rozruchu),
16. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (dla różnych mechanizmów rozruchu),
17. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego (dla różnych mechanizmów rozruchu),
18. Model kwadratowy Holta w formule addytywnej (dla różnych mechanizmów rozruchu),
19. Metoda podwójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu liniowego,
20. Metoda potrójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu kwadratowego,
21. Zaawansowany model wykładniczo-autoregresyjny,
22. Model trendu pełzającego – prognozowanie metodą wag harmoniczných.

W dalszej części pracy przedstawiono algorytmy tych modeli.

Ad. 10. Wersja A. W przyjętej wersji **prostego modelu wygładzania wykładniczego** (Aczel i Sounderpandian 2017, Gardner 1985) zakłada się, że punkt rozruchowy $y_1^* = y_1$. Prognozy *ex-post* opisywane są układem równań:

$$\begin{cases} y_1^* = y_1 \\ y_t^* = \alpha \cdot y_{t-1} + (1-\alpha) \cdot y_{t-1}^* \end{cases} \quad \text{dla } t = 2, \dots, n, \quad (6.21)$$

natomiast prognozy *ex-ante* przyjmują postać

$$y_T^* = \alpha \cdot y_{T-1} + (1-\alpha) \cdot y_{T-1}^* \quad \text{dla } T = n + 1, \dots, \tau. \quad (6.22)$$

Wartości parametru alfa (α) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub $RMSE^*$.

Ad. 10. Wersja B. W kolejnej wersji **prostego modelu wygładzania wykładniczego** (Aczel i Sounderpandian 2017, Gardner 1985) zakłada się, że punkt rozruchowy oraz prognozy *ex-post* opisuje układ równań:

$$\begin{cases} y_1^* = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6}{6} \\ y_t^* = \alpha \cdot y_{t-1} + (1-\alpha) \cdot y_{t-1}^* \end{cases} \quad \text{dla } t = 2, \dots, n, \quad (6.23)$$

a prognozy *ex-ante* opisywane są zależnością (6.22). Podobnie jak w wersji A, wartości parametru alfa (α) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub $RMSE^*$.

Ad. 11. W modelu pojedynczego wykładniczego Browna (Brown 1959, Brown 1963) prognozy *ex-post* opisywane są układem czterech równań:

$$\begin{cases} G_1 = y_1 \\ G_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot G_{t-1} \quad dla \quad t = 2, \dots, n \\ F_{t-1} = G_{t-1} + (G_{t-1} - G_{t-2}) \quad dla \quad t = 2, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} \quad dla \quad t = 3, \dots, n \end{cases} \quad (6.24)$$

natomiast prognozy *ex-ante* układem następujących dwóch równań:

$$\begin{cases} F_n = G_n - G_{n-1} \\ y_T^* = F_n \quad dla \quad T = n+1, \dots, \tau \end{cases} \quad (6.25)$$

Wartości parametru alfa (α) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub $RMSE^*$.

Ad. 12. W modelu wykładniczo-autoregresyjnym (Milo 2002) dla stałej wykładzania $k = 3$ należy na wstępie dobrać stałe k i l (np. $k = 3, l = 2$). Aby uwzględnić efekt starzenia się informacji, należy nałożyć ograniczenia:

$$\begin{cases} 0 < \beta_i \leq 1; \sum_{i=1}^k \beta_i = 1; 0 < \dots \leq \beta_{i+1} \leq \beta_i \leq \beta_{i-1} \leq \dots \leq 1 \\ 0 < \delta_j \leq 1; \sum_{j=1}^l \delta_j = 1; 0 < \dots \leq \delta_{j+1} \leq \delta_j \leq \delta_{j-1} \leq \dots \leq 1 \end{cases} \quad (6.26)$$

Prognozy *ex-post* opisuje układ równań:

$$\begin{cases} G_t = y_t \quad dla \quad t = 1, \dots, k \\ G_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot \sum_{i=1}^k (\beta_i \cdot G_{t-i}) \quad dla \quad t > k \\ y_t^* = G_{t-1} + \sum_{j=1}^l \delta_j \cdot (G_{t-j} - G_{t-j-1}) \quad dla \quad t = l+2, \dots, n \end{cases} \quad (6.27)$$

a prognozy *ex-ante* następujące równania:

$$\begin{cases} F_n = G_n + \sum_{j=1}^l \delta_j \cdot (G_{n-j+1} - G_{n-j}) \\ y_T^* = F_n \quad dla \quad T = n+1, \dots, \tau \end{cases} \quad (6.28)$$

Ad. 13. W **modelu wykładniczo-autoregresyjnym dla $k = 2$** (Milo 2002), analogicznie jak w modelu poprzednim, należy na wstępie dobrać stałe k i l (np. $k = 2, l = 2$). Efekt starzenia się informacji opisany jest zależnością (6.26), prognozy wygasłe opisuje układ równań (6.27), a prognozy *ex-ante* układ równań (6.28).

Ad. 14. Wersja A. W **modelu liniowym Holta z trendem addytywnym** (dla różnych mechanizmów rozruchu) w rozważanej wersji A punkt rozruchowy $S_1 = y_2 - y_1$ (Krawiec 2014). Prognozy *ex-post* opisuje układ pięciu równań:

$$\begin{cases} F_1 = y_1 \\ S_1 = y_2 - y_1 \\ F_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (F_{t-1} + S_{t-1}) \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \beta \cdot (F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot S_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} + S_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \end{cases} \quad (6.29)$$

a prognozy *ex-ante* układ następujących trzech równań:

$$\begin{cases} F_n = \alpha \cdot y_n + (1 - \alpha) \cdot (F_{n-1} + S_{n-1}) \\ S_n = \beta \cdot (F_n - F_{n-1}) + (1 - \beta) \cdot S_{n-1} \\ y_T^* = F_n + (T - n) \cdot S_n \text{ dla } T = n + 1, \dots, \tau \end{cases} \quad (6.30)$$

Wartości parametru *alfa* (α) oraz *beta* (β) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub $RMSE^*$.

Ad. 14. Wersja B. W **modelu liniowym Holta z trendem addytywnym** (dla różnych mechanizmów rozruchu) w rozważanej wersji B (Krawiec 2014) punkt rozruchowy $S_1 = 0$. Model prognozy opisany jest układem równań:

$$\begin{cases} F_1 = y_1 \\ S_1 = 0 \\ F_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (F_{t-1} + S_{t-1}) \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \beta \cdot (F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot S_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} + S_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \end{cases} \quad (6.31)$$

Prognozy *ex-ante* opisuje układ równań (6.30). Wartości parametru *alfa* (α) oraz *beta* (β) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub $RMSE^*$.

Ad. 15. Wersja A. W **modelu liniowym Holta z trendem multiplikatywnym** (dla różnych mechanizmów rozruchu) w wersji A (Chatfield 1986, Yar i Chatfield 1990, Krawiec 2014) punkt rozruchowy $S_1 = y_2/y_1$. Prognozy *ex-post* można zapisać:

$$\begin{cases} F_1 = y_1 \\ S_1 = \frac{y_2}{y_1} \\ F_t = \alpha \cdot y_t + (1-\alpha) \cdot (F_{t-1} \cdot S_{t-1}) \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \beta \cdot \frac{F_t}{F_{t-1}} + (1-\beta) \cdot S_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} \cdot S_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \end{cases} \quad (6.32)$$

a prognozy *ex-ante* przyjmują postać:

$$\begin{cases} F_n = \alpha \cdot y_n + (1-\alpha) \cdot (F_{n-1} \cdot S_{n-1}) \\ S_n = \beta \cdot \frac{F_n}{F_{n-1}} + (1-\beta) \cdot S_{n-1} \\ y_T^* = F_n \cdot S_n^{(T-n)} \text{ dla } T = n+1, \dots, \tau \end{cases} \quad (6.33)$$

Wartości parametru *alfa* (α) oraz *beta* (β) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub $RMSE^*$ (Holt 2004).

Ad. 15. Wersja B. W modelu liniowym Holta z trendem multiplikatywnym (dla różnych mechanizmów rozruchu) w wersji B (Chatfield 1986, Yar i Chatfield 1990, Krawiec 2014) punkt rozruchowy $S_1 = 1$. Prognozy *ex-post* są opisane układem równań:

$$\begin{cases} F_1 = y_1 \text{ oraz } S_1 = 1 \\ F_t = \alpha \cdot y_t + (1-\alpha) \cdot (F_{t-1} \cdot S_{t-1}) \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \beta \cdot \frac{F_t}{F_{t-1}} + (1-\beta) \cdot S_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} \cdot S_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \end{cases} \quad (6.34)$$

natomiast prognozy *ex-ante* przyjmują postać zależności (6.33). Wartości parametru *alfa* (α) oraz *beta* (β) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub $RMSE^*$.

Ad. 16. Wersja A. W modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (dla różnych mechanizmów rozruchu) w wersji A (Chatfield 1986, Yar i Chatfield 1990, Radzikowska 2004) punkt rozruchowy $S_1 = y_2 - y_1$. Parametr wygaszania trendu f_i (Φ) przybiera wartości z przedziału $(0,1]$. Prognozy *ex-post* przedstawia układ równań:

$$\begin{cases} F_1 = y_1 \text{ oraz } S_1 = y_2 - y_1 \\ F_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (F_{t-1} + S_{t-1}) \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \beta \cdot (F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot S_{t-1} \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} + S_{t-1} \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \end{cases} \quad (6.35)$$

natomiast prognozy *ex-ante* mają postać:

$$\begin{cases} F_n = \alpha \cdot y_n + (1 - \alpha) \cdot (F_{n-1} + S_{n-1}) \cdot \Phi \\ S_n = \beta \cdot (F_n - F_{n-1}) + (1 - \beta) \cdot S_{n-1} \cdot \Phi \\ y_T^* = F_n + (T - n) \cdot S_n \cdot \Phi^{T-n} \text{ dla } T = n + 1, \dots, \tau \end{cases} \quad (6.36)$$

Wartości parametru *alfa* (α), *beta* (β) oraz *fi* (Φ) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub *RMSE**.

Ad. 16. Wersja B. W modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu **addytywnego** (dla różnych mechanizmów rozruchu) w wersji B (*Chatfield 1986, Yar i Chatfield 1990, Radzikowska 2004*) punkt rozruchowy $S_1 = 0$. Model prognozy *ex-post* opisuje następujący układ równań:

$$\begin{cases} F_1 = y_1 \text{ oraz } S_1 = 0 \\ F_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (F_{t-1} + S_{t-1}) \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \beta \cdot (F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot S_{t-1} \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} + S_{t-1} \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \end{cases} \quad (6.37)$$

a prognozy *ex-ante* przybierają formę zależności (6.36). Wartości parametru *alfa* (α), *beta* (β) oraz *fi* (Φ) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub *RMSE**.

Ad. 17. Wersja A. W modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu **multiplikatywnego** (dla różnych mechanizmów rozruchu) w wersji A (*Pawełek i inni 2008*) punkt rozruchowy $S_1 = y_2/y_1$. Model prognozy *ex-post* przedstawia następujący układ równań:

$$\begin{cases} F_1 = y_1 \text{ oraz } S_1 = \frac{y_2}{y_1} \\ F_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (F_{t-1} \cdot S_{t-1}) \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \beta \cdot \frac{F_t}{F_{t-1}} + (1 - \beta) \cdot S_{t-1} \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} \cdot S_{t-1} \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \end{cases} \quad (6.38)$$

a prognozy *ex-ante* przyjmują postać:

$$\begin{cases} F_n = \alpha \cdot y_n + (1 - \alpha) \cdot (F_{n-1} \cdot S_{n-1}) \cdot \Phi \\ S_n = \beta \cdot \frac{F_n}{F_{n-1}} + (1 - \beta) \cdot S_{n-1} \cdot \Phi \\ y_T^* = F_n \cdot S_n^{(T-n)} \cdot \Phi^{T-n} \text{ dla } T = n+1, \dots, \tau \end{cases} \quad (6.39)$$

Wartości parametru *alfa* (α), *beta* (β) oraz *fi* (Φ) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub $RMSE^*$.

Ad. 17. Wersja B. W **modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego** (dla różnych mechanizmów rozruchu) w wersji B (Pawełek i inni 2008) punkt rozruchowy $S_1 = 1$. Prognozy *ex-post* opisuje następujący układ równań:

$$\begin{cases} F_1 = y_1 \text{ oraz } S_1 = 1 \\ F_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (F_{t-1} \cdot S_{t-1}) \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \beta \cdot \frac{F_t}{F_{t-1}} + (1 - \beta) \cdot S_{t-1} \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} \cdot S_{t-1} \cdot \Phi \text{ dla } t = 2, \dots, n \end{cases} \quad (6.40)$$

natomiast prognozy *ex-ante* mają postać zależności (6.39). Wartości parametru *alfa* (α), *beta* (β) oraz *fi* (Φ) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub $RMSE^*$.

Ad. 18. Wersja A. W **modelu kwadratowym Holta w formule addytywnej** (dla różnych mechanizmów rozruchu) w wersji A (Krawiec 2014) punkt rozruchowy $S_1 = y_2 - y_1$. Prognozy *ex-post* opisują zależności:

$$\begin{cases} F_1 = y_1 \text{ oraz } S_1 = y_2 - y_1 \text{ oraz } N_1 = y_3 - 2y_2 + y_1 \\ N_2 = y_3 - 2y_2 + y_1 \\ F_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (F_{t-1} + S_{t-1} + N_{t-1}) \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \beta \cdot (F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot S_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ N_t = \Phi \cdot (F_t - 2 \cdot F_{t-1} + F_{t-2}) + (1 - \Phi) \cdot N_{t-1} \text{ dla } t = 3, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} + S_{t-1} + \frac{1}{2} \cdot N_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \end{cases} \quad (6.41)$$

a prognozy *ex-ante* przyjmują postać:

$$\begin{cases} F_n = \alpha \cdot y_n + (1 - \alpha) \cdot (F_{n-1} + S_{n-1} + N_{n-1}) \\ S_n = \beta \cdot (F_n - F_{n-1}) + (1 - \beta) \cdot S_{n-1} \\ N_n = \Phi \cdot (F_n - 2 \cdot F_{n-1} + F_{n-2}) + (1 - \Phi) \cdot N_{n-1} \\ y_T^* = F_n + (T - n) \cdot S_n + \frac{1}{2} \cdot (T - n)^2 \cdot N_n \text{ dla } T = n+1, \dots, \tau \end{cases} \quad (6.42)$$

Wartości parametru *alfa* (α), *beta* (β) oraz *fi* (Φ) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub $RMSE^*$.

Ad. 18. Wersja B. W **modelu kwadratowym Holta w formule addytywnej** (dla różnych mechanizmów rozruchu) w wersji B (*Krawiec 2014*) punkt rozruchowy $S_1 = 0$.

Prognozy *ex-post* opisuje układ równań:

$$\begin{cases} F_1 = y_1 \text{ oraz } S_1 = 0 \text{ oraz } N_1 = 0 \\ N_2 = y_3 - 2y_2 + y_1 \\ F_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (F_{t-1} + S_{t-1} + N_{t-1}) \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \beta \cdot (F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot S_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ N_t = \Phi \cdot (F_t - 2 \cdot F_{t-1} + F_{t-2}) + (1 - \Phi) \cdot N_{t-1} \text{ dla } t = 3, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} + S_{t-1} + \frac{1}{2} \cdot N_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \end{cases} \quad (6.43)$$

natomiast prognozy *ex-ante* przedstawia zależność (6.42). Wartości parametru *alfa* (α), *beta* (β) oraz *fi* (Φ) ustala się dla minimalnej wartości jednego z dwóch błędów prognoz wygasłych Ψ lub $RMSE^*$.

Ad. 19. W **modelu podwójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu liniowego** ($k = 2$) (*Brown 1959, Brown 1963*) w formułach rozruchu modelu zakłada się, że $G_1 = y_1$ oraz że $H_1 = y_1$, co pozwala obliczyć operatory wygładzania prognoz. Wtedy model prognozy *ex-post* przyjmuje formę układu równań:

$$\begin{cases} G_1 = y_1 \\ H_1 = y_1 \\ G_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot G_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ H_t = \alpha \cdot G_t + (1 - \alpha) \cdot H_{t-1} \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ F_t = 2 \cdot G_t - H_t \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \cdot (G_t - H_t) \text{ dla } t = 2, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} + S_{t-1} \text{ dla } t = 3, \dots, n \end{cases} \quad (6.44)$$

a model prognozy *ex-ante* przedstawia układ równań:

$$\begin{cases} G_n = \alpha \cdot y_n + (1 - \alpha) \cdot G_{n-1} \\ H_n = \alpha \cdot G_n + (1 - \alpha) \cdot H_{n-1} \\ F_n = 2 \cdot G_n - H_n \\ S_n = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \cdot (G_n - H_n) \\ y_T^* = F_n + (T - n) \cdot S_n \text{ dla } T = n + 1, \dots, \tau \end{cases} \quad (6.45)$$

Ad. 20. Model potrójnego wykładniczego Browna dla modelu kwadratowego ($k=3$) (Brown 1963,67) definiowany jest przez operatory: pierwszego, drugiego i trzeciego rzędu (G_1, H_1, M_1). Zakłada się, że $G_1 = H_1 = M_1 = y_1$. Model prognozy *ex-post* opisuje układ równań:

$$\left\{ \begin{array}{l} G_1 = H_1 = M_1 = y_1 \\ G_t = \alpha \cdot y_t + (1-\alpha) \cdot G_{t-1} \quad \text{dla } t = 2, \dots, n \\ H_t = \alpha \cdot G_t + (1-\alpha) \cdot H_{t-1} \quad \text{dla } t = 2, \dots, n \\ M_t = \alpha \cdot H_t + (1-\alpha) \cdot M_{t-1} \quad \text{dla } t = 2, \dots, n \\ F_t = 3 \cdot G_t - 2H_t + M_t \quad \text{dla } t = 2, \dots, n \\ S_t = \frac{\alpha}{2 \cdot (1-\alpha)^2} \cdot (6-5 \cdot \alpha) \cdot G_t - (10-8 \cdot \alpha) \cdot H_t + (4-3 \cdot \alpha) \cdot M_t \quad \text{dla } t = 2, \dots, n \\ N_t = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^2 \cdot (G_t - 2 \cdot H_t + M_t) \quad \text{dla } t = 2, \dots, n \\ y_t^* = F_{t-1} + S_{t-1} \quad \text{dla } t = 3, \dots, n \end{array} \right. \quad (6.46)$$

natomiast model prognozy *ex-ante* następujący układ równań:

$$\left\{ \begin{array}{l} G_n = \alpha \cdot y_n + (1-\alpha) \cdot G_{n-1} \\ H_t = \alpha \cdot G_n + (1-\alpha) \cdot H_{n-1} \\ M_t = \alpha \cdot H_n + (1-\alpha) \cdot M_{n-1} \\ F_n = 3 \cdot G_n - 3 \cdot H_n + M_n \\ S_n = \frac{\alpha}{2 \cdot (1-\alpha)^2} \cdot (6-5 \cdot \alpha) \cdot G_n - (10-8 \cdot \alpha) \cdot H_n + (4-3 \cdot \alpha) \cdot M_n \\ N_n = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^2 \cdot (G_n - 2 \cdot H_n + M_n) \\ y_T^* = F_n + (T-n) \cdot S_n + \frac{1}{2} \cdot (T-n)^2 \cdot M_n \quad \text{dla } T = n+1, \dots, \tau \end{array} \right. \quad (6.47)$$

Ad. 21. W zaawansowanym modelu wykładniczo-autoregresyjnym (Makridakis, Wheelwright 1989, Witkowska 2005) formuły rozruchu modelu zakładają, że $G_1 = y_1, G_2 = y_2, \dots, G_k = y_k$, co pozwala rekurencyjnie obliczyć operator wykładniczy G dla prognozy. Należy też dobrać stałe wykładniczego k i l (np.: $k = 3, l = 2$). Aby uwzględnić efekt starzenia się informacji, należy nałożyć ograniczenia:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 < \beta_i \leq 1; \sum_{i=1}^k \beta_i = 1; 0 < \dots \leq \beta_{i+1} \leq \beta_i \leq \beta_{i-1} \leq \dots \leq 1 \\ 0 < \delta_j \leq 1; \sum_{j=1}^l \delta_j = 1; 0 < \dots \leq \delta_{j+1} \leq \delta_j \leq \delta_{j-1} \leq \dots \leq 1 \end{array} \right. \quad (6.48)$$

Prognozy *ex-post* opisuje układ równań (6.27), a prognozy *ex-ante* można wyznaczyć z zależności:

$$y_T^* = G_n + (T - n) \cdot \sum_{j=1}^l \delta_j \cdot (G_{n-j+1} - G_{n-j}) \quad \text{dla } T = n+1, \dots, \tau \quad (6.49)$$

Ad. 22. W metodzie trendu pelzającego z wagami harmonicznymi (Aczel i Sounder-pandian 2017, Czyżycki i inni 2006, Zeliaś 1997) wyodrębnienia się tendencje rozwojowej zmiennej prognozowanej.

Metoda wag harmonicznych 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 $k = 4$ obserwacje),
- oszacowanie na podstawie kolejnych fragmentów szeregu o długości k liniowych funkcji trendu,
- obliczenie wartości teoretycznych wynikających z poszczególnych funkcji trendu,
- obliczenie wartości trendu pelzającego dla każdego okresu t (średnia arytmetyczna z wartości teoretycznych adekwatnych funkcji trendu dla danego okresu),
- obliczenie przyrostów funkcji trendu w realizuje się według zależności:

$$w_{t+1} = y_{t+1}^* + y_t^* \quad \text{dla } t = 1, 2, \dots, n - 1 \quad (6.50)$$

- a) nadanie wag poszczególnym przyrostom C z następującej zależności:

$$C_{t+1}^n = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^t \frac{1}{n-1} \quad \text{dla } t = 1, 2, \dots, n - 1 \quad (6.51)$$

- b) prognozy *ex-ante* w tej metodzie prognozowania oblicza się wg wzoru:

$$y_T^* = y_n + (T - n) \cdot \left(\sum_{t=2}^n w_t \cdot c_t \right) \quad \text{dla } T = n+1, \dots, \tau \quad (6.52)$$

6.3. Liniowe i linearyzowane prognostyczne modele regresyjne

Do trzeciego rodzaju modeli prognostycznych wykorzystanych w pracy zaliczono model liniowy oraz modele linearyzowane. Model można zlinearyzować, jeżeli istnieje jednoznaczne jego przekształcenie, w wyniku którego otrzymuje się model liniowy.

W razie potrzeby dokonywano linearyzacji modeli: potęgowego, wykładniczego, logarytmicznego, wielomianowego stopnia drugiego oraz hiperbolicznego, wykorzystując odpowiednie przekształcenia.

23. Prognoza oparta na modelu liniowym

24. Prognoza oparta na modelu nieliniowym - linearyzowanym,

Ad. 23 i 24. Oceny parametrów modeli linowych oraz modeli po linearyzacji oszacowano za pomocą klasycznej metody najmniejszych kwadratów – w skrócie KMNK. W tym celu wykorzystano narzędzie analizy danych arkusza kalkulacyjnego EXCEL (*Fylstra i inni 1998, Kalinowski 2000, Middleton 2004, Strahl i inni 2004, Węgrzyn 2011, Żarowska-Mazur i Węglarz 2012, Źądło i Wywiół 2008*) o nazwie *REGRESJA*. Wyniki oceny statystycznej uzyskanych modeli ujmowały następujące wielkości:

- Współczynnik korelacji jednoczynnikowej lub wieloczynnikowej (wielorakiej) R .
- Współczynnik determinacji R^2 , który jest miarą dopasowania modelu do danych empirycznych, czyli danych surowych wprowadzanych do modelu określa jaka część zmienności zmiennej objaśnianej jest wyjaśniana przez dany model zawierający wybraną (lub wybrane) zmienną objaśniającą. Dla modelu liniowego (lub też nieliniowego po linearyzacji) z wyrazem wolnym, którego parametry oszacowano metodą KMNK, współczynnik determinacji R^2 jest liczbą z przedziału $[0, 1]$. Im wartość R^2 jest bliższa jedności, tym uzyskany model jest lepiej dopasowany do danych empirycznych.
- Błąd standardowy S_e , zwany odchyleniem standardowym reszt, który jest pierwiastkiem kwadratowym z oszacowanej wariancji składnika losowego:

$$S_e = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^n e_t^2 \quad (6.53)$$

gdzie:

n – liczebność zbioru (liczba danych szeregu czasowego),

k – liczba szacowanych parametrów (dla modelu jednoczynnikowego $k = 1$),

e_t – różnica pomiędzy wartością empiryczną a wartością teoretyczną (modelową) zmiennej objaśnianej dla każdego rozpatrywanego okresu t .

Im mniejsza jest wartość błędu standardowego S_e , tym lepiej model jest dopasowany do danych empirycznych.

- Współczynnik zmienności losowej V_e , informujący, jak wielki procent średniej arytmetycznej zmiennej objaśnianej Y stanowi odchylenie standardowe reszt S_e . Wartość procentową V_e wyraża wzór:

$$V_e = \frac{S_e}{Y} \cdot 100 \quad (6.54)$$

Jeżeli współczynnik V_e nie przekracza założonej z góry wartości granicznej, którą najczęściej ustala się na poziomie granicznej wartości maksymalnej równej 15%, to pozwala stwierdzić, że model jest dobrze dopasowany do danych empirycznych.

- Poziom testowej istotności statystycznej dla współczynnika regresji p , który w przypadku oceny korelacji jednoczynnikowej jest równy wartości p oceniającej istotność statystyczną dla współczynnika korelacji. Do weryfikacji hipotezy o braku zależności liniowej pomiędzy badanymi cechami populacji (sprawdzanie istotności współczynników równania regresji liniowej) służy statystyka testowa t Studenta, która opiera się na współczynniku nachylenia prostej wyliczonym dla próby. Hipoteza zerowa w tym teście zakłada, że wartość oszacowanego współczynnika korelacji jest równa zero. Tak więc wartość $p \leq \alpha$, pozwala na odrzucenie tej hipotezy i przyjęcie hipotezy alternatywnej mówiącej o statystycznie istotnej korelacji liniowej.
- Po wykazaniu, że prosta regresji ma nachylenie istotnie różne (większe lub mniejsze) od zera, można dokonać oszacowania przedziału ufności dla współczynnika kierunkowego oraz wyznaczyć średnie błędy szacunku ocen parametrów danej funkcji regresji.

6.4. Modele autoregresyjne

Do czwartego rodzaju modeli prognostycznych wykorzystanych w pracy zaliczono modele autoregresyjne zwane też autokorelacyjnymi.

Jedno z założeń klasycznej metody najmniejszych kwadratów dotyczy braku skorelowania pomiędzy składnikami losowymi, lecz jak wykazuje doświadczenia praktyczne, założenie to czasem nie jest spełnione, zwłaszcza w modelach dla szeregów czasowych, które to właśnie rozpatruje się w niniejszej pracy. Fakt ten wynika głównie z pewnej inercji badanych zjawisk.

25. Modele autoregresyjne AR

Ad. 24. Modele autoregresyjne polegają na wyznaczeniu tzw. autokorelacji pomiędzy wartościami empirycznymi, a wartościami przesuniętymi o k okresów. Mówi się wtedy o auto-korelacji $AR(k)$. Najczęściej ocenę występowania autokorelacji opiera się na współczynniku autokorelacji (tzw. współczynniku autokorelacji z próby), który można wyznaczyć ze wzoru:

$$\rho = \frac{\sum_{i=2}^n e_i e_{i-1}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2 \cdot \sum_{i=2}^n e_{i-1}^2}} \quad (6.55)$$

We wzorze tym e_i to wartości reszt, czyli odchyłeń wartości rzeczywistych zmiennej objaśnianej od ich wartości modelowych.

Najpopularniejszym testem weryfikującym istnienie autokorelacji pierwszego rzędu jest test Durбина-Watsona (D-W), przy czym szacowana w tym teście statystyka d ma postać:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (6.56)$$

Z tego względu, że rozkład statystyki d jest zależny zarówno od liczby obserwacji n , jak i liczby szacowanych parametrów k , autorzy testu sporządzili specjalne tablice zawierające wartości krytyczne: górną d_U i dolną d_L , oraz zaproponowali przedstawiony niżej tok wnioskowania:

- Jeśli $\rho > 0$, to weryfikacja hipotezy $H_0: \rho = 0$, wobec $H_1: \rho > 0$ jest następująca:
 - ✓ Gdy $d > d_U$, to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 (brak autokorelacji).
 - ✓ Gdy $d < d_L$, to należy odrzucić hipotezę H_0 (występuje autokorelacja dodatnia).
 - ✓ Gdy $d_L \leq d \leq d_U$, to test nie daje rozstrzygnięcia.
- Jeśli $\rho < 0$, to weryfikacja hipotezy $H_0: \rho = 0$, wobec $H_1: \rho < 0$ jest następująca:
 - ✓ Gdy $4 - d > d_U$, to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 (brak autokorelacji).
 - ✓ Gdy $4 - d < d_L$, to należy odrzucić hipotezę H_0 (występuje autokorelacja ujemna).
 - ✓ Gdy $d_L \leq 4 - d \leq d_U$, to test nie daje rozstrzygnięcia.

Test Durбина-Watsona może być wykorzystywany również do weryfikacji hipotezy $H_0: \rho = 0$, wobec $H_1: \rho \neq 0$. W tym przypadku, gdy:

- ✓ $d_U < d < 4 - d$, to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 (brak autokorelacji);
- ✓ $0 < d < d_L$, lub $4 - d < d < 4$ to należy odrzucić hipotezę H_0 (występuje autokorelacja);

✓ Gdy $4 - d_U \leq d \leq 4 - d_L$, lub $d_L \leq d \leq d_U$ to test nie daje rozstrzygnięcia.

Można dodać, że zaleca się, aby w przypadku znalezienia się w obszarze niekonkluzywnym przyjąć, że składniki losowe nie są skorelowane (Strawiński 2020).

Omawiane testy wraz z ich implementacją w Excelu oraz tok postępowania przy budowaniu modeli autoregresyjnych zostaną dokładnie omówione przy ich weryfikacji w dalszej części pracy.

6.5. Ocena średniokresowego tempa zmian

W pierwszym etapie obliczono tzw. indeksy łańcuchowe. Na przykład indeks łańcuchowy 2008/2007 dla poszczególnych analizowanych zmiennych (np. liczby wypadków ogółem) otrzymano dzieląc wartość zmiennej w 2008 r. przez jej wartość w 2007 r. itd.

W drugim etapie oszacowano tzw. średni indeks, jako średnią geometryczną z oszacowanych indeksów (łańcuchowych) wg wzoru:

$$\bar{i}_G = \sqrt[2]{\text{indeks}_{2008/2007} \cdot \text{indeks}_{2009/2008} \cdot \dots \cdot \text{indeks}_{2018/2017}} \quad (6.57)$$

W trzecim etapie, dla każdej z badanych zmiennych dokonano oszacowania *średniokresowego tempa zmian T* według wzoru:

$$\bar{T} = \bar{i}_G \cdot 100 - 100\% \quad (6.58)$$

Średniokresowe tempo zmian może być wielkością dodatnią, ujemną lub równe zero:

- Jeśli $T > 0$, to średnie tempo zmian jest wielkością dodatnią i oznacza średni wzrost badanego zjawiska z okresu na okres.
- Jeśli $T < 0$, to występuje średnie tempo spadku badanego zjawiska.
- Jeśli $T = 0$, to badane zjawisko utrzymuje się na tym samym poziomie.

7. CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy jest sporządzenie krótkoterminowych prognoz wypadków przy pracy (w oparciu o wybrane modele prognostyczne) na podstawie analizy bezwzględnej i wskaźnikowej danych statystycznych dotyczących wypadków przy pracy dla wybranych trzech kopalń węgla kamiennego (o złożonej i prostej strukturze, mających za sobą intensywne i mniejsze przekształcenia własnościowe, reprezentatywnych dla całej branży górniczej).

Zakres pracy obejmuje:

- analizę literaturową zagadnienia,
- analizę podstaw prawnych dotyczących wypadków przy pracy,
- analizę bezwzględną i wskaźnikową wypadków przy pracy na podstawie danych statystycznych,
- analizę metod prognozowania,
- sformułowanie celu i zakresu badań,
- opracowanie analizy bezwzględnej i wskaźnikowej wypadków,
- opracowanie prognoz wypadkowości według różnych modeli ekonometrycznych,
- weryfikację modeli w oparciu o późniejsze dane statystyczne.

Badania przeprowadzono na przykładzie działalności trzech wybranych kopalń węgla kamiennego: KWK „Mysłowice-Wesoła”, KWK „Budryk” i ZG „Brzeszcze” traktowanych w świetle przepisów prawa jako pracodawcy, zgodnie z art. 3 ustawy Kodeks pracy (*Ustawa 1974 ze zm.*) oraz jako zakłady górnicze, zgodnie z art. 6.1, pkt 18 ustawy Prawo geologiczne i górnicze (*Ustawa 2011 ze zm.*). Analizy statystyczne opracowano dla przedziału czasu obejmującego lata 2007-2018. Osobno uwzględniono wypadkowość wśród załóg własnych kopalń oraz pośród pracowników firm usługowych działających w ruchu zakładu górniczego.

W procesie prognozowania wykorzystano i przetestowano 25 modeli prognostycznych. Opracowano odpowiednie algorytmy obliczeń z wykorzystaniem narzędzi oferowanych przez program Excel.

8. ANALIZA STATYSTYKI WYPADKÓW PRZY PRACY W WYBRANYCH KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Poniżej przedstawiono zebrane dane statystyczne dotyczące wypadkowości przy pracy (łącznie z wypadkami traktowanymi jako wypadki przy pracy) wraz z charakterystycznymi danymi produkcyjnymi do wyznaczania wskaźników wypadkowości dla załogi własnej i firm usługowych w wybranych KWK w oparciu o statystyki WUG z lat 2007–2018 (*WUG 2007-2018*). Na podstawie zebranych informacji opracowano analizę bezwzględną i wskaźnikową wypadków przy pracy. Powyższe dane tablicowe i wskaźniki posłużyły następnie jako materiał wejściowy do opracowania prognoz wypadkowości.

W analizach i prognozach nie uwzględniono wypadków w trakcie ubezpieczenia wypadkowego z uwagi na brak możliwości ich identyfikacji dla kopalń węgla kamiennego. W pracy nie uwzględniono również wypadków w drodze do pracy i z pracy, gdyż tego rodzaju wypadków nie zawierają statystyki: GUS, WUG i ZUS.

8.1. KWK „Mysłowice - Wesola”

Poniżej przedstawiono wyniki analizy bezwzględnej i wskaźnikowej dla załogi własnej i firm usługowych w KWK „Mysłowice - Wesola” w latach 2007-2018.

8.1.1. Analiza bezwzględna

Wyniki analizy bezwzględnej wypadkowości wśród załogi własnej KWK „Mysłowice-Wesola” (*WUG 2007-2018*) w latach 2007-2018 kształtują się następująco (Tablica 8.1.1):

- a) liczba wypadków ogółem 1152; średnia 96 rocznie, rozstęp w zakresie 85÷114; spadek wypadkowości w latach 2007-2010 (10,0%), wzrost w 2011 r. (10%), spadek w latach 2011-2013 (6,1%), wzrost w 2014 r. (20,4%) i spadek w latach 2014-2016 (20,5%); brak wyraźnej tendencji; w 2018 r. zanotowano nieznaczny spadek (4,5%) w stosunku do roku 2017; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków ogółem na poziomie 1,5%, w roku 2014 zanotowano 30 ofiar katastrofy górniczej;
- b) liczba wypadków śmiertelnych 15, średnia 1,5 rocznie, rozstęp 0-7; 1,33% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 75 wypadek ogółem; wypadki śmiertelne wystąpiły w latach 2007-2009, 2012 i 2014, brak wyraźnej tendencji, w 2014 w katastrofie górniczej było 5 ofiar śmiertelnych;

- c) liczba wypadków ciężkich 18, średnia roczna 1,5, rozstęp 0-15; 1,60% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 63 wypadek ogółem; wypadki ciężkie wystąpiły w latach 2009, 2010, 2014 (katastrofa) i 2018; brak wyraźnie zarysowanej tendencji.

Tablica 8.1.1. Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości,
KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna (WUG 2007-2018)

t	Rok	Wypadki				Liczba zatrudnionych	Wydobycie Mg	Liczba dni absencji wypadkowej*
		ogółem	śmiertelne	ciężkie	lekkie			
	T	W	W _s	W _c	W _l	Z	P	D _s
1	2007	100	2	0	98	5 835	4 080 100	7 091
2	2008	92	3	0	89	5 657	3 153 154	7 003
3	2009	91	2	1	88	5 774	3 333 970	6 283
4	2010	90	0	1	89	5 709	3 600 000	7 474
5	2011	99	0	0	99	5 280	3 735 704	8 858
6	2012	96	1	0	95	5 080	3 593 000	8 330
7	2013	93	0	0	93	4 691	3 786 150	6 329
8	2014	112	7	15	90	4 580	2 614 050	8 815
9	2015	91	0	0	91	4 315	2 920 000	7 519
10	2016	89	0	0	89	4 257	2 923 000	7 826
11	2017	114	0	0	114	3 911	1 658 200	7 635 ⁸⁸
12	2018	85	0	1	84	3 509	1 948 600	7 338 ⁸⁸

* (COIG 2007-2016), ** (KWK „Mysłowice - Wesoła” 2019)

- d) liczba wypadków lekkich 1119, średnia roczna 93,3, rozstęp 84-114; 97,07% udziału w wypadkach ogółem, średnio 29 na 30 wypadków ogółem; spadek w latach 2007-2009 (10,2%), wzrost w latach 2009-2011 (12,5%), spadek w latach 2011-2014 (9,1%), wzrost w 2015 r. (2,2%) i spadek w 2018 roku (3,3%); w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków lekkich na poziomie 1,4%,
- e) w roku 2014 na KWK „Mysłowice-Wesoła” wystąpiła katastrofa górnicza, gdzie zarejestrowano 7 wypadków śmiertelnych i 15 wypadków ciężkich (najwięcej w rozważanym okresie);
- f) liczba zatrudnionych w całym badanym okresie 585989, średnio w roku 4833, rozstęp 3509÷5835; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby zatrudnionych na poziomie 4,5%,
- g) wydobyte 37346 tys. Mg, średnia w roku 3112 tys. Mg, rozstęp 1658-4080 (tys. Mg); spadek w 2008 r. (22,7%), wzrost w latach 2008-2011 (18,5%), spadek w 2012 r. (3,8%), wzrost w 2013 r. (5,4%) i spadek w latach 2013-2018 (48,5%); w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku wielkość wydobywania na poziomie 6,5%,

h) liczba dni absencji wypadkowej 90501, średnia roczna 7542, rozstęp 6283-8858; spadek w latach 2007-2009 (11,4%), wzrost w latach 2009-2011 (41,0%), spadek w latach 2011-2013 (28,6%), wzrost w 2014 r. (39,3%), spadek w 2015 r. (14,7%) i wzrost w 2016 roku (4,1%), oraz nieznaczny spadek w latach 2016-2018 (6,5%); w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono bardzo nieznaczne średnio-okresowe tempo wzrostu liczby dni absencji chorobowej na poziomie 0,3%.

Na podstawie analizy bezwzględnej wypadkowości wśród pracowników firm usługowych działających na terenie KWK „Mysłowice-Wesoła” (WUG 2007-2018) w latach 2007-2018 (Tablica 8.1.2) można stwierdzić, że:

- a) liczba wypadków ogółem 294, średnia roczna 24,5, rozstęp w zakresie 6-37; spadek wypadkowości w latach 2009-2011 (o ok. 83,8%), gwałtowny wzrost w 2012 r. (83,8%), spadek w latach 2014-2016 (6,1%), wzrost w 2014 r. (20,4%); spadek w latach 2014-2017 (61,1%) oraz wzrost w 2018 o 57% w stosunku do roku poprzedniego; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków ogółem na poziomie 2,8%,
- b) liczba wypadków śmiertelnych 9, średnia roczna 0,8, rozstęp 0-3; 3,1% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 33 wypadek ogółem; wypadki śmiertelne wystąpiły w latach: 2009, 2012, 2013, 2015, 2017 i 2018; brak wyraźnej tendencji,

Tablica 8.1.2. Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe (WUG 2007-2018)

t	Rok	Wypadki				Liczba zatrudnionych
		ogółem	śmiertelne	ciężkie	lekkie	
	t	W	W _s	W _c	W _l	Z
1	2007	30	0	0	30	627
2	2008	18	0	0	18	1039
3	2009	37	1	0	36	679
4	2010	24	0	0	24	723
5	2011	6	0	0	6	1500
6	2012	37	1	1	35	1858
7	2013	32	3	1	28	2040
8	2014	36	0	0	36	2147
9	2015	23	1	0	22	1917
10	2016	15	0	0	15	1585
11	2017	14	2	0	12	1181
12	2018	22	1	1	20	1511

c) liczba wypadków ciężkich 3, średnia roczna 0,3, rozstęp 0-1; 1,02% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 98 wypadek ogółem; wypadki ciężkie wystąpiły w latach 2012, 2013 i 2018; brak wyraźnej tendencji,

- d) liczba wypadków lekkich 282, średnia roczna 23,5, rozstęp 6-36; 95,9% udziału w wypadkach ogółem, spadek w latach 2014-2017 (66,6%) oraz wzrost w roku 2018 o 66,6% w stosunku do roku poprzedniego; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków lekkich na poziomie 3,6%,
- e) liczba zatrudnionych w całym analizowanym okresie 16807, średnia roczna ok. 1401, rozstęp 627-2147; można mówić o tendencji spadkowej w latach 2014-2017 (44,9%) oraz o wzroście w roku 2018 o 29,7% w stosunku do roku poprzedniego; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo wzrostu liczby zatrudnionych na poziomie 8,3%.

Sumaryczne zestawienie danych o wypadkowości dla załogi własnej i firm usługowych w KWK „Mysłowice - Wesola” przedstawiono w Tabelicy 8.1.3 w Załączniku 1.

8.1.2. Analiza wskaźnikowa

Z punktu widzenia opracowań statystycznych i porównywania wyników, bardziej miarodajne i reprezentatywne jest posługiwanie się wskaźnikami wypadkowości, niż wartościami bezwzględnyymi, które nie uwzględniają odniesień do warunków pracy, zatrudnienia i wielkości produkcji. Podstawy teoretyczne analizy wskaźnikowej omówiono w rozdziale 4, natomiast w tabelicy 8.1.4 zostały zamieszczone wartości wybranych wskaźników:

- częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z ,
- częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D ,
- częstości wypadków na 1 mln Mg wydobycia W_T ,
- ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego C_W ,
- ryzyka wypadków W_R ,

Wskaźniki te zostały opracowane w oparciu o zależności z rozdziału 4.5 i tabelicę 8.1.1 zawierającą dane dotyczące analizy bezwzględnej wypadkowości dla załogi własnej KWK „Mysłowice-Wesola”.

Ze względu na brak dostępu do danych o liczbie roboczodniówek D w ciągu roku, w przypadku wskaźnika częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D (równanie 4.7), można oszacować przybliżone ich wartość z zależności:

- roboczodniówka $D = \{21 \text{ (dni/pracownik/miesiąc)} \times 12 \text{ (miesiąc/rok)} - 26 \text{ (dni-urlop/rok/pracownik)}\} \times Z$ (liczba zatrudnionych).

Tablica 8.1.4. Wskaźniki wypadków (KWK „Mysłowice – Wesola” – załoga własna)

Lp.	Wskaźnik	Rok											
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1.	częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z	17,1	16,3	15,8	15,8	18,8	18,9	19,8	24,5	21,3	20,9	29,1	24,2
2.	częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D	7,6	7,2	7,0	7,0	8,3	8,4	8,8	10,8	9,4	9,3	10,1	10,7
3.	częstości wypadków na 1 mln Mg wydobycia W_T	30,6	36,5	34,1	31,3	33,1	33,4	30,7	53,6	39,4	38,1	67,1	54,5
4.	ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego C_W	72,4	78,7	70,6	83,0	89,5	87,7	68,1	84,0	81,7	87,9	85,8	86,3
5.	ryzyka wypadków W_R	1240	1280	1113	1309	1678	1657	1349	2053	1743	1838	1952	2091

Przeprowadzona analiza wskaźnikowa (tablica 8.1.4) za lata 2007-2018 wykazała, że wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych miał wartość największą ($W_Z = 29,1$) w roku 2017, natomiast w latach 2009 i 2010 był najniższy i wynosił 15,8. Na wartość drugiego w kolejności wskaźnika z roku 2014 ($W_Z = 24,5$) miała wpływ katastrofa górnicza.

Wskaźnik częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D miał najwyższe wartości w roku 2014 i 2018 (10,8 i 10,7), a najniższą wartość $W_D = 7$ w latach 2009 i 2010.

Wskaźnik częstości wypadków na 1 mln Mg wydobycia (węgiel wzbogacony) W_T w tym samym roku był największy (67,1).

Wskaźnik ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego C_W był najwyższy w roku 2011 ($C_W = 89,5$), co wiązało się z największą liczbą dni absencji wypadkowej $D_S = 8\,858$ dni. Jest to średnio ok. 90 dni niezdolności do pracy przypadających na jednego poszkodowanego, co oznacza, że każdy wypadek (*Ustawa 2002*) jest potencjalnie wypadkiem ciężkim (przy czym wypadków ciężkich w tym roku nie odnotowano).

Wskaźnik ryzyka wypadków W_R jest iloczynem wskaźników W_Z i C_W . Jego największa wartość wynosiła 2091 i dotyczyła roku 2018. Było to związane z dużymi wartościami wskaźników $W_Z = 24,2$ i $C_W = 86,3$.

W tablicy 8.1.5. zamieszczono wybrane wskaźniki:

- częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z ,
- częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D ,

sporządzone w oparciu o zależności z rozdziału 4.5 i tablicę 8.1.2. dotyczącą analizy bezwzględnej wypadkowości dla firm usługowych prowadzących roboty na KWK „Mysłowice-Wesoła”.

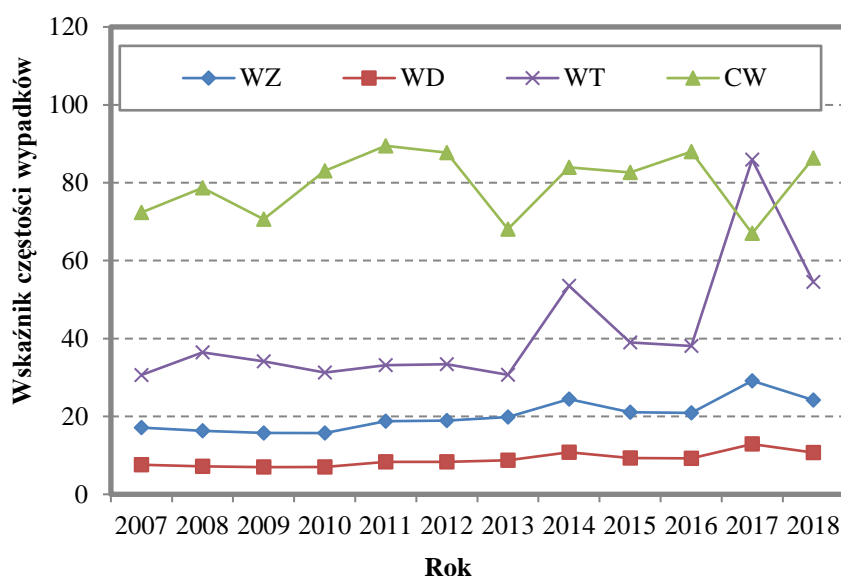
Przeprowadzona analiza wskaźnikowa (tablica 8.1.5) za lata 2007-2018 wykazała, że wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych w roku 2009 miał wartość największą ($W_Z = 54,5$) i był znacznie wyższy (o 30) od takiego samego wskaźnika z roku 2014 dla załogi własnej. W roku 2011 wartość tego wskaźnika była najniższa i wynosiła 4,0.

Tablica 8.1.5. Wskaźniki wypadków (KWK „Mysłowice – Wesoła” – firmy usługowe)

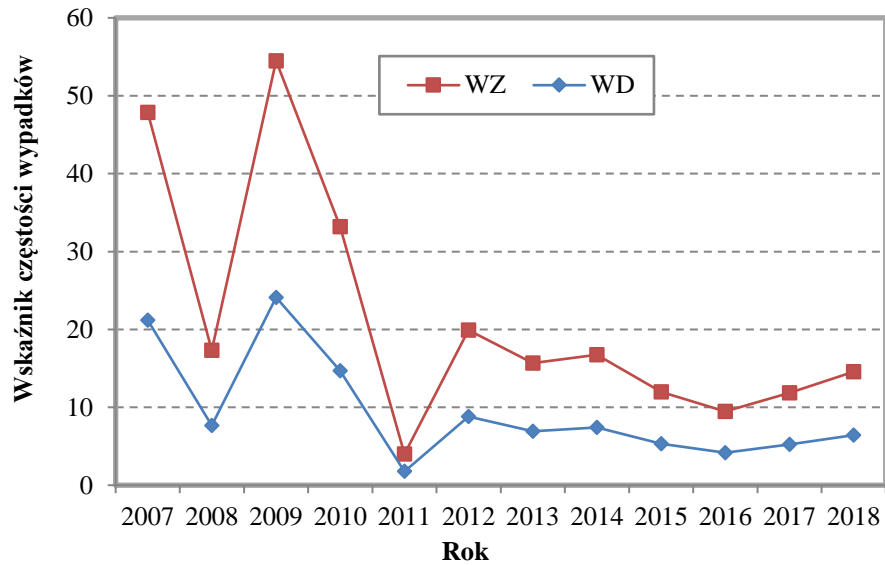
Lp.	Wskaźnik	Rok											
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1.	częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z	47,8	17,3	54,5	33,2	4,0	19,9	15,7	16,8	12,0	9,5	11,9	14,6
2.	częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D	21,2	7,7	24,1	14,7	1,8	8,8	6,9	7,4	5,3	4,2	5,2	6,4

Wskaźnik częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D najwyższą wartość miał w roku 2009 (24,1), a najniższą w roku 2011 (1,8).

Na rysunku 8.1.1 przedstawiono graficzną ilustrację wskaźników W_Z , W_D i W_T opisanych w tablicy 8.1.4 dla załogi własnej, natomiast na rys. 8.1.2 zaprezentowano wskaźniki W_Z i W_D z tablicy 8.1.5 dla firm usługowych KWK „Mysłowice – Wesoła”.

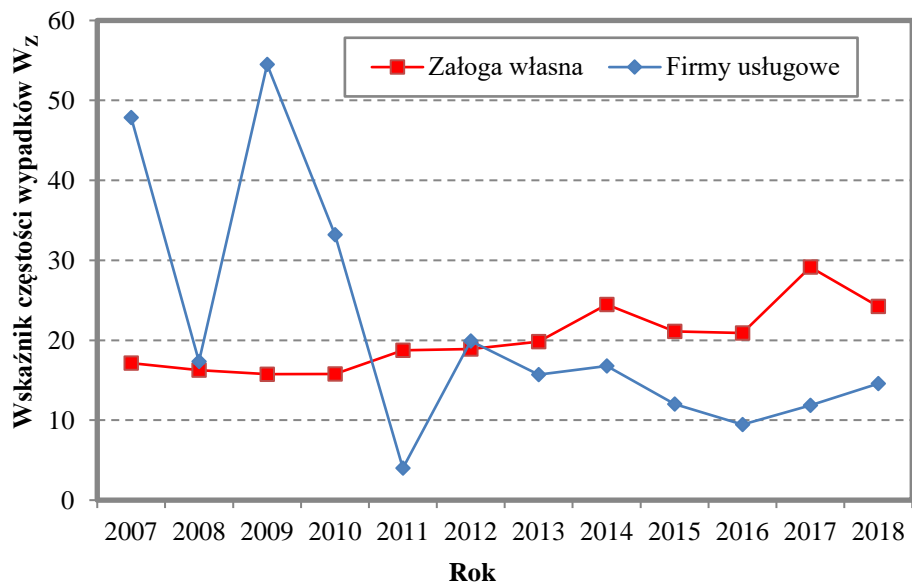


Rys. 8.1.1. Wskaźniki wypadków W_Z , W_D , W_T i C_W dla załogi własnej KWK „Mysłowice – Wesoła”.



Rys. 8.1.2. Wskaźnik częstości wypadków W_Z i W_D dla firm usługowych KWK „Mysłowice – Wesola”.

Wskaźnik częstości wypadków W_D dla załogi własnej ma dość stabilny przebieg i niższe wartości w porównaniu z tymi samymi wskaźnikami dla firm usługowych. Dla załogi własnej, wskaźnik ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego C_W był najwyższy w roku 2011, co wiązało się z największą liczbą dni absencji wypadkowej.



Rys. 8.1.3. Wskaźnik częstości wypadków W_Z , dla KWK „Mysłowice – Wesola”.

Na rysunku 8.1.3 przedstawiono porównanie wskaźnika częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z dla załogi własnej i firm usługowych KWK „Mysłowice – Wesola”. Dla firm usługowych w latach 2007 do 2010 wartości wskaźnika przewyższały znacznie te dla załogi własnej. W roku 2011 dla firm usługowych wskaźnik osiągnął minimum i był prawie pięciokrotnie niższy, niż dla załogi własnej. W latach 2012 do 2018 już nie było tak znaczących różnic. Wartość wskaźnika firm usługowych wahała się od wartości porównywalnej z załogą własną, do ok. połowy tej wartości.

8.2. KWK „Budryk”

8.2.1. Analiza bezwzględna

W tabelicy 8.2.1 przedstawiono wartości bezwzględne wypadkowości dla załogi własnej KWK „Budryk” w latach 2007-2018 (*WUG 2007-2018*). Przeprowadzona analiza wykazała:

- a) liczba wypadków ogółem - 706, średnia roczna - 56,6, rozstęp w zakresie 47-82; wzrost wypadkowości w latach 2008-2010 (ok. 30,9%), spadek w latach 2011-2015 (28,8%), wzrost w roku 2016 (12,8%); w latach 2017 i 2018 zanotowano wzrost odpowiednio o 9,4% i 54,7% w stosunku do roku 2016; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo wzrostu liczby wypadków ogółem na poziomie 3,4%.
- b) liczba wypadków śmiertelnych - 3, średnia w roku - 0,3, rozstęp – 0-1; 0,42% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 235 wypadek ogółem; wypadki śmiertelne wystąpiły w latach 2007, 2016 i 2017; brak wyraźnej tendencji;
- c) liczba wypadków ciężkich - 4, średnia roczna - 0,3; rozstęp – 0-1; 0,57% udziału w wypadkach ogółem, średnio co ok. 177 wypadek ogółem; wypadki ciężkie wystąpiły w latach 2007, 2011, 2013 i 2017; brak wyraźnej tendencji.
- d) liczba wypadków lekkich - 699, średnia roczna - 58,3, rozstęp – 47-82; 99,01% udziału w wypadkach ogółem, wzrost w latach 2007-2010 (ok. 30,9%), spadek w latach 2011-2013 (26,2%), wzrost w roku 2014 (2,1%), spadek w 2015 r. (4,1%) i wzrost w latach 2016-2018 r. (56,6%); można mówić o tendencji spadkowej w latach 2010-2015 (ok. 35%); W całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średnio-okresowe tempo wzrostu liczby wypadków lekkich na poziomie 3,7%.
- e) liczba zatrudnionych w całym analizowanym okresie - 30033, średnia w roku - 2503, rozstęp – 2075-2907; zauważalna tendencja wzrostowa w latach 2007-2011 (4,7%),

spadkowa w latach 2013-2016 (ok. 18%) oraz ponownie wzrostowa w latach 2017-2018 (3,4%); w całym analizowanym okresie 12 lat widoczne jest bardzo niewielkie średniookresowe tempo wzrostu liczby zatrudnionych na poziomie 1,65%,

Tablica 8.2.1. Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, KWK „Budryk” – załoga własna (WUG 2007-2018)

T	Rok	Wypadki				Liczba zatrudnionych	Wydobycie Mg	Liczba dni absencji wypadkowej*
		ogółem	śmiertelne	ciężkie	lekkie			
	t	W	W _s	W _c	W _l	Z	P	D _s
1	2007	57	1	1	55	2 428	3 437 337	3643
2	2008	55	0	0	55	2 471	2 879 300	3821
3	2009	63	0	0	63	2 492	2 810 500	3694
4	2010	72	0	0	72	2 499	3 060 100	3727
5	2011	66	0	1	65	2 541	3 290 682	3876
6	2012	55	0	0	55	2 499	3 084 312	3606
7	2013	49	0	1	48	2 529	3 146 870	3099
8	2014	49	0	0	49	2 511	3 015 683	2884
9	2015	47	0	0	47	2 269	2 884 931	2513
10	2016	53	1	0	52	2 075	2 914 221	3513
11	2017	58	1	1	56	2 812	2 938 492	-
12	2018	82	0	0	82	2 907	3 120 432	-

*(COIG 2007-2016)

- f) wielkość wydobycia - 36583 tys. Mg, średnia w roku - 3049 tys. Mg, rozstęp – 2810-3437 (tys. Mg); spadek w latach 2007-2009 (18,2%), wzrost w latach 2010-2011 (7,5%), spadek w 2012 r. (6,3%), wzrost w 2013 r. (2%), spadek w latach 2014-2015 (4,3%), wzrost w latach 2016-2018 (7,1%); w całym analizowanym okresie 12 lat można twierdzić o braku tendencji w wielkości wydobycia, gdyż średniookresowe tempo spadku było na poziomie jedynie 0,88%,
- g) liczba dni absencji wypadkowej w latach 2007-2016 - 34376, średnia w roku - 3438, rozstęp - 2513÷3876; wzrost w latach 2007-2008 (4,9%), spadek w roku 2009 (3,3%), wzrost w latach 2010-2011 (4,0%), spadek w latach 2012-2015 (30,3%) oraz wzrost w 2016 r. (39,8%); w całym analizowanym okresie 10 lat stwierdzono bardzo nieznaczne średniookresowe tempo spadku liczby dni absencji chorobowej na poziomie 0,4%.

Tablica 8.2.2 zawiera bezwzględne dane o wypadkowości wśród pracowników firm usługowych działających na terenie KWK „Budryk” (WUG 2007-2018) w latach 2007-2018. Z przeprowadzonej analizy wynika:

- a) liczba wypadków ogółem - 416, średnia roczna - 34,7, rozstęp w zakresie 20-59; tendencja spadkowa w latach 2011-2014 (ok. 63,8%) a począwszy od tego roku aż do

- roku 2018 stały poziom; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków ogółem na poziomie 7,4%;
- b) liczba wypadków śmiertelnych - 3, średnia roczna - 0,3, rozstęp – 0-1; 0,72% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 139 wypadek ogółem; wypadki śmiertelne wystąpiły w latach: 2010, 2011 i 2013; brak wyraźnej tendencji,
- c) w latach 2007- 2016 nie było w firmach usługowych wypadków ciężkich,
- d) liczba wypadków lekkich - 413, średnia roczna - 34,4; rozstęp – 20-58; 99,3% udziału w wypadkach ogółem; można zauważyć tendencję spadkową w latach 2011-2014 (ok. 63,8%) a od tego roku aż do roku 2018 stały poziom; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków lekkich na poziomie 7,4%,
- e) liczba zatrudnionych - 24057, średnia roczna - ok. 2088, rozstęp 749-3552; spadek w latach 2007-2009 (24,6%), wzrost w latach 2010-2012 (ok. trzykrotny), a w latach 2013-2017 tendencja naprzemienna, spadek i wzrost w kolejnych latach, dopiero w 2018 roku nastąpił wyraźny wzrost liczby zatrudnionych o 25,8% w stosunku do roku 2017; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono, że średniookresowe tempo wzrostu liczby zatrudnionych było na poziomie 11,4%.

Tablica 8.2.2. Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, KWK „Budryk” – firmy usługowe (WUG 2007-2018)

<i>t</i>	Rok	Wypadki				Liczba zatrudnionych
		ogółem	śmiertelne	ciężkie	lekkie	
	<i>t</i>	<i>W</i>	<i>W_s</i>	<i>W_c</i>	<i>W_l</i>	<i>Z</i>
1	2007	51	0	0	51	993
2	2008	35	0	0	35	866
3	2009	53	0	0	53	749
4	2010	49	1	0	48	909
5	2011	59	1	0	58	1 444
6	2012	32	0	0	32	3 552
7	2013	32	1	0	31	2 182
8	2014	20	0	0	20	3 187
9	2015	21	0	0	21	2 534
10	2016	21	0	0	21	2 778
11	2017	21	0	0	21	2 596
12	2018	22	0	0	22	3 267

Sumaryczne zestawienie danych o wypadkowości dla załogi własnej i firm usługowych w KWK „Budryk” przedstawiono w Tablicy 8.2.3 w Załączniku 1.

8.2.2. Analiza wskaźnikowa

Podstawy teoretyczne analizy wskaźnikowej omówiono w rozdziale 4, a w tablicy 8.2.4 zamieszczono wartości wybranych wskaźników: W_Z , W_D , W_T , C_W , W_R , sporządzone w oparciu o zależności z rozdziału 4.5 i tablicę 8.2.1 dotyczącą analizy bezwzględnej wypadkowości dla załogi własnej KWK „Budryk”. Liczby roboczodniówek D w ciągu roku obliczono analogicznie, jak w punkcie 8.1.2.

Przeprowadzona analiza wskaźnikowa (tablica 8.2.4) za lata 2007-2018 wykazała, że wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych miał wartość największą ($W_Z=28,8$) w roku 2010, natomiast najniższą (ok. 19,5) w latach 2013 i 2014. W całym rozpatrywanym okresie średnia wartość wskaźnika W_Z była wyższa o ok. 16% w stosunku do tego wskaźnika dla KWK „Mysłowice – Wesoła”.

Tablica 8.2.4. Wskaźniki wypadków (KWK „Budryk” – załoga własna)

Lp.	Wskaźnik	Rok											
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1.	częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z	23,5	22,3	25,3	28,8	26,0	22,0	19,4	19,5	20,7	25,5	20,6	28,2
2.	częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D	10,4	9,8	11,2	12,7	11,5	9,7	8,6	8,6	9,2	11,3	9,1	12,5
3.	częstości wypadków na 1 mln Mg wydobycia W_T	20,7	23,9	28,0	29,4	25,1	22,3	19,5	20,3	20,4	22,7	24,7	32,8
4.	ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego C_W	65,1	69,5	58,6	51,8	58,7	65,6	63,2	58,9	53,5	67,6	-	-
5.	ryzyka wypadków W_R	1527	1546	1482	1491	1525	1443	1225	1149	1108	1726	-	-

Wskaźnik częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D najwyższą wartości miał w roku 2010 (12,7), a najniższe wartości (8,6) w latach 2013 i 2014. W rozważanym okresie średnia wartość wskaźnika W_D była wyższa o ok. 19% w stosunku do tego wskaźnika dla KWK „Mysłowice – Wesoła”.

Wskaźnik częstości wypadków na 1 mln Mg wydobycia (węgiel wzbogacony) W_T miał w roku 2018 wartość największą (32,8). Średnia wartość wskaźnika W_T w omawianym zakresie czasowym była niższa o ok. 40 % w stosunku do analogicznego wskaźnika dla KWK „Mysłowice - Wesoła”.

Wskaźnik ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego C_W był najwyższy w roku 2008 ($C_W = 69,5$), co wiązało się z największą liczbą dni absencji chorobowej $D_S = 3821$ dni. W całym rozpatrywanym okresie średnia wartość tego wskaźnika była niższa o ok. 25% w stosunku do wskaźnika ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego dla KWK „Mysłowice – Wesoła”.

Wskaźnik ryzyka wypadków W_R jest iloczynem wskaźników W_Z i C_W . Jego największa wartość dotyczyła roku 2016 i wynosiła 1726. Średnio, na KWK „Budryk” ryzyko wypadkowe było mniejsze o ok. 12 % w stosunku do KWK „Mysłowice - Wesoła”.

W tabelicy 8.2.5. zostały zamieszczone wybrane wskaźniki: W_Z , i W_D obliczone w oparciu o zależności z rozdziału 4.5 i tabelicę 8.2.2. dotyczącą analizy bezwzględnej wypadkowości dla firm usługowych prowadzących roboty na KWK „Budryk”.

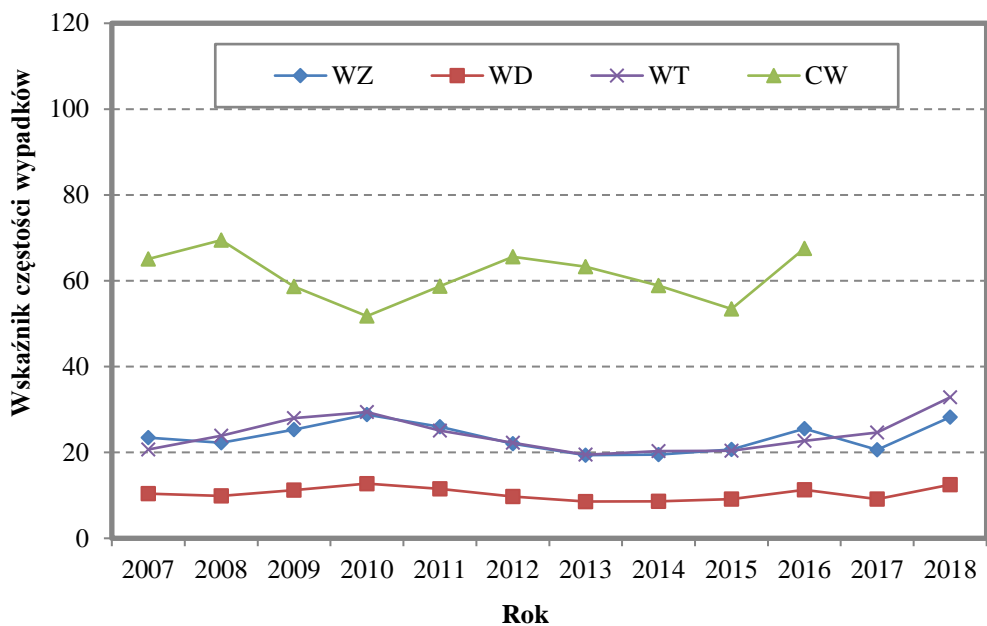
Przeprowadzona analiza wskaźnikowa (tablica 8.2.5) za lata 2007-2018 wykazała, że wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych miał w roku 2009 wartość największą ($W_Z=53,9$) i był znacznie wyższy (o ok. 25) w porównaniu ze wskaźnikiem z roku 2010 dla załogi własnej. W roku 2013 wartość tego wskaźnika była najniższa i wynosiła 19,4. W całym rozpatrywanym okresie średnia wartość wskaźnika W_Z była wyższa o ok. 24% w stosunku do tego wskaźnika dla KWK „Mysłowice – Wesoła”.

Tablica 8.2.5. Wskaźniki wypadków (KWK „Budryk” – firmy usługowe)

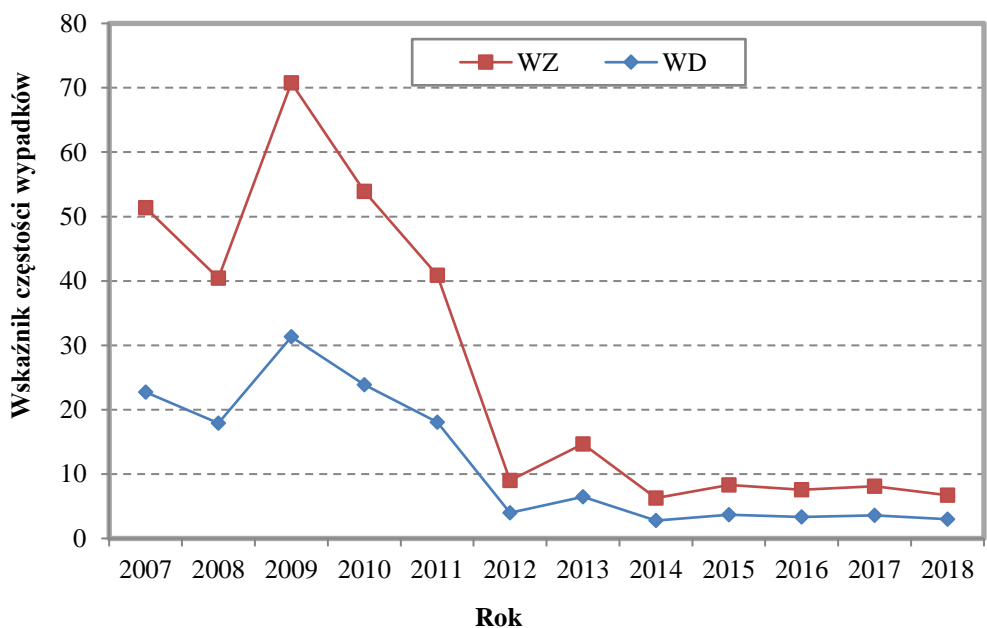
Lp.	Wskaźnik	Rok											
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1.	częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z	51,4	40,4	70,8	53,9	40,9	9,0	14,7	6,3	8,3	7,6	8,1	6,7
2.	częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D	22,7	17,9	31,3	23,9	18,1	4,0	6,5	2,8	3,7	3,3	3,6	3,0

Wskaźnik częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D najwyższą wartość miał w roku 2009 (31,3), a najniższą (2,8) w roku 2014. Podobnie jak w przypadku wskaźnika W_Z , w rozważanym okresie średnia wartość wskaźnika W_D była również wyższa o ok. 24% w stosunku do tego wskaźnika dla KWK „Mysłowice – Wesoła”.

Na rysunku 8.2.1 przedstawiono graficzną ilustrację wskaźników W_Z , W_D , W_T i C_W opisanych w tabelicy 8.2.4 dla załogi własnej, natomiast na rys. 8.2.2 zaprezentowano wskaźniki W_Z i W_D z tabelicy 8.2.5 dla firm usługowych KWK „Budryk”.

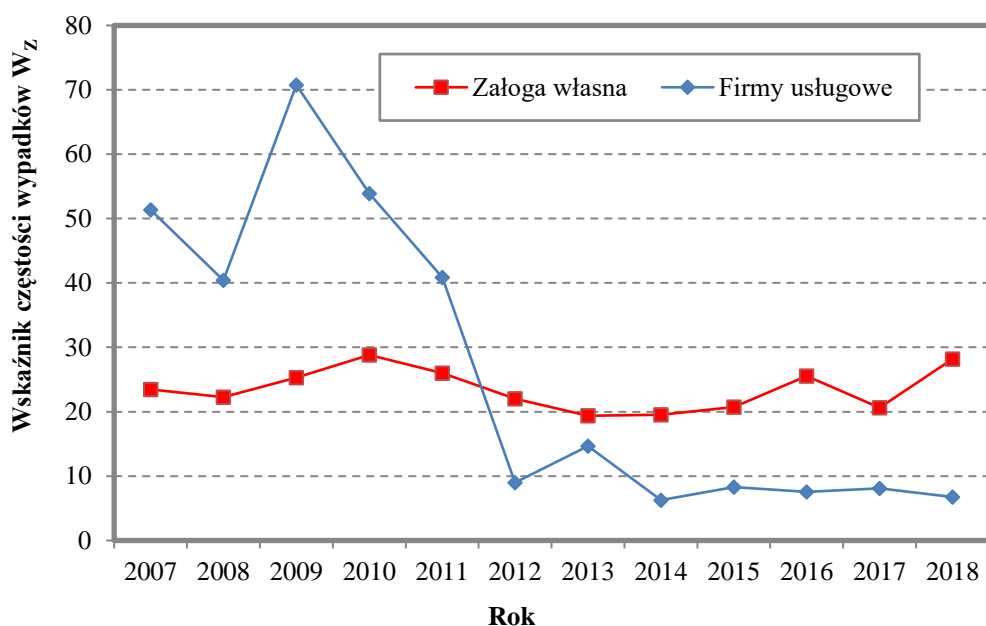


Rys. 8.2.1. Wskaźnik wypadków W_Z , W_D , W_T i C_W dla załogi własnej KWK „Budryk”.



Rys. 8.2.2. Wskaźnik częstości wypadków W_Z i W_D dla firm usługowych KWK „Budryk”.

Rozkład wartości wskaźników częstości wypadków W_Z , W_D i W_T dla załogi własnej (Rys. 8.2.1) ma przebieg zbliżony do sinusoidalnego o nieznacznych amplitudach, a przebiegi wskaźników W_Z i W_T prawie pokrywają się ze sobą. Dla firm usługowych (Rys. 8.2.2) widoczna jest wyraźna tendencja spadkowa wypadkowości w całym rozważanym okresie.



Rys. 8.2.3. Wskaźnik częstotliwości wypadków W_Z dla KWK „Budryk”.

Na rysunku 8.2.3 przedstawiono porównanie wskaźnika częstotliwości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z dla załogi własnej i firm usługowych KWK „Budryk”.

W latach od 2007 do 2011 wartości wskaźnika W_Z dla firm usługowych znacznie przewyższały te dla załogi własnej. W roku 2014 wskaźnik osiągnął minimum i był prawie trzykrotnie niższy, niż dla załogi własnej. W latach 2015 do 2018 wartości wskaźnika dla firm usługowych kształtowały się na podobnym poziomie. Dla załogi własnej wskaźnik W_Z był w miarę stabilny, a jego wahania wynosiły ok. 9.

8.3. ZG „Brzeszcze”

8.3.1. Analiza bezwzględna

W tabelicy 8.3.1 przedstawiono bezwzględne dane o wypadkowości dla załogi własnej ZG „Brzeszcze” w latach 2007-2018 (*WUG 2007-2018*). Główne wyniki przeprowadzonej analizy przedstawiają się następująco:

- a) liczba wypadków ogółem - 719, średnia roczna - 59,9, rozstęp w zakresie 38-95; systematyczny spadek w latach 2009 - 2016 (ok. 60%); można twierdzić o tendencji spadkowej; w latach 2017 i 2018 liczby niekorzystnych zdarzeń kształtowały się na tym samym poziomie co w roku 2016; w całym analizowanym okresie 12 lat

stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków ogółem na poziomie 7,3%.

- b) liczba wypadków śmiertelnych - 1, średnia w roku - 0,1, rozstęp 0-1; 0,14% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 719 wypadek ogółem; jeden wypadek śmiertelny wydarzył się w roku 2016; stwierdzono brak jakiegokolwiek tendencji,
- c) liczba wypadków ciężkich - 1, średnia roczna - 0,1, rozstęp 0-1; 0,14% udziału w wypadkach ogółem, średnio co ok. 719 wypadek ogółem; wypadek ciężki wydarzył się w roku 2007; brak tendencji,
- d) liczba wypadków lekkich - 717, średnia roczna - 59,8, rozstęp 38-95; 99,72% udziału w wypadkach ogółem; systematyczny spadek w latach 2009 - 2016 (58,9%); w latach 2017 i 2018 częstość ich występowania kształtowała się praktycznie na tym samym poziomie, co w roku 2016; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków ogółem na poziomie 7,2%,

Tablica 8.3.1. Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, ZG „Brzeszcze” – załoga własna (WUG 2007-2018)

t	Rok	Wypadki				Liczba zatrudnionych	Wydobycie Mg	Liczba dni absencji wypadkowej*
		ogółem	śmiertelne	ciężkie	lekkie			
	t	W	W _s	W _c	W _l	Z	P	D _s
1	2007	87	0	1	86	4 019	2 372 740	5733
2	2008	79	0	0	79	3 949	2 268 949	4498
3	2009	95	0	0	95	3 889	2 046 000	5875
4	2010	90	0	0	90	3 036	1 900 000	5417
5	2011	59	0	0	59	3 149	1 910 000	3928
6	2012	53	0	0	53	3 054	1 783 000	2619
7	2013	48	0	0	48	2 485	1 062 226	2422
8	2014	48	0	0	48	2 136	933 344	2324
9	2015	42	0	0	42	1 506	757 700	1399
10	2016	40	1	0	39	1 462	1 080 670	1666
11	2017	40	0	0	40	1 479	985 458	-
12	2018	38	0	0	38	1 550	1 005 263	-

* (COIG 2007-2016)

- e) liczba zatrudnionych - 31714, średnia roczna - 2643, rozstęp 1462-4019; można twierdzić o tendencji spadkowej w latach 2007 - 2016 (ok. 64%) z wyjątkiem roku 2011, kiedy zatrudnienie wzrosło o 3,7%; w latach 2017-2018 nastąpił niewielki wzrost (ok. 6%); w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby zatrudnionych na poziomie 8,3%,
- f) wielkość wydobywania - 18105 tys. Mg, średnia roczna - 1509 tys. Mg, rozstęp 758 - 2372 (tys. Mg); systematyczna tendencja spadkowa wydobywania w latach 2007-2015

(68,1%) z wyjątkiem roku 2011 (wzrost 0,5%), w 2016 roku nastąpił wzrost wydobycia o ok. 42%, następnie w 2017 r. spadek o ok. 8,5%, by w kolejnym 2018 roku zwiększyć się o ok. 2%; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku wielkości wydobycia na poziomie 7,5%,

- g) liczba dni absencji chorobowej w latach 2007-2016 - 35881, średnia roczna - 3588, rozstęp 1399-5875; spadek w latach 2007-2008 (21,5%), wzrost w roku 2009 (30,6%), spadek w latach 2009-2015 (19,1%) oraz spadek w roku 2016 (19,1%); w całym analizowanym okresie 10 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby dni absencji chorobowej na poziomie 12,8%.

Tablica 8.3.2 zawiera bezwzględne dane o wypadkowości dla firm usługowych (WUG 2007-2018) działających na terenie ZG „Brzeszcze” w latach 2007-2018. Na podstawie przeprowadzonej analizy tych danych można stwierdzić:

- a) liczba wypadków ogółem - 107, średnia roczna - 8,9, rozstęp w zakresie 0-35; tendencja wzrostowa w latach 2007-2008 ok. 55%, w latach 2009-2013 tendencja spadkowa; w latach 2014-2015 nie wydarzył się żaden wypadek, a w roku 2016 zanotowano 9 wypadków ogółem; w roku 2017 nastąpił bardzo znaczny wzrost liczby wypadków o ok. 290%, a w roku 2018 spadek o ok. 57%,

Tablica 8.3.2. Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe (WUG 2007-2018)

<i>t</i>	Rok	Wypadki				Liczba zatrudnionych
		ogółem	śmiertelne	ciężkie	lekkie	
<i>t</i>	<i>W</i>	<i>W_s</i>	<i>W_c</i>	<i>W_l</i>	<i>Z</i>	
1	2007	5	0	0	5	231
2	2008	9	0	1	8	252
3	2009	11	0	0	11	419
4	2010	10	0	0	10	259
5	2011	4	0	0	4	206
6	2012	6	0	0	6	472
7	2013	3	0	0	3	230
8	2014	0	0	0	0	179
9	2015	0	0	0	0	152
10	2016	9	0	0	9	398
11	2017	35	0	0	35	1 398
12	2018	15	0	1	14	1 857

- b) w latach 2007-2018 nie zanotowano wypadków śmiertelnych w firmach usługowych,
c) liczba wypadków ciężkich - 2, średnia roczna - 0,2; rozstęp 0-1; 1,87% udziału w wypadkach ogółem, średnio co ok. 54 wypadek ogółem; wypadki ciężkie wystąpiły w roku 2008; stwierdzono brak jakiejkolwiek tendencji,

- d) liczba wypadków lekkich - 105, średnia roczna - 8,8, rozstęp 0-35; 98,1% udziału w wypadkach ogółem; można zaobserwować tendencję spadkową w latach 2009 – 2013, okres bezwypadkowy w latach 2014-2015, a następnie w 9 wypadków lekkich w roku 2016; w roku 2017 nastąpił bardzo znaczny wzrost tych wypadków o ok. 209%, a w roku 2018 spadek o ok. 60%,
- e) liczba zatrudnionych w całym analizowanym okresie - 6053, średnia w roku - ok. 504, rozstęp 152 - 1857; wzrost w latach 2007-2009 (81,4%), spadek w latach 2010-2011 (ok. 20%), wzrost w roku 2012 (ok. 129%), spadek w latach 2013-2015 o ok. 34% i wzrost o ok. 162% w roku 2016; znaczny wzrost liczby zatrudnionych wystąpił w latach 2017-2018, o ponad 366% w stosunku do roku 2016; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo wzrostu liczby zatrudnionych na poziomie 20,9%.

Sumaryczne zestawienie danych o wypadkowości dla załogi własnej i firm usługowych w ZG „Brzeszcze” przedstawiono w Tablicy 8.3.3 w Załączniku 1.

8.3.2. Analiza wskaźnikowa

Podstawy teoretyczne analizy wskaźnikowej omówiono w rozdziale 4, a w tablicy 8.3.4 zamieszczono wartości wybranych wskaźników: W_Z , W_D , W_T , C_W , W_R , obliczone w oparciu o zależności z rozdziału 4.5 i tablicę 8.3.1 dotyczącą analizy bezwzględnej wypadkowości dla załogi własnej ZG „Brzeszcze”. Ilości roboczodniówek i roboczogodzin w ciągu roku obliczano analogicznie jak w punkcie 8.1.3.

Tablica 8.3.4. Wskaźniki wypadków (ZG „Brzeszcze” – załoga własna)

Lp.	Wskaźnik	Rok											
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1.	częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z	21,6	20,0	24,4	29,6	18,7	17,4	19,3	22,5	27,9	27,4	27,0	24,5
2.	częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D	9,6	8,9	10,8	13,1	8,3	7,7	8,5	9,9	12,3	12,1	12,0	10,8
3.	częstości wypadków na 1 mln Mg wydobywania W_T	45,8	43,5	58,0	59,2	38,6	37,2	56,5	64,3	69,3	46,3	50,7	47,3
4.	ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego C_W	65,9	56,9	61,8	60,2	66,6	49,4	50,5	48,4	33,3	42,7	-	-
5.	ryzyka wypadków W_R	1426	1139	1511	1784	1247	858	975	1088	929	1169	-	-

Przeprowadzona analiza wskaźnikowa (tablica 8.3.4) za lata 2007-2018 wykazała, że wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych miał wartość największą ($W_Z = 29,6$) w roku 2010, a najmniejszą (ok. 18,7) w roku 2012. W całym rozpatrywanym okresie średnia wartość wskaźnika W_Z była wyższa o ok. 16% w stosunku do tego wskaźnika

dla KWK „Mysłowice – Wesola”, natomiast wartości wskaźnika W_Z dla ZG „Brzeszcze” i KWK „Budryk” były porównywalne.

Wskaźnik częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D najwyższą wartość miał w roku 2010 (13,1), a najniższą $W_D = 7,7$ w roku 2012. W rozpatrywanym okresie średnia wartość wskaźnika W_D była wyższa o ok. 19% w stosunku do tego wskaźnika dla KWK „Mysłowice – Wesola”, natomiast wartości wskaźnika W_D dla ZG „Brzeszcze” i KWK „Budryk” były porównywalne.

Wskaźnik częstości wypadków na 1 mln Mg wydobycia (węgiel wzbogacony) W_T był w roku 2015 roku największy (69,3). Średnia wartość wskaźnika W_T w omawianym zakresie czasowym była o ok. 28 % wyższa w stosunku do analogicznego wskaźnika dla KWK „Mysłowice - Wesola”, a ponad dwukrotnie wyższa w stosunku do tego wskaźnika KWK „Budryk”.

Wskaźnik ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego C_W był najwyższy w roku 2011 ($C_W = 66,6$), natomiast w latach 2017 i 2018 wynosił zero. W całym rozpatrywanym okresie średnia wartość tego wskaźnika C_W była niższa o ok. 34% w stosunku do wskaźnika ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego dla KWK „Mysłowice – Wesola”, w stosunku do KWK „Budryk” o ok. 13% niższa.

Wskaźnik ryzyka wypadków W_R jest iloczynem wskaźników W_Z i C_W . Jego największa miała miejsce w roku 2010 i wynosiła 1784. Średnio, na ZG „Brzeszcze” ryzyko wypadkowe było mniejsze o ok. 24% w stosunku do KWK „Mysłowice - Wesola”, natomiast w stosunku do KWK „Budryk” było mniejsze o ok. 15%.

W tabelicy 8.3.5. zamieszczono wartości wybranych wskaźników: W_Z i W_D obliczone w oparciu o zależności z rozdziału 4.5 i tabelicę 8.3.2. dotyczącą analizy bezwzględnej wypadkowości wśród pracowników firm usługowych wykonujących prace na terenie ZG „Brzeszcze”.

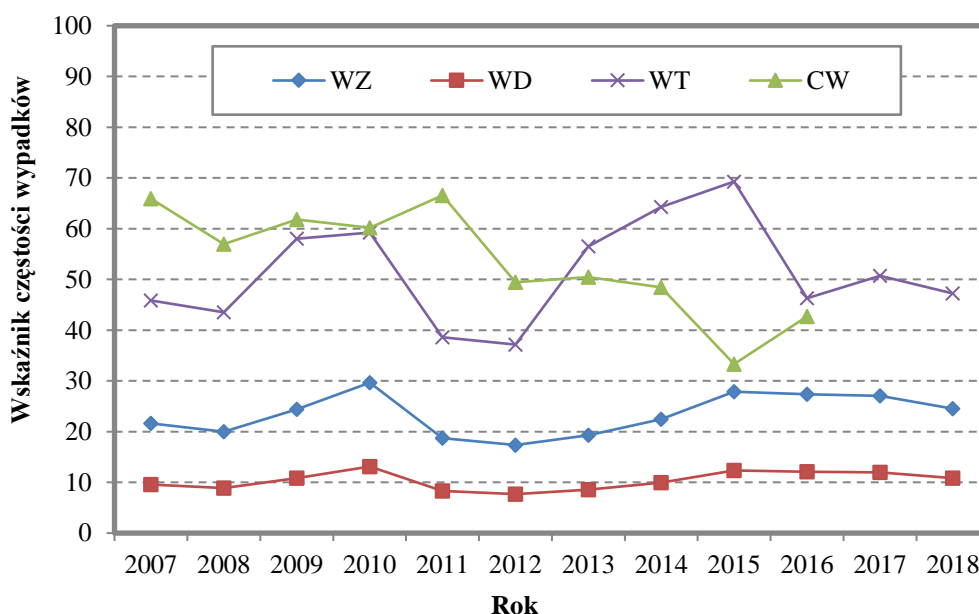
Tabela 8.3.5. Wskaźniki wypadków (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe)

Lp.	Wskaźnik	Rok											
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1.	częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z	21,6	35,7	26,3	38,6	19,4	12,7	13,0	0	0	22,6	25,0	8,1
2.	częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D	9,6	15,8	11,6	17,1	8,6	5,6	5,8	0	0	10,0	11,1	3,6

Jak to wynika z tablicy 8.3.5, wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych w firmach usługowych na terenie ZG „Brzeszcze” miał wartość największą ($W_Z = 38,6$) w roku 2010, a w latach 2014 i 2015 osiągał wartości zerowe. W rozpatrywanym okresie (2007-2018) średnia wartość wskaźnika W_Z była niższa o ok. 13% w stosunku do tego wskaźnika dla KWK „Mysłowice – Wesoła”, a wartości wskaźnika W_Z w stosunku do KWK „Budryk” była znacznie niższa (o ok. 30%).

Wskaźnik częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D miał najwyższą wartość w roku 2010 (17,1), a najniższą $W_D = 0$ w latach 2014 i 2015. Podobnie jak w przypadku wskaźnika W_Z w rozważanym okresie, średnia wartość wskaźnika W_D była również niższa o ok. 13% w stosunku do tego wskaźnika dla KWK „Mysłowice – Wesoła”, a w stosunku do KWK „Budryk” była niższa o ok. 30%.

Na rysunkach 8.3.1 i 8.3.2 przedstawiono graficzną ilustrację wskaźników W_D , W_G , W_P i W_T przedstawionych w tablicach 8.3.8 i 8.3.9 dla załogi własnej i firm usługowych ZG „Brzeszcze”.



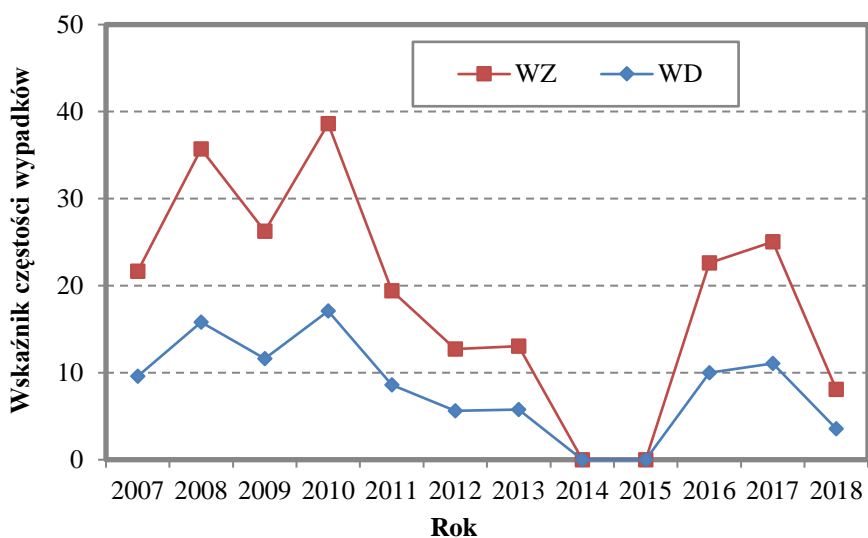
Rys. 8.3.1. Wskaźnik wypadków W_Z , W_D , W_T i C_W dla załogi własnej ZG „Brzeszcze”.

Wskaźniki częstości wypadków: W_Z i W_D , dla załogi własnej (Rys. 8.3.1) mają rozkład zbliżony do sinusoidalnego. Wartości wskaźników W_T i C_W znacznie przekraczają wartości pozostałych wskaźników. W przypadku firm usługowych nie ma wyraźnych tendencji

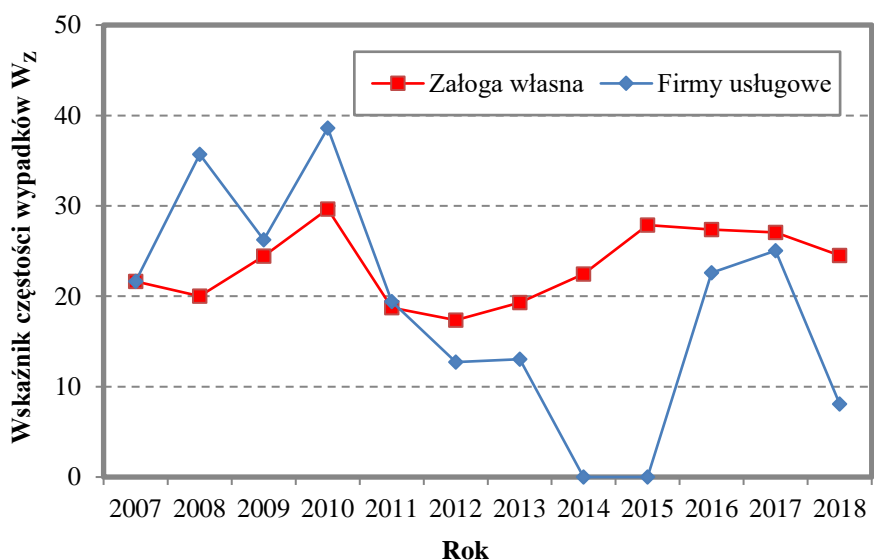
rozkładu wskaźników (Rys. 8.3.2). W roku 2010 zanotowano bardzo wysokie wartości wskaźników W_Z i W_D .

Na rysunku 8.3.3 przedstawiono porównanie wskaźnika częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z dla załogi własnej i firm usługowych ZG „Brzeszcze”.

W latach 2007 do 2011 wartości tego wskaźnika dla firm usługowych przewyższały wartości dla załogi własnej, natomiast w pozostałych latach było odwrotnie. Dla firm usługowych wskaźnik ten wynosił zero w roku 2014 i 2015, a dla załogi własnej w roku 2018.



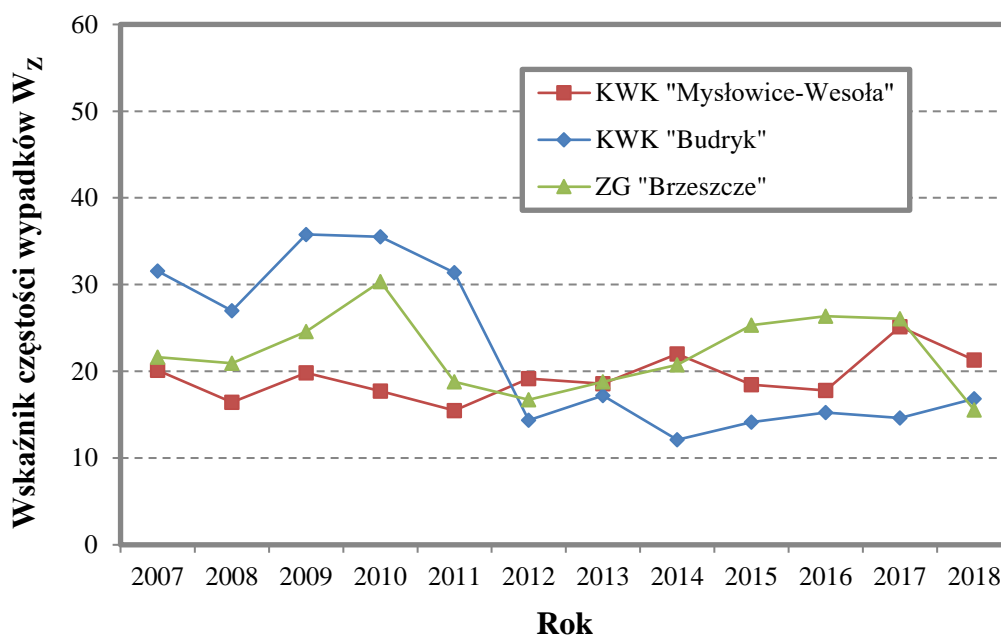
Rys. 8.3.2. Wskaźnik częstości wypadków W_Z i W_D dla firm usługowych ZG „Brzeszcze”.



Rys. 8.3.3. Wskaźnik częstości wypadków W_Z dla ZG „Brzeszcze”.

Na rysunku 8.3.4 porównano bezpieczeństwo pracy określone za pomocą wskaźnika częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z w kopalniach: „Mysłowice-Wesoła”, „Budryk” i „Brzeszcze” po zsumowaniu danych dla załogi własnej i firm usługowych.

W latach od 2007 do 2011 najwyższe spośród porównywanych zakładów górniczych wskaźniki częstości wypadków ogółem W_Z dotyczyły KWK „Budryk”. W latach 2012 – 2014 najwyższe wskaźniki odnotowano dla KWK „Mysłowice-Wesoła”, a w pozostałych latach dla ZG „Brzeszcze”. Największe wahania wskaźnika zanotowano dla KWK „Budryk”, różnica pomiędzy najwyższą i najniższą wartością wynosiła ok. 24.



Rys. 8.3.4. Porównanie wskaźników W_Z dla wytypowanych kopalń.

9. PROGNOZA WYPADKOWOŚCI W WYBRANYCH KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Do prognozowania wytypowano liczbę wypadków ogółem osobno dla załogi własnej i dla firm usługowych w wybranych kopalniach w latach 2007 do 2018. Obliczenia wykonano w oparciu o dane zawarte w tablicach przedstawiających wyniki analizy bezwzględnej wypadkowości (rozdział 8). W badaniach wykorzystano 25 modeli opisanych w rozdziale 6:

1. Model metody naiwnej w ujęciu addytywnym dla szeregu czasowego z tendencją rozwojową.
2. Model metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym dla szeregu czasowego z tendencją rozwojową.
3. Model średniej ruchomej zwykłej.
4. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k=2$).
5. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k=3$).
6. Model średniej ruchomej ważonej dla czasowego szeregu kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k=3$).
7. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k=2$).
8. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k=3$).
9. Model średniej ruchomej ważonej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k=3$).
10. Prosty model wygładzania wykładniczego (dla różnych mechanizmów rozruchu).
11. Model pojedynczego wygładzania wykładniczego (Browna).
12. Model wykładniczo-autoregresyjny ($k=3$).
13. Model wykładniczo-autoregresyjny ($k=2$).
14. Model liniowy Holta z trendem addytywnym (dla różnych mechanizmów rozruchu).
15. Model liniowy Holta z trendem multiplikatywnym (dla różnych mechanizmów rozruchu).
16. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (dla różnych mechanizmów rozruchu).
17. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego (dla różnych mechanizmów rozruchu).
18. Model kwadratowy Holta w formule addytywnej (dla różnych mechanizmów rozruchu).

19. Metoda podwójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu liniowego.
20. Metoda potrójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu kwadratowego.
21. Zaawansowany model wykładniczo-autoregresyjny.
22. Model trendu pelzającego – prognozowanie metodą wag harmonicznych.
23. Prognoza oparta na modelu liniowym.
24. Prognoza oparta na modelu nieliniowym – linearyzowanym.
25. Modele autoregresyjne AR.

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* (Fylstra i inni 1998, Middleton 2004, Węgrzyn 2011, Żarowska-Mazur i Węglarz 2012). Pliki w programie Excel ze wszystkimi wynikami modelowania zamieszczono na płycie CD w załączniku 2.

Dla maksymalnego zobiektywizowania oceny jakości prognoz przyjęto następujące kryteria:

- K1: Wartość błędu prognoz wygasłych Ψ (wzór 6.3) dla szeregu ujmującego dane empiryczne z lat 2007-2016.
- K2: Wartość błędu prognoz wygasłych Ψ (wzór 6.3) dla szeregu ujmującego dane empiryczne z lat 2007-2018.
- K3: Wartość błędu prognoz wygasłych Ψ (wzór 6.3) dla szeregu ujmującego dane empiryczne z lat 2017-2018.
- K4: Wartość współczynnika zmienności losowej V_e (wzór 6.54) dla prognoz wygasłych z lat 2007-2016, przy czym dla wszystkich prognoz z wyjątkiem modeli liniowych i linearyzowanych w oszacowaniu jego wartości wykorzystano błąd $RMSE^*$.
- K5: Wartość współczynnika zmienności losowej V_e (wzór 6.54) 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, dzieląc dla każdego z kryteriów różnicę danej wartości i średniej z wszystkich wykorzystanych prognoz przez wartość odchylenia standardowego.

W sumarycznej ocenie danej prognozy zastosowano metodę scoringową przyjmując następujące wagi:

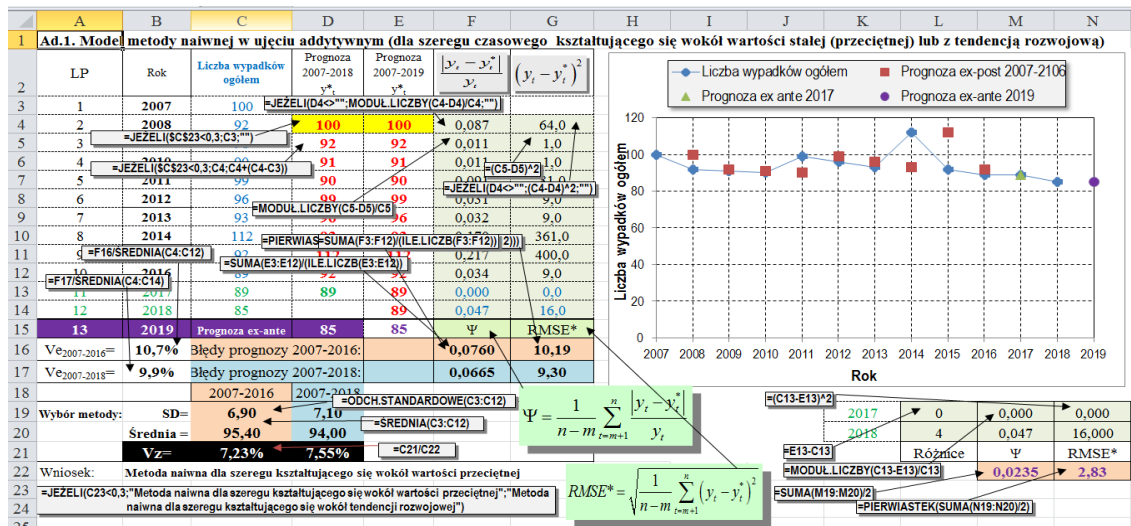
- dla kryterium K1 i K2 – wagi po 10%;
- dla kryterium K3 i K4 – wagi po 20%;
- dla kryterium K5 – waga 40%.

9.1. Prognoza wypadkowości w KWK „Mysłowice-Wesoła”

9.1.1. Prognoza wypadkowości w KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna

Do prognozowania wypadkowości w KWK „Mysłowice-Wesoła” były wykorzystane dane statystyczne dotyczące liczby wypadków ogółem dla załogi własnej, przedstawione w tabelcy 8.1.1 oraz dla firm usługowych - w tabelcy 8.1.2.

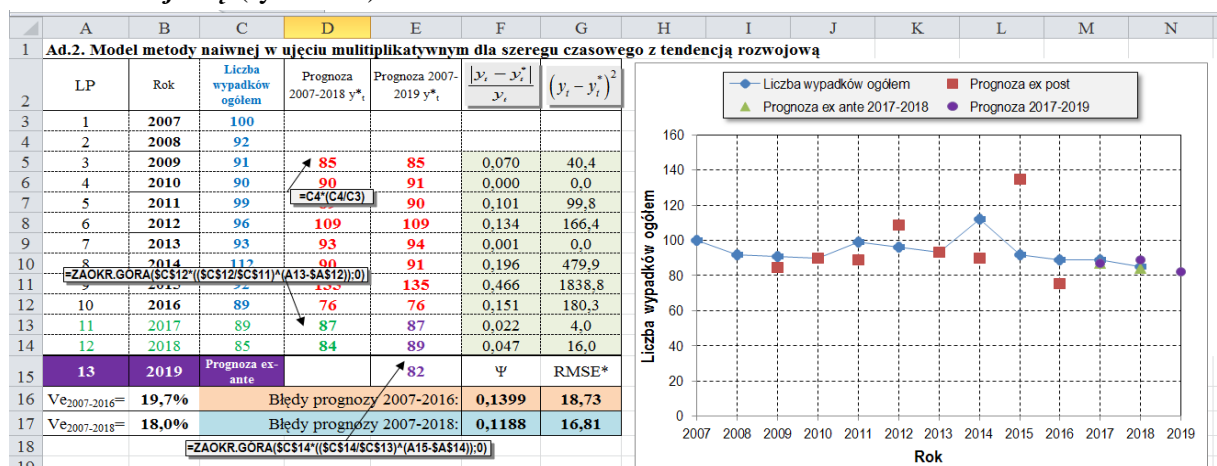
Ad.1. Model metody naiwnej w ujęciu addytywnym (rys. 9.1.1)



Rys. 9.1.1. Prognoza oparta na modelu metody naiwnej w ujęciu addytywnym (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla modelu opartym na metodzie naiwnej w ujęciu addytywnym przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.5-6.8 natomiast współczynnik zmienności V_z wyznaczono zgodnie z wzorami 6.1 i 6.2.

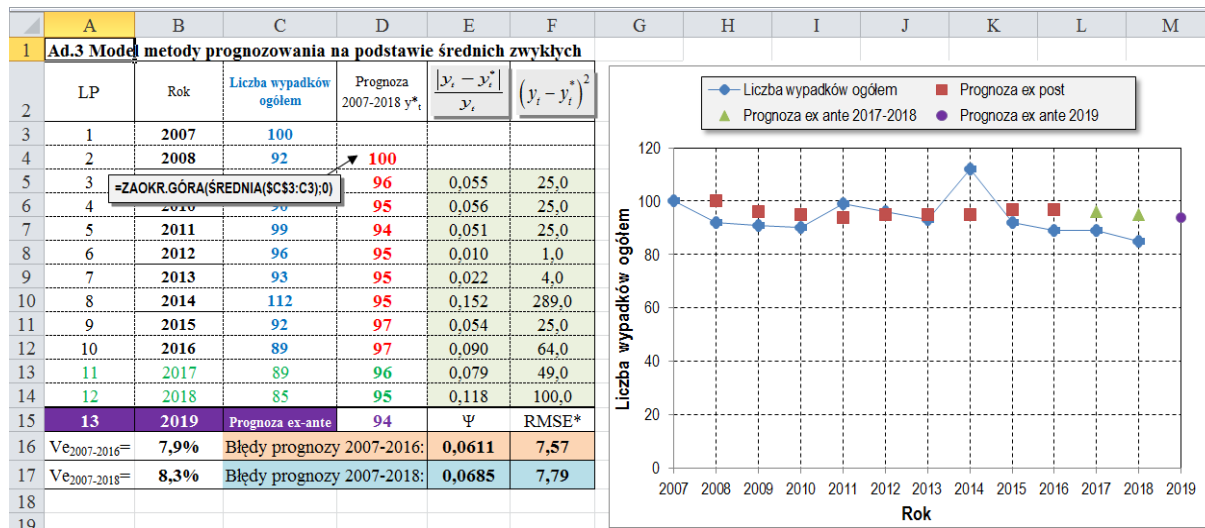
Ad.2. Model metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym dla szeregu czasowego z tendencją rozwojową (rys. 9.1.2)



Rys. 9.1.2. Prognoza oparta na modelu metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla modelu opartym na metodzie naiwnej w ujęciu multiplikatywnym przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.9-6.10.

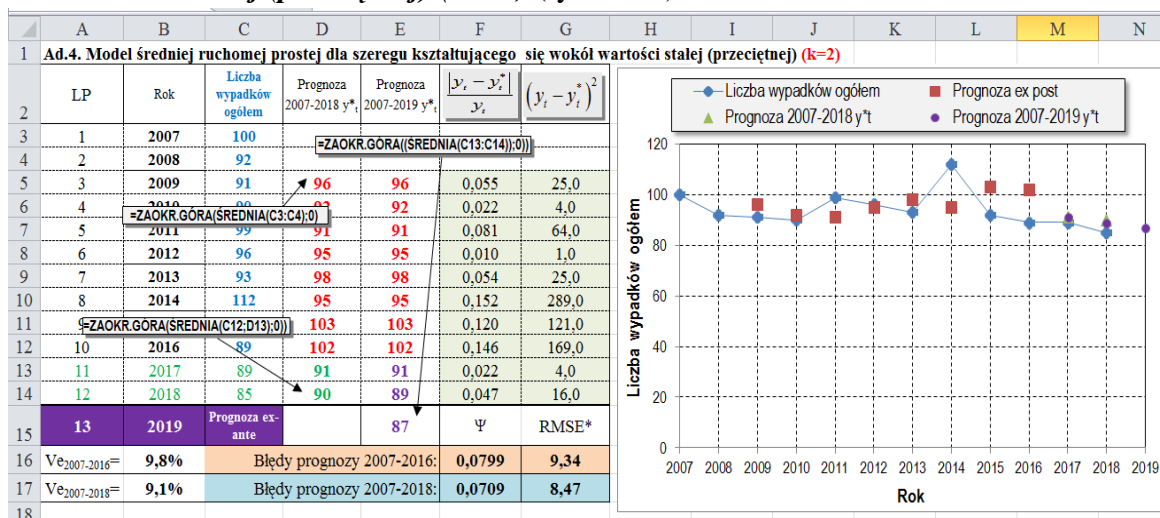
Ad. 3. Model średniej ruchomej zwykłej (rys. 9.1.3)



Rys. 9.1.3. Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej zwykłej (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla modelu opartego na średniej ruchomej zwykłej przeprowadzono zgodnie ze wzorem 6.11.

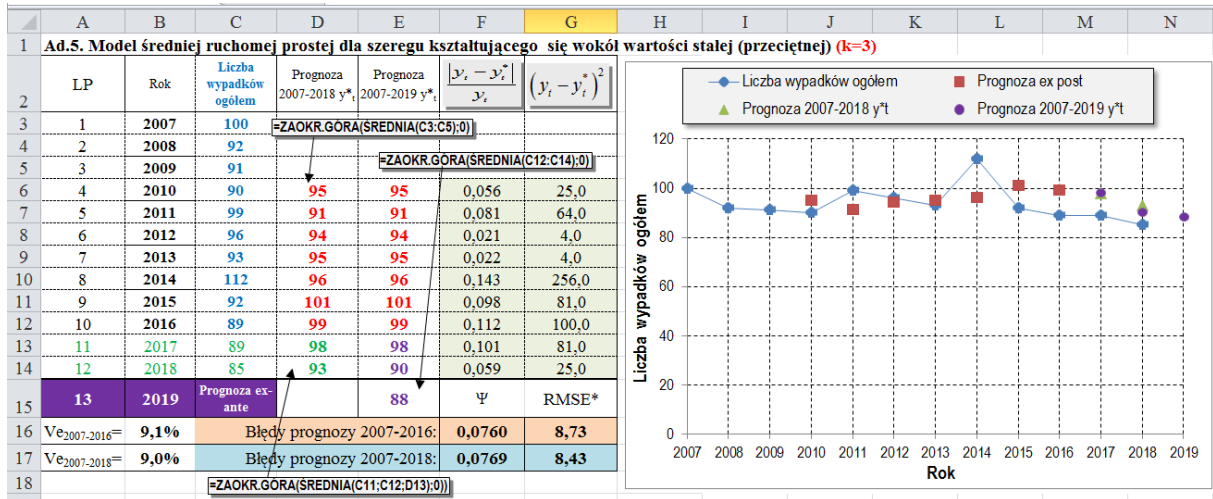
Ad. 4. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k = 2$) (rys. 9.1.4)



Rys. 9.1.4. Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej $k = 2$ (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla modelu opartego na średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k = 2$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.12-6.13.

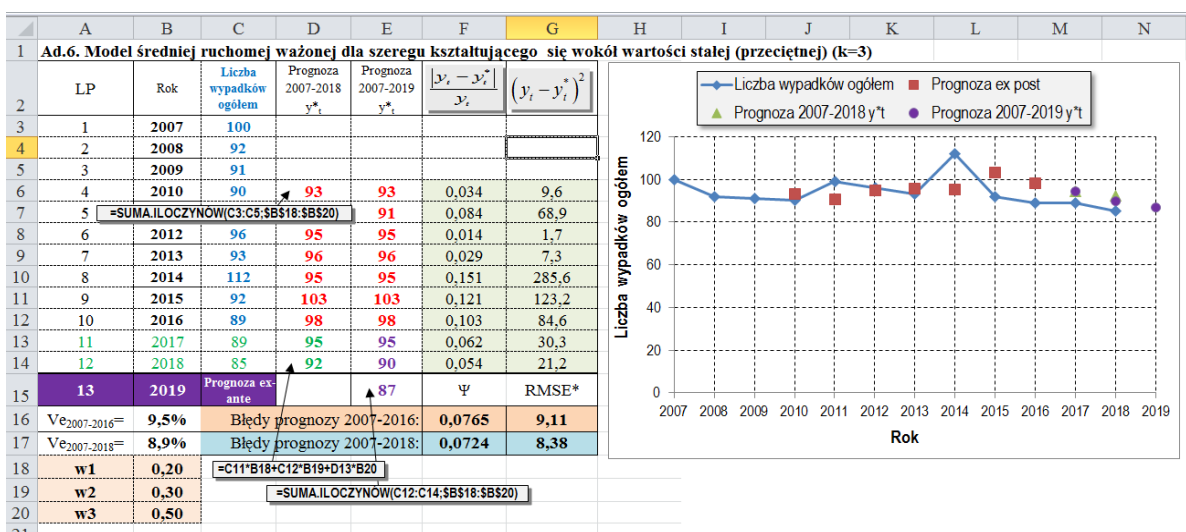
Ad. 5. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k = 3$) (rys. 9.1.5)



Rys. 9.1.5. Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej $k = 3$ (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla modelu opartego na średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k = 3$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.12-6.13.

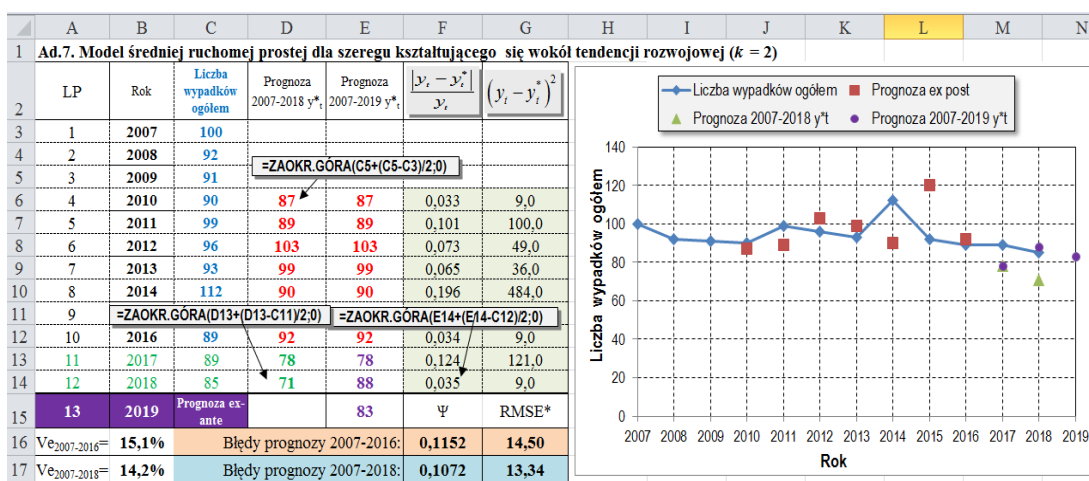
Ad. 6. Model średniej ruchomej ważonej dla czasowego szeregu kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k = 3$) (rys. 9.1.6)



Rys. 9.1.6. Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej ważonej szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej $k = 3$ (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla modelu opartego na średniej ruchomej ważonej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k = 3$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.14-6.15 po przyjęciu wag w_i na poziomie $w_1 = 0,20$, $w_2 = 0,30$ i $w_3 = 0,50$, które spełniały założenie (6.16).

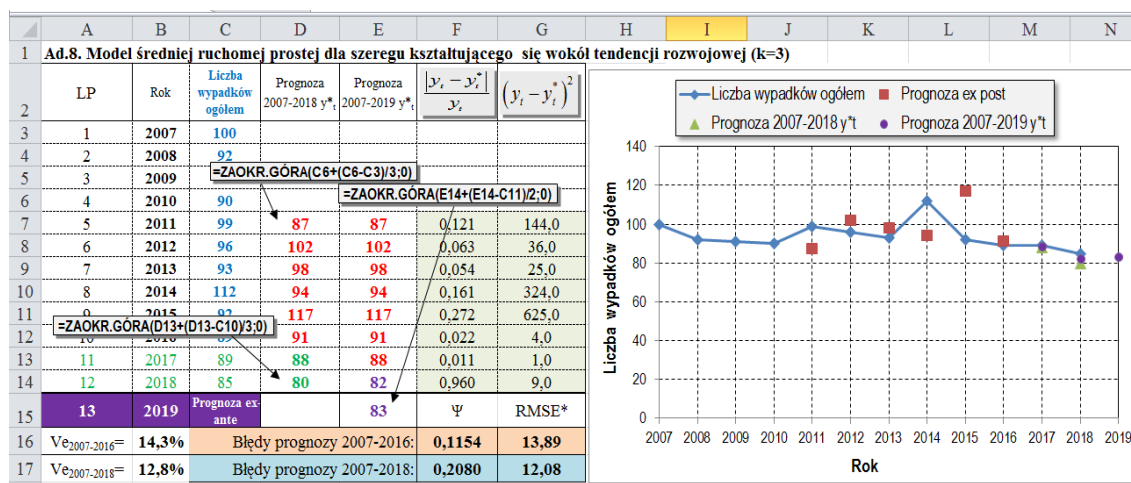
Ad. 7. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k = 2$) (rys. 9.1.7)



Rys. 9.1.7. Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół tendencji rozwojowej $k = 2$ (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla modelu opartego na średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k = 2$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.17-6.18.

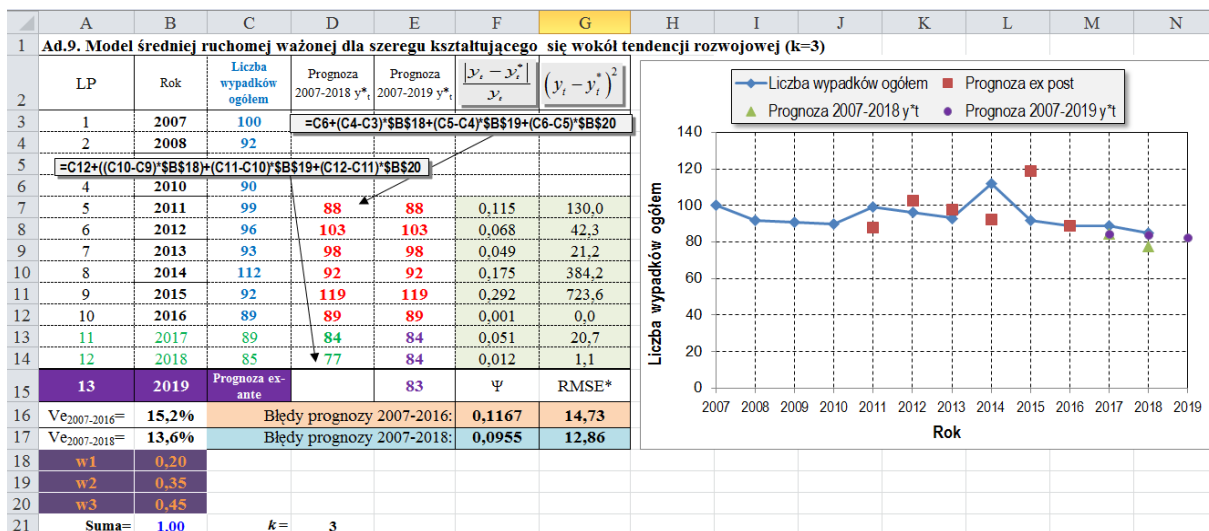
Ad. 8. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k = 3$) (rys. 9.1.8)



Rys. 9.1.8. Prognoza oparta na model średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół tendencji rozwojowej $k = 2$ (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla modelu opartego na średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k = 3$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.17-6.18.

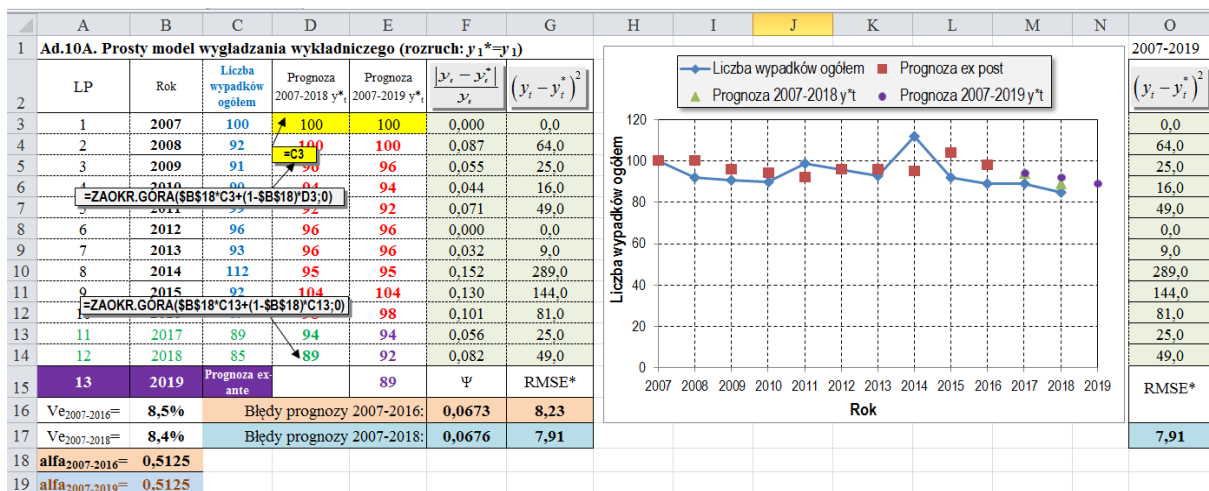
Ad. 9. Model średniej ruchomej ważonej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k = 3$) (rys. 9.1.9)



Rys. 9.1.9. Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół tendencji rozwojowej $k = 3$ (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla modelu opartego na średniej ruchomej ważonej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k = 3$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.19-6.20 po przyjęciu wag w_i na poziomie: $w_1 = 0,20$, $w_2 = 0,35$ i $w_3 = 0,45$, które spełniały założenie (6.16).

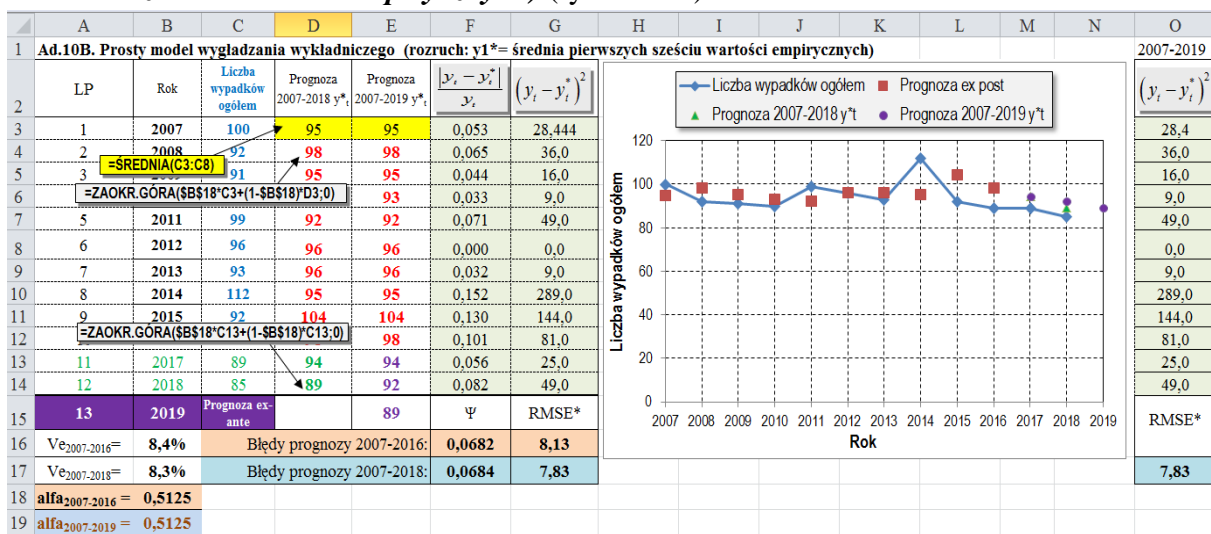
Ad. 10A. Prosty model wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = y_1$) (rys. 9.1.10)



Rys. 9.1.10. Prognoza oparta na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = y_1$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.21-6.22, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametru α na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Zarówno dla szeregu czasowego 2007-2016, jak i 2007-2018 optymalna wartość parametru α wynosiła 0,5125.

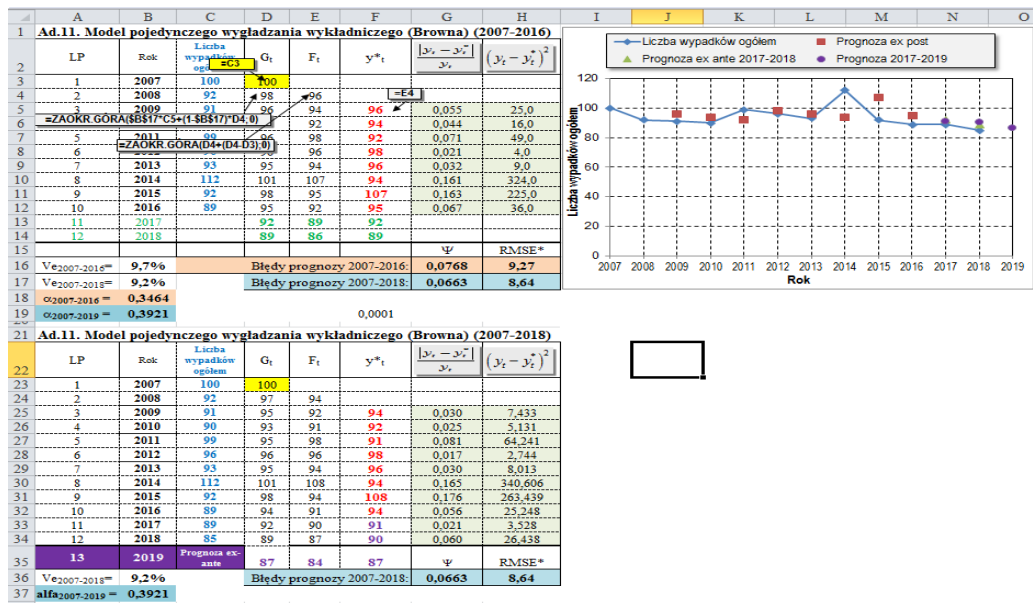
Ad. 10B. Prosty model wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = \text{średnia pierwszych sześciu wartości empirycznych}$) (rys. 9.1.11)



Rys. 9.1.11. Prognoza oparta na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = \text{średnia pierwszych sześciu wartości empirycznych}$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = \text{średnia wartości } y_1 \dots y_6$) przeprowadzono zgodnie z wzorem 6.23, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametru α na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Zarówno dla szeregu czasowego 2007-2016, jak i 2007-2018 optymalna wartość parametru α wynosiła 0,5125.

Ad. 11. Model pojedynczego wygładzania wykładniczego (Browna) (rys. 9.1.12)

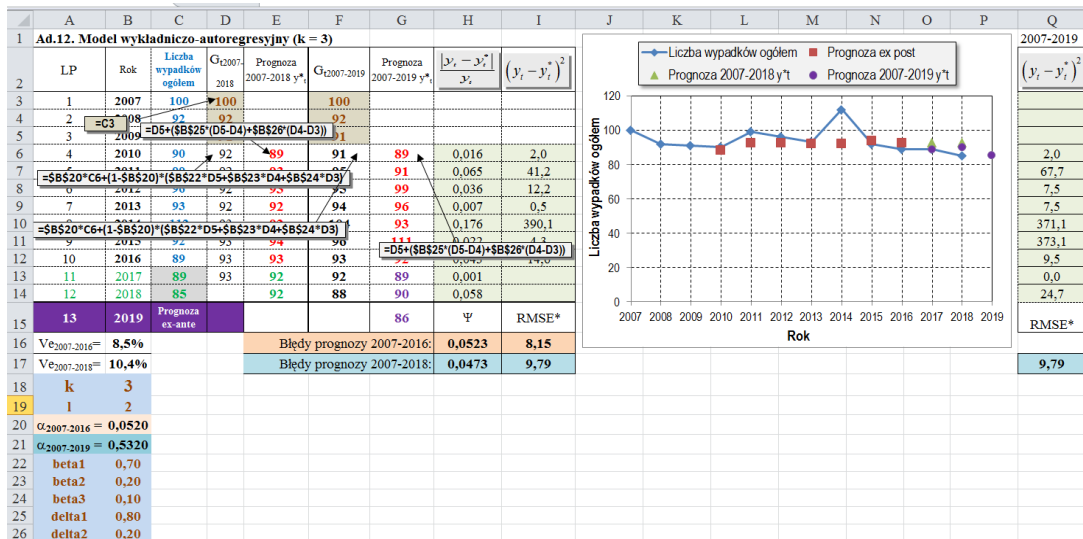


Rys. 9.1.12. Prognoza oparta na modelu pojedynczego wygładzania wykładniczego (Browna) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu pojedynczego wygładzania wykładniczego (Browna) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.24-6.25, a następnie za pomocą *Solwera* dokonano oszacowania wartości parametru α na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametru α wynosiły odpowiednio: 0,3464 i 0,3921.

W dolnej części arkusza kalkulacyjnego zamieszczonego na rys. 9.1.12 (blok komórek A31:H37) przedstawiono wyniki oszacowania prognozy i wielkości błędów dla 12-letniego okresu obserwacji tj. 2007-2018. W dalszej części pracy zrezygnowano z przedstawienia toku obliczeń dla przedmiotowego okresu, gdyż w przypadku pozostałych modeli prognozowania wykorzystanych w pracy tok ten był podobny.

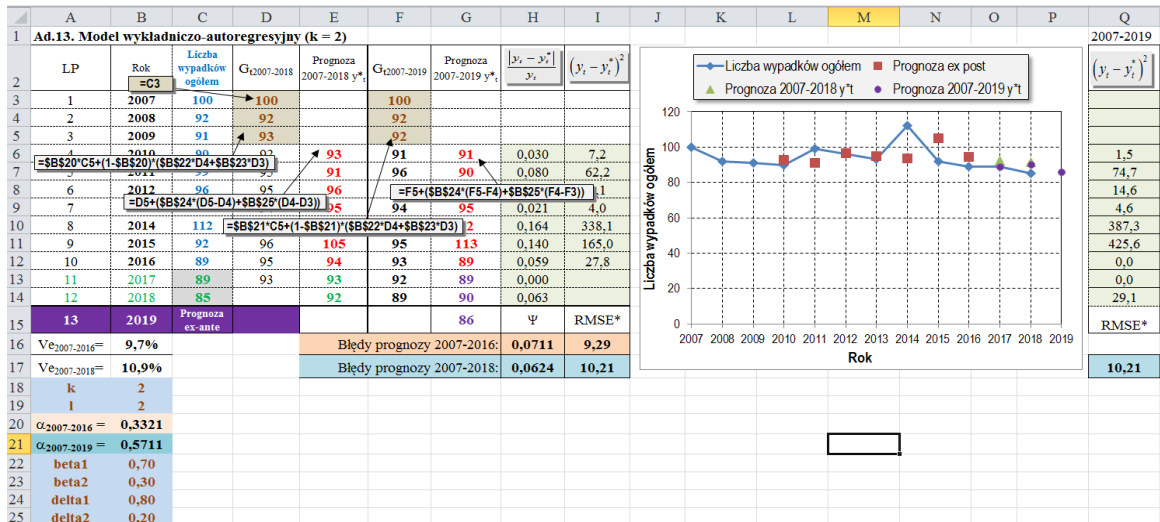
Ad. 12. Model wykładniczo-autoregresyjny ($k = 3$) (rys. 9.1.13)



Rys. 9.1.13. Prognoza oparta na modelu wykładniczo-autoregresyjnym ($k = 3$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu wykładniczo-autoregresyjnym ($k = 3$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.27-6.28 po przyjęciu współczynników na poziomie $k = 3$, $l = 2$ oraz $\beta_1 = 0,70$, $\beta_2 = 0,20$, $\beta_3 = 0,10$ oraz $\delta_1 = 0,80$ i $\delta_2 = 0,20$, które spełniały założenie (6.26). Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametru α wynosiły odpowiednio: 0,0520 i 0,5320.

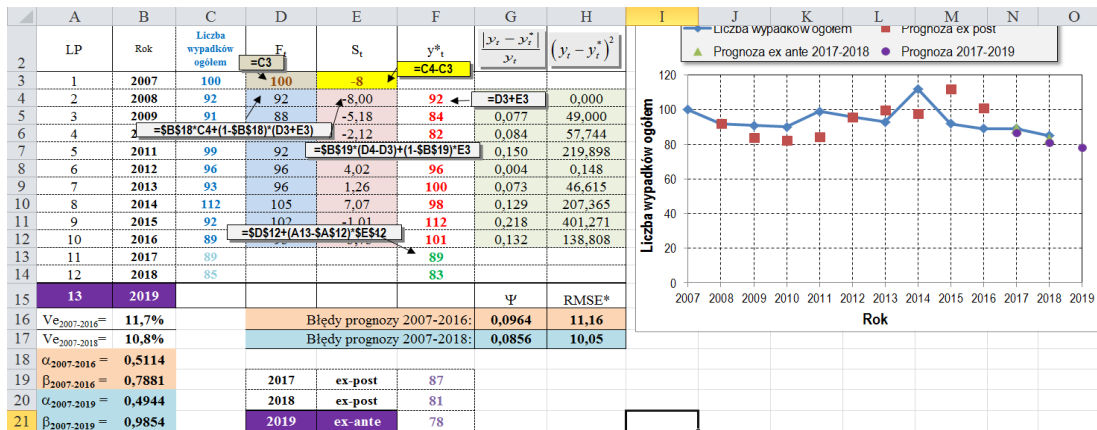
Ad. 13. Model wykładniczo-autoregresyjny ($k = 2$) (rys. 9.1.14)



Rys. 9.1.14. Prognoza oparta na modelu wykładniczo-autoregresyjnym ($k = 2$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu wykładniczo-autoregresyjnym ($k = 2$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.27-6.28 po przyjęciu współczynników na poziomie $k = 2$, $l = 2$ oraz $\beta_1 = 0,70$, $\beta_2 = 0,30$ oraz $\delta_1 = 0,80$ i $\delta_2 = 0,20$, które spełniały założenie (6.26). Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametru α wynosiły odpowiednio: 0,3321 i 0,5711.

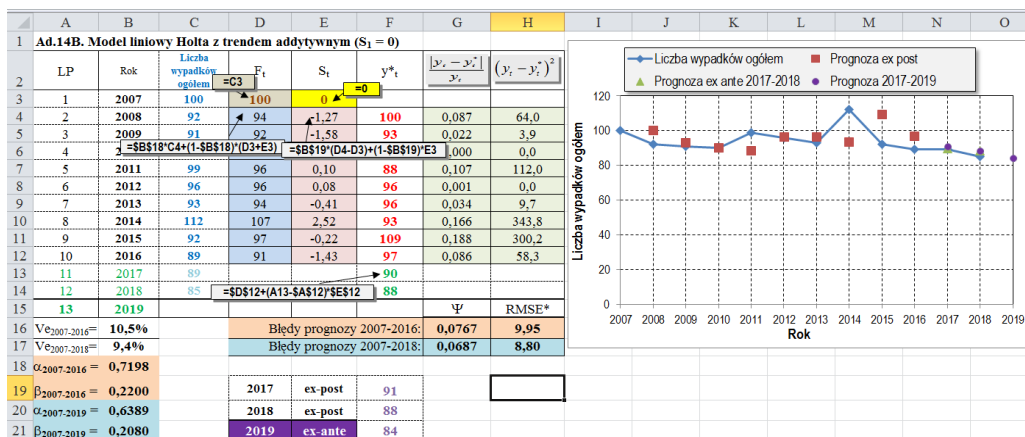
Ad. 14A. Model liniowy Holta z trendem addytywnym (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (rys. 9.1.15)



Rys. 9.1.15. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z trendem addytywnym (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta z trendem addytywnym (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.29-6.30, a następnie za pomocą *Solwera* dokonano oszacowania wartości parametrów α i β na drodze minimalizacji wartości błędu $RMSE^*$. Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametrów α i β wynosiły odpowiednio: 0,5114 i 0,7881 oraz 0,4944 i 0,9854.

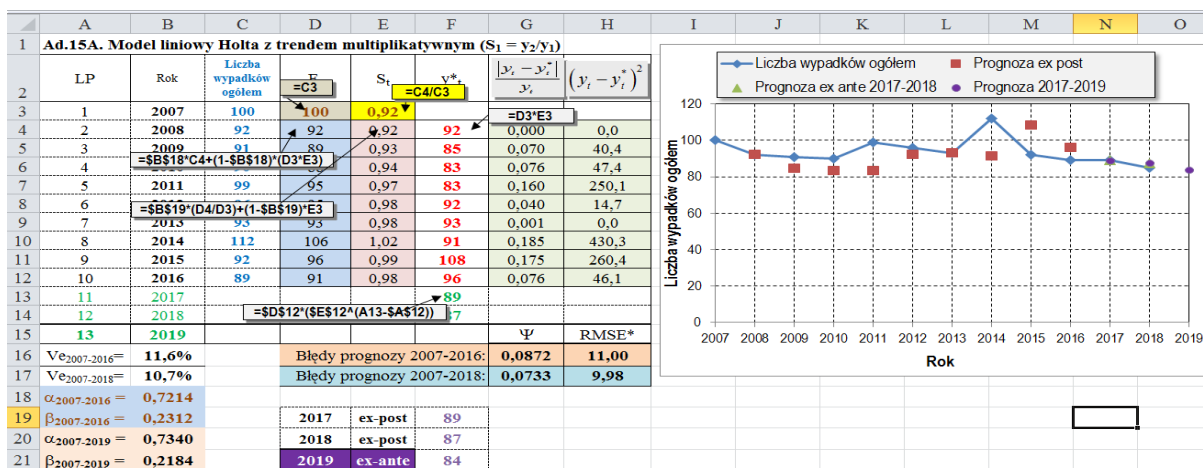
Ad. 14B. Model liniowy Holta z trendem addytywnym (rozruch: $S_1 = 0$) (rys. 9.1.16)



Rys. 9.1.16. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z trendem addytywnym (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta z trendem addytywnym (rozruch: $S_1 = 0$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.30-6.31, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametrów α i β na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametrów α i β wynosiły odpowiednio: 0,7198 i 0,2200 oraz 0,6389 i 0,2080.

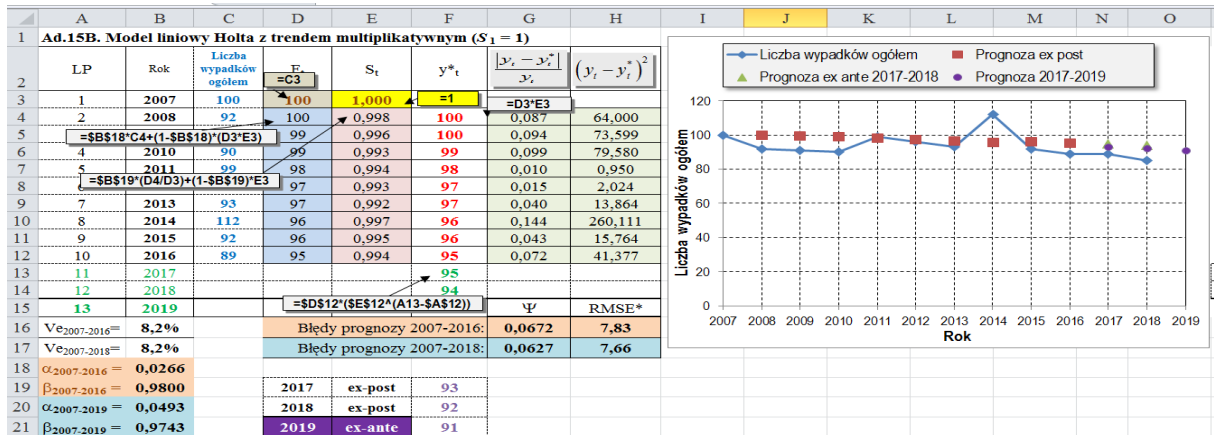
Ad. 15A. Model liniowy Holta z trendem multiplikatywnym (rozruch: $S_1 = y_2/y_1$) (rys. 9.1.17)



Rys. 9.1.17. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z trendem multiplikatywnym (rozruch: $S_1 = y_2/y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta z trendem multiplikatywnym (rozruch: $S_1 = y_2/y_1$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.32-6.33, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametrów α i β na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametrów α i β wynosiły odpowiednio: 0,7214 i 0,2312 oraz 0,7340 i 0,2184.

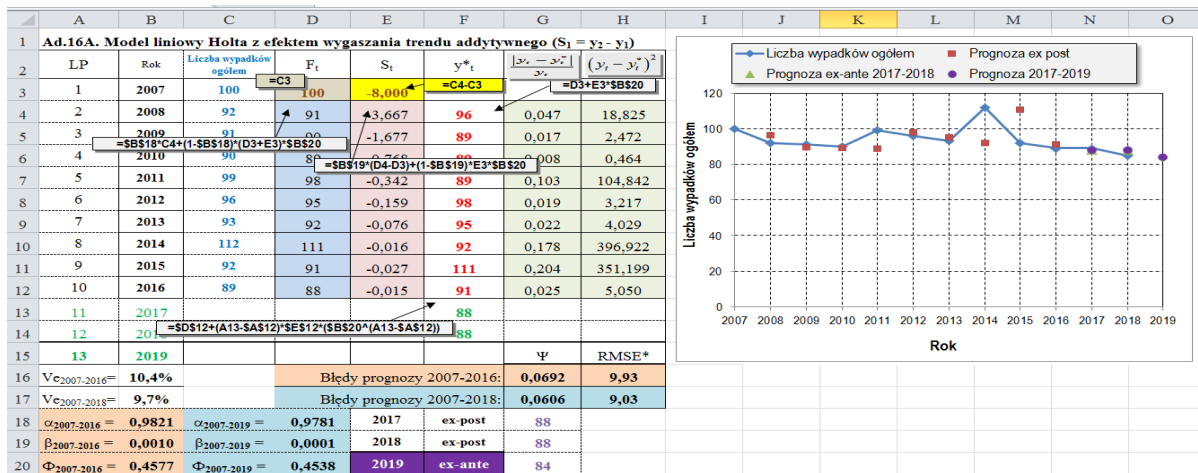
Ad. 15B. Model liniowy Holta z trendem multiplikatywnym (rozruch: $S_1 = 1$) (rys. 9.1.18)



Rys. 9.1.18. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z trendem multiplikatywnym (rozruch: $S_1 = 1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta z trendem multiplikatywnym (rozruch: $S_1 = 1$) przeprowadzono zgodnie ze wzorami 6.34, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametrów α i β na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametrów α i β wynosiły odpowiednio: 0,0266 i 0,9800 oraz 0,0493 i 0,9743.

Ad. 16A. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (rys. 9.1.19)



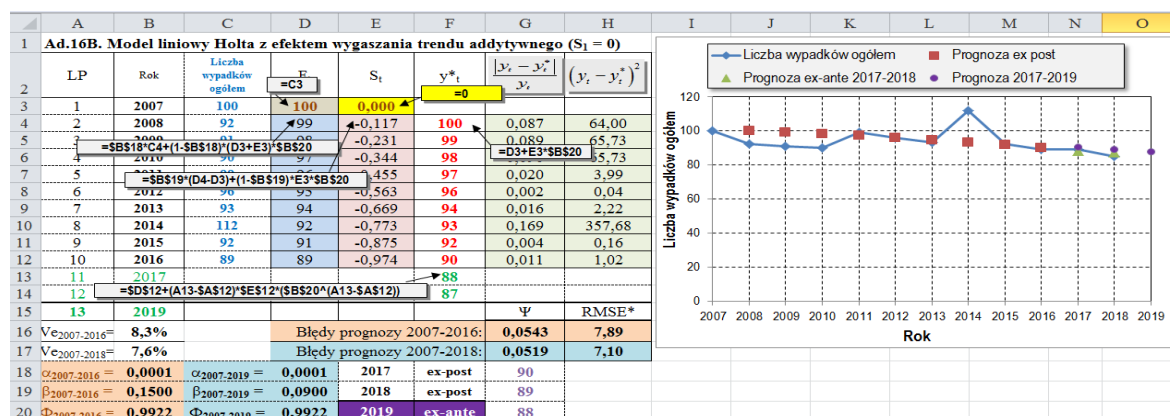
Rys. 9.1.19. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.34, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametrów α , β i Φ na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**.

Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,9821, 0,0010 i 0,4577 oraz 0,9781, 0,0001 i 0,4538.

Ad. 16B. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = 0$)

(rys. 9.1.20)

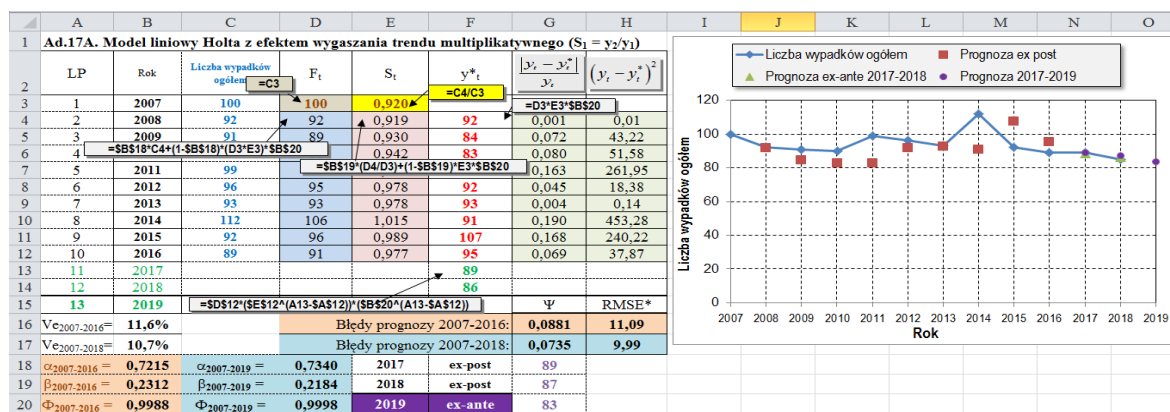


Rys. 9.1.20. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = 0$) przeprowadzono zgodnie ze wzorami 6.34, a następnie za pomocą *Solwera* dokonano oszacowania wartości parametrów α , β i Φ na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,0001, 0,1500 i 0,9922 oraz 0,0001, 0,0900 i 0,9922.

Ad. 17A. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego

(rozruch: $S_1 = y_2/y_1$) (rys. 9.1.21)

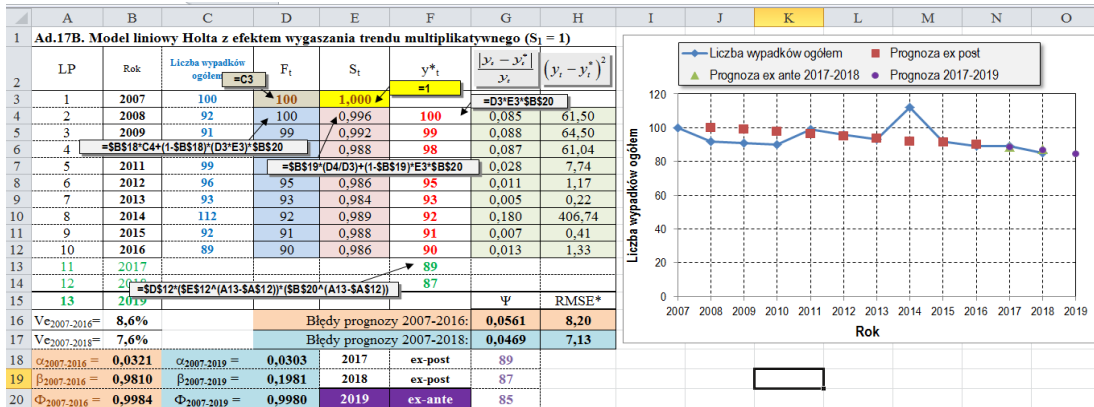


Rys. 9.1.21. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego (rozruch: $S_1 = y_2/y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu

liniowym Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego (rozruch: $S_1 = y_2/y_1$) przeprowadzono zgodnie ze wzorami 6.38 i 6.39, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametrów α , β i Φ na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,7215, 0,2312 i 0,9988 oraz 0,7340, 0,2184 i 0,9998.

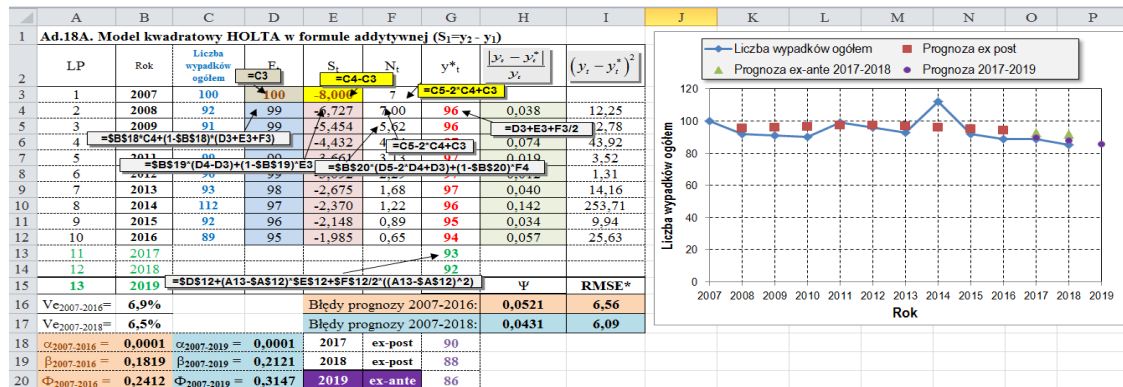
Ad. 17B. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego (rozruch: $S_1 = 1$) (rys. 9.1.22)



Rys. 9.1.22. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego (rozruch: $S_1 = 1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego (rozruch: $S_1 = 1$) przeprowadzono zgodnie ze wzorami 6.40, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametrów α , β i Φ na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,0321, 0,9810 i 0,9984 oraz 0,0303, 0,1981 i 0,9980.

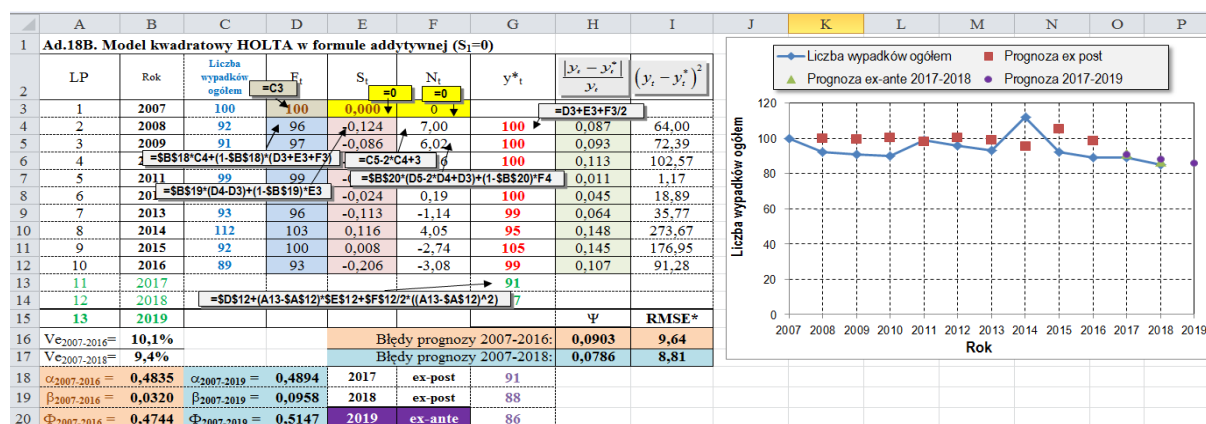
Ad. 18A. Model kwadratowy Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (rys. 9.1.23)



Rys. 9.1.23. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) przeprowadzono zgodnie ze wzorami 6.41 i 6.42, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametrów α , β i Φ na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,0001, 0,1819 i 0,2412 oraz 0,0001, 0,2121 i 0,3147.

Ad. 18B. Model kwadratowy Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (rys. 9.1.24)

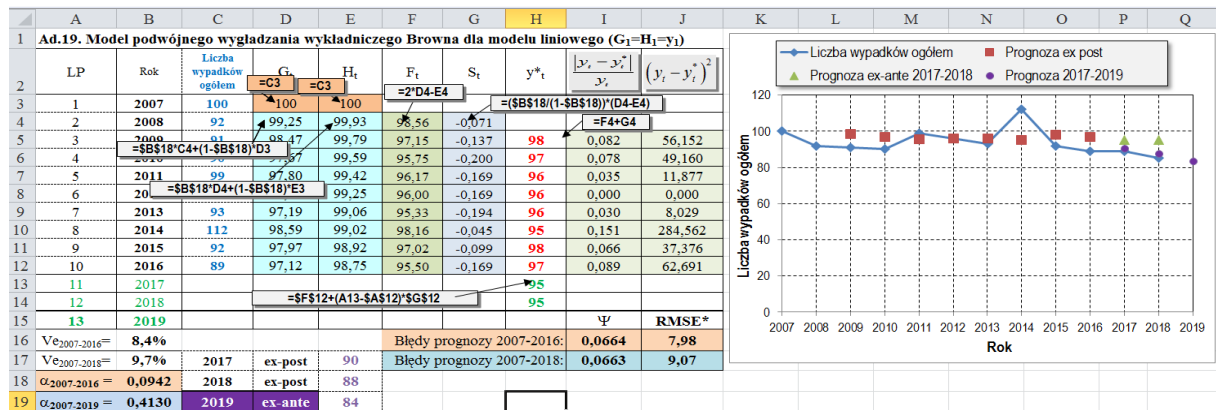


Rys. 9.1.24. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) przeprowadzono zgodnie ze wzorami 6.43, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametrów α , β i Φ na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,4835, 0,0320 i 0,4744 oraz 0,4894, 0,0958 i 0,5147.

Ad. 19. Metoda podwójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu liniowego

(rys. 9.1.25)

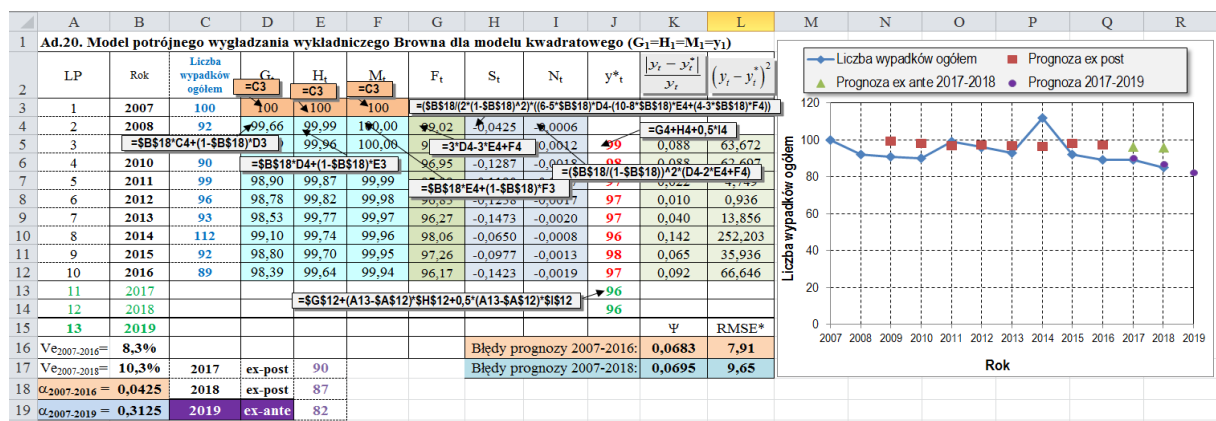


Rys. 9.1.25. Prognoza oparta na metodzie podwójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu liniowego (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na metodzie podwójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu liniowego przeprowadzono zgodnie ze wzorami 6.44 i 6.45, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametru α na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Dla szeregu czasowego 2007-2016 r. oraz 2007-2018 r. optymalne wartości parametru α wynosiły odpowiednio: 0,0942 i 0,4130.

Ad. 20. Metoda potrójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu kwadratowego

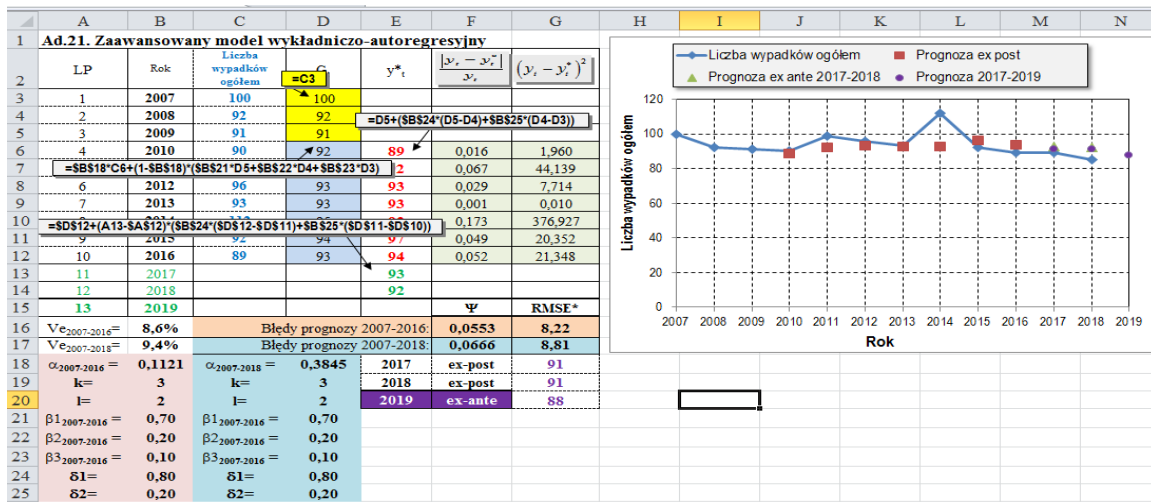
(rys. 9.1.26)



Rys. 9.1.26. Prognoza oparta na metodzie potrójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu liniowego (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na metodzie potrójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu liniowego przeprowadzono zgodnie ze wzorami 6.46 i 6.47, a następnie za pomocą *Solvera* dokonano oszacowania wartości parametru α na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**.

Ad. 21. Zaawansowany model wykładniczo-autoregresyjny (rys. 9.1.27)

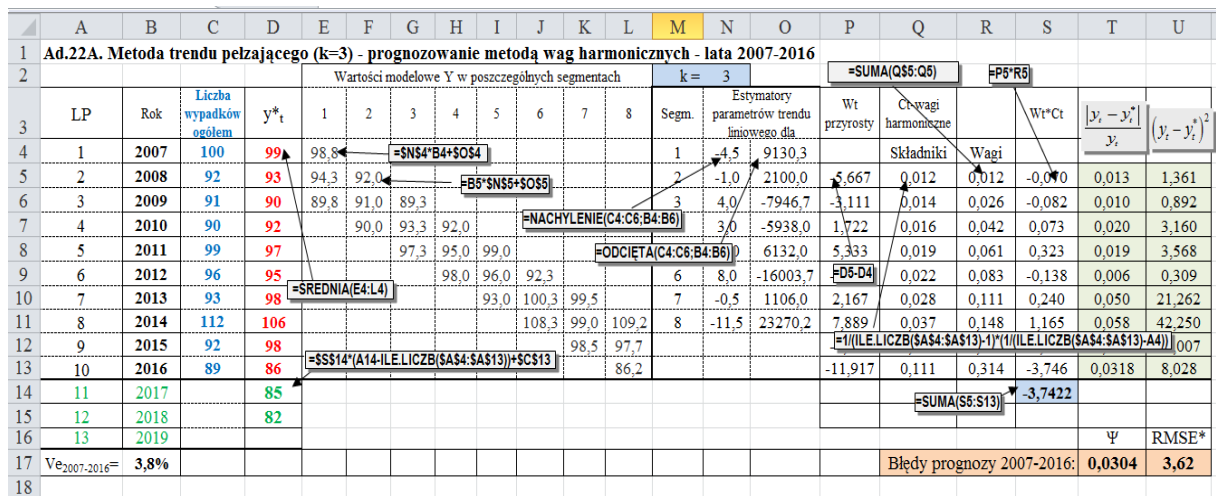


Rys. 9.1.27. Prognoza oparta na zaawansowanym modelu wykładniczo-autoregresyjnym (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

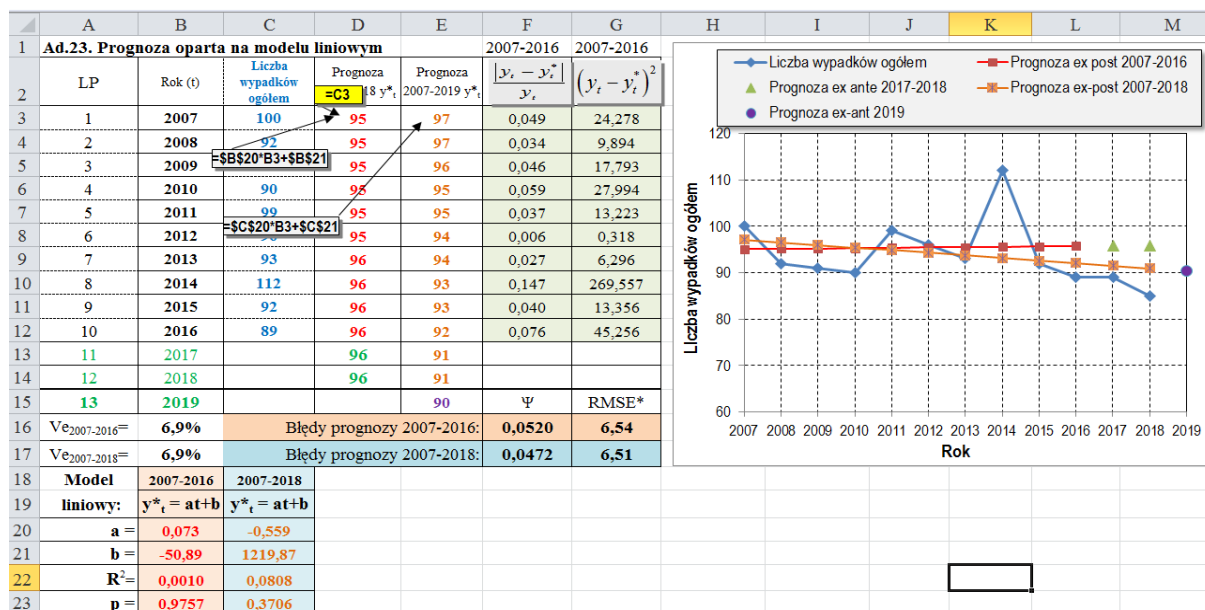
Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na zaawansowanym modelu wykładniczo-autoregresyjnym przeprowadzono zgodnie ze wzorami 6.48 i 6.49 po przyjęciu współczynników na poziomie $k = 3$, $l = 2$ oraz $\beta_1 = 0,70$, $\beta_2 = 0,20$, $\beta_3 = 0,10$ oraz $\delta_1 = 0,80$ i $\delta_2 = 0,20$, które spełniały założenie (6.48). Następnie za pomocą *Solwera* dokonano oszacowania wartości parametru α na drodze minimalizacji wartości błędu *RMSE**. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametru α wyniosły odpowiednio: 0,1121 i 0,3845.

Ad. 22. Model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych

(rys. 9.1.28, 9.1.29)



Ad. 23. Prognoza oparta na modelu liniowym (rys. 9.1.30)



Rys. 9.1.30. Prognoza oparta na modelu liniowym (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

W obliczeniach związanych z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym wykorzystano narzędzie arkusza kalkulacyjnego EXCEL: *Analizy danych – REGRESJA*.

Ad. 24A. Prognoza oparta na modelu nieliniowym – linearyzowanym

Ze względu na charakter przebiegu empirycznych wyników liczby wypadków ogółem wśród załogi KWK „Mysłowice-Wesoła” w analizowanym okresie czasu zrezygnowano z wykorzystania do budowania prognoz modeli nieliniowych – linearyzowanych.

Ad. 24B. Prognoza oparta na flagach kategorii (zmiennych umownych)

Prognozę tę opracowuje się dla szeregów czasowych wykazujących wahania cykliczne lub sezonowe. W modelach ekonometrycznych często występują przypadki, w których zmienna objaśniana przyjmuje w jakimś okresie wartość wyraźnie odbiegającą od sąsiednich wartości, a informacja zawarta w zmiennych objaśniających nie jest w stanie wyjaśnić tego wahnięcia. Do wychwycenia wpływu czasu pomiaru na cechę wynikową wykorzystuje się zmienne umowne zwane też zmiennymi zero-jedynkowymi, zmiennymi sztucznymi, umownymi lub flagami kategorii. Typowa, impulsowa zmienna zero-jedynkowa składa się z zer (0) oraz (1) wstawionych w okresach, w których wystąpiło interesujące wahnięcie. Parametr związany ze zmienną zero-jedynkową opisuje więc reakcję zmiennej wynikowej na prognozowaną zmienną. Wykorzystując regresję wieloraką (wieloczynnikową, wielokrotną,

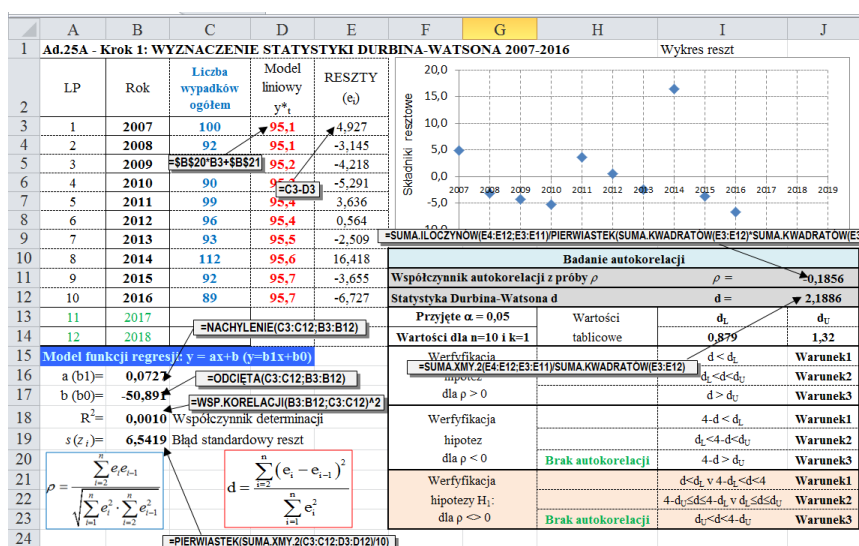
złożoną) można analizować prognozowaną zmienną zarówno pod kątem trendu, jak i wahań sezonowych. Składową trendu można analizować jako liniowy trend w czasie (lata), natomiast składnik wahań sezonowych można opisać za pomocą zmiennych umownych (flag kategorii). Należy dodać, że liczba tych zmiennych wykorzystywana w regresji wielorakiej powinna być o jeden mniejsza od liczby kategorii.

Ze względu na charakter przebiegu empirycznych wyników liczby wypadków ogółem wśród załogi KWK „Mysłowice-Wesoła” w analizowanym okresie czasu zrezygnowano z wykorzystania do budowania prognoz modeli nieliniowych – linearyzowanych oraz modeli opartych na flagach kategorii.

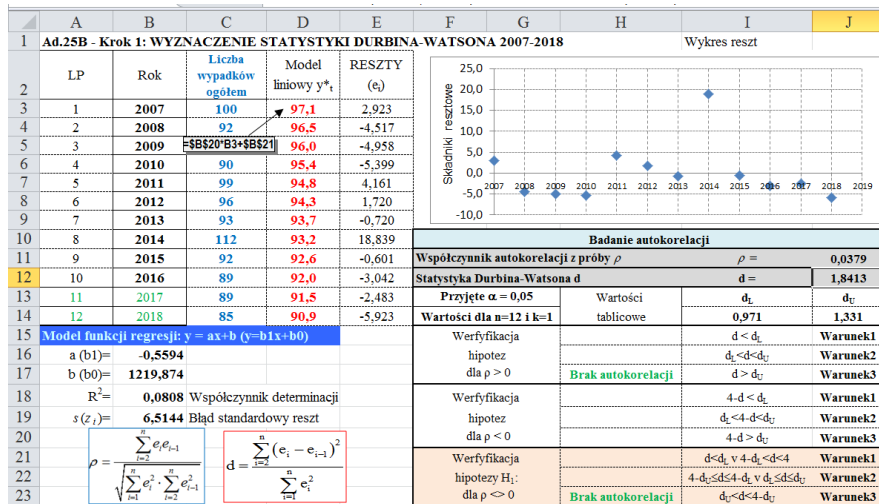
Ad. 25. Modele autoregresyjne AR

Ze względu na złożony charakter modeli autoregresyjnych opartych na auto-korelacji proces ich budowy realizowano w kilku krokach:

Krok 1 obejmował oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ – wg wzoru 6.55 oraz statystyki Durbina-Watsona d – wg wzoru 6.56 (rys. 9.1.31 i 9.1.32)



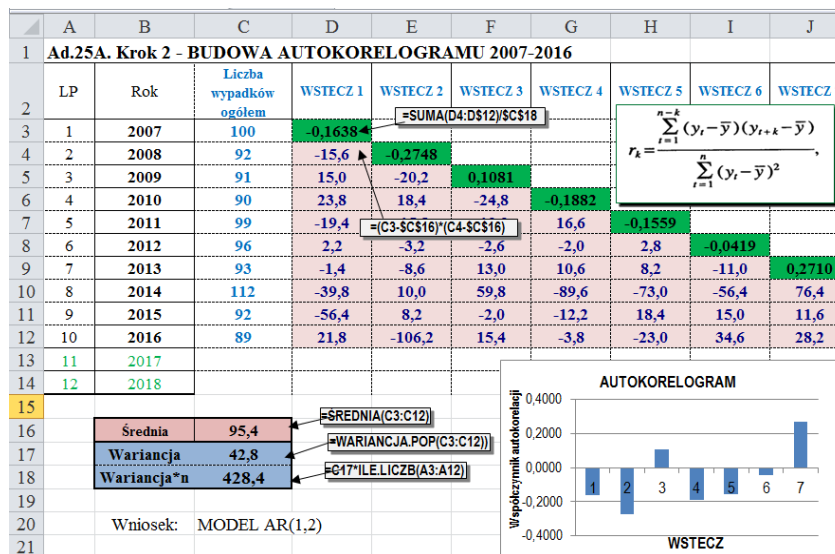
Rys. 9.1.31. Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durbina-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2016 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)



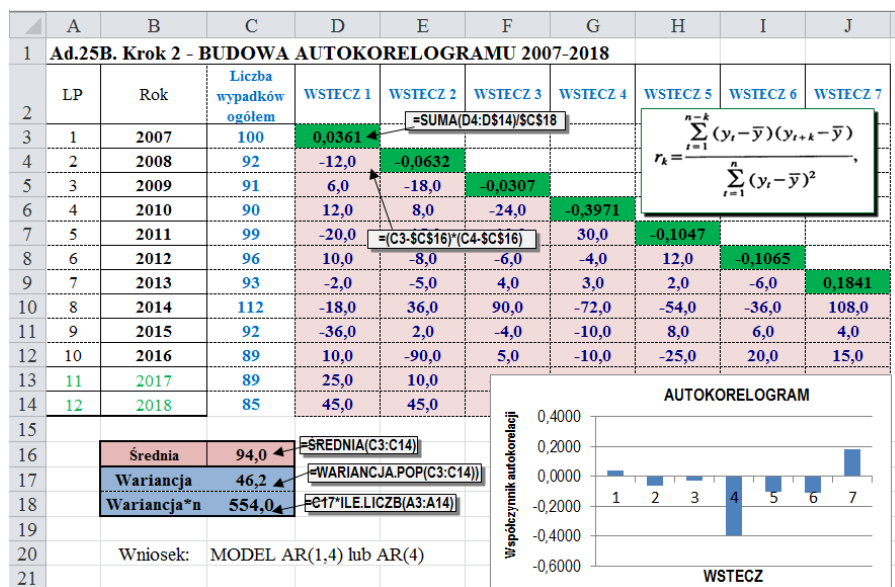
Rys. 9.1.32. Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durбина-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Jak to wynika z rys. 9.1.31 (dla lat 2007-2016) oraz 9.1.32 (dla lat 2007-2018) weryfikacja hipotezy zerowej że $\rho = 0$ testem Durбина-Watsona (D-W) wskazała na brak podstaw do jej odrzucenia. Świadczy to o braku istnienia istotnej autokorelacji. Pomimo tego w dalszym postępowaniu przeprowadzono kolejne kroki do uzyskania modeli autoregresyjnych.

Krok 2 obejmował oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć szeregu czasowego o jeden okres (zmienna WSTECZ1) aż do siedmiu (zmienna WSTECZ7) (rys. 9.1.33 i 9.1.34).



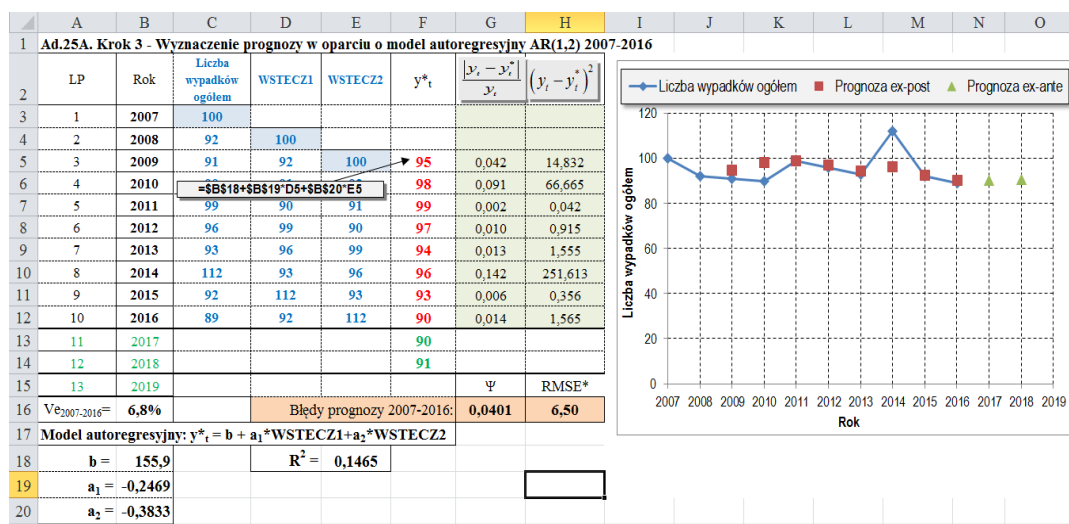
Rys. 9.1.33. Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2016 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)



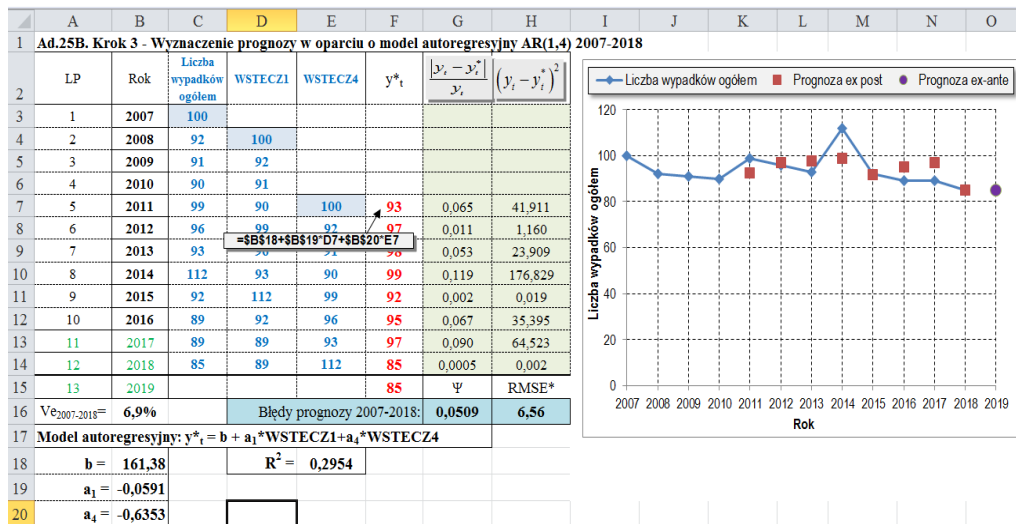
Rys. 9.1.34. Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Po dokładnej analizie wartości współczynników autokorelacji stwierdzono, że dla szeregu czasowego ujmującego lata 2007-2016 można wykorzystać model autoregresyjny AR(1,2), natomiast dla szeregu czasowego ujmującego lata 2007-2018 modele autoregresyjne AR(1,4) lub AR(4).

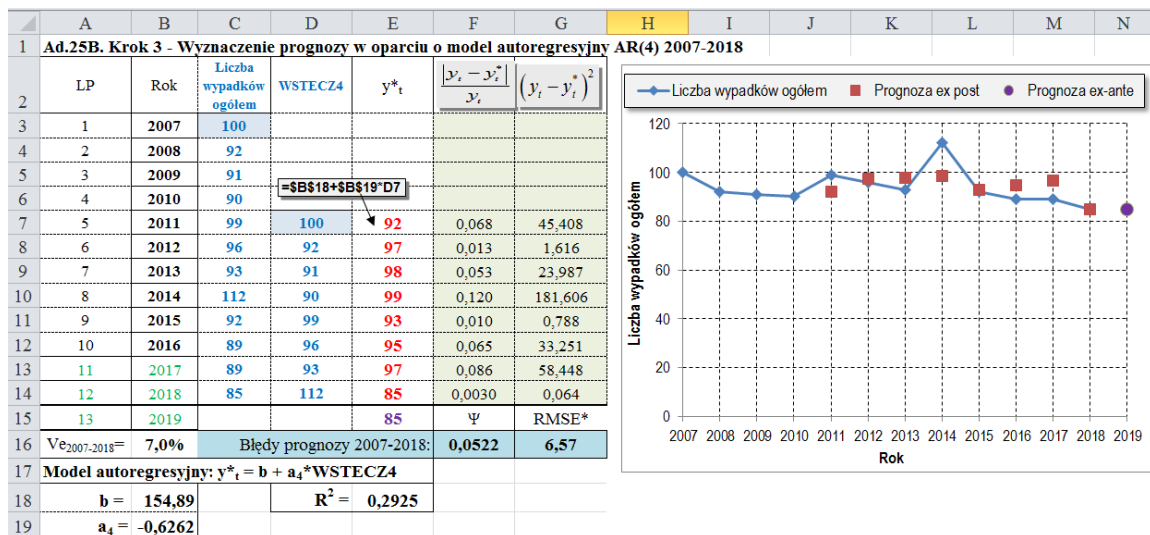
Krok 3 obejmował wyznaczenie prognozy w oparciu o ustalone modele autoregresyjne (rys. 9.1.35, 9.1.36 i 9.1.37). Do konstrukcji przedmiotowych modeli wykorzystano narzędzie arkusza kalkulacyjnego EXCEL: *Analizy danych – REGRESJA*.



Rys. 9.1.35. Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,2) szeregu czasowego 2007-2016 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)



Rys. 9.1.36. Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,4) szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)



Rys. 9.1.37. Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(4) szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna)

Tablica 9.1.1 zawiera zestawienie wartości każdego z kryteriów dla zastosowanych metod prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną kryteriów dla KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna.

W oparciu o przedstawione wyniki można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych stanowiących liczbę wypadków ogółem wśród załogi KWK „Mysłowice-Wesoła” charakteryzują się następujące modele progno-tyczne mające standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną *mniejszą niż -0,5000*: Ad. 16B. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = 0$) (rys. 9.1.20); Ad. 17B. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego.

(rozruch: $S_1 = 1$) (rys. 9.1.22); Ad. 18A. *Model kwadratowy Holta w formule addytywnej* (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (rys. 9.1.23) oraz Ad. 22. *Model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych* (rys. 9.1.28 i 9.1.29).

Tablica 9.1.1. Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Mysłowice – Wesola” – załoga własna)

Identyf. modelu	Błędy progn. 2007-2016		Błędy progn. 2007-2018		Współczynnik V_e [%]		2017-2018	Weryfikacja prognozy
	Ψ [%]	RMSE*	Ψ [%]	RMSE*	2007-2016	2007-2018	Ψ [%]	
Ad. 1	7,60	10,19	6,65	9,30	10,70	9,90	2,35	-0,3055
Ad. 2	13,99	18,73	11,88	16,81	19,70	18,00	1,71	1,3690
Ad. 3	6,17	7,70	6,85	7,79	7,90	8,30	9,81	0,2063
Ad. 4	7,99	9,34	7,09	8,47	9,80	9,10	4,06	-0,1867
Ad. 5	7,60	8,73	7,69	8,43	9,10	9,00	9,76	0,4370
Ad. 6	7,05	9,11	7,24	8,38	9,50	8,90	7,41	0,1357
Ad. 7	11,52	14,50	10,72	13,34	15,10	14,20	14,42	2,0911
Ad. 8	11,54	13,89	9,53	12,08	14,30	12,80	3,50	0,6022
Ad. 9	11,67	19,73	9,55	12,86	15,20	13,60	7,05	1,1409
Ad. 10A	6,73	8,23	6,76	7,91	8,50	8,40	5,16	-0,2680
Ad. 10B	6,82	8,13	6,84	7,83	8,47	8,30	5,16	-0,2695
Ad. 11	7,68	9,27	6,63	8,64	9,70	9,20	4,04	-0,2253
Ad. 12	5,23	8,15	4,73	9,79	8,50	10,40	6,34	-0,1498
Ad. 13	7,11	9,29	6,24	10,21	9,70	10,90	5,80	0,0631
Ad. 14A	9,64	11,16	8,56	10,05	11,70	10,80	1,03	-0,1384
Ad. 14B	7,67	9,95	6,87	8,80	10,50	9,40	2,33	-0,3442
Ad. 15A	8,72	11,00	7,33	9,98	11,60	10,70	1,54	-0,1968
Ad. 15B	6,72	7,83	6,27	7,66	8,20	8,20	8,52	0,0616
Ad. 16A	6,92	9,93	6,06	9,03	10,40	9,70	2,33	-0,4024
Ad. 16B	5,43	7,89	5,19	7,10	8,30	7,60	1,78	-0,8719
Ad. 17A	8,81	11,09	7,35	9,99	11,60	10,70	1,10	-0,2431
Ad. 17B	5,61	8,20	4,69	7,13	8,60	7,60	1,54	-0,8986
Ad. 18A	5,21	6,56	4,31	6,09	6,90	6,50	6,18	-0,5910
Ad. 18B	9,03	9,64	7,86	8,81	10,10	9,40	2,37	-0,2562
Ad. 19	6,64	7,98	6,63	9,07	8,40	9,70	9,53	0,3209
Ad. 20	6,83	7,91	6,95	9,65	8,30	10,30	10,35	0,4798
Ad. 21	5,53	8,12	6,66	8,81	8,60	9,40	6,39	-0,0992
Ad. 22	3,04	3,62	2,47	3,13	3,80	3,30	4,15	-1,4610
Ad. 23	model liniowy nieistotny							
Ad. 24	modele nieliniowych nie brano pod uwagę							
Ad. 25	4,10	6,50			6,80		4,05	AR(1,2)
Ad. 25			5,09	6,56		6,90		AR(1,4)
Ad. 25			5,22	6,70		7,00		AR(4)

Do modeli dobrze dopasowanych do danych empirycznych (mimo stwierdzenia braku statystycznie istotnej autokorelacji) można zaliczyć również Ad. 25. *Model autoregresyjny AR(1,4)* uzyskany dla szeregu czasowego 2007-2018 (rys. 9.1.36).

Ze względu na charakter przebiegu szeregu czasowego ogólnej liczby wypadków wśród załogi „Mysłowice-Wesola” całkowicie nieprzydatne (odcienie koloru czerwonego – tabl.

9.1.1) wydają się modele prognostyczne mające standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną *większą niż 1,0000* ; a mianowicie: Ad.2. Model metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym (rys. 9.1.2); Ad. 7. Model średniej ruchomej prostej ($k = 2$) (rys. 9.1.7); oraz Ad. 9. Model średniej ruchomej ważonej ($k = 3$) (rys. 9.1.9).

9.1.2. Prognoza wypadkowości w KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe

Tablica 9.1.2 zawiera zestawienie wartości każdego z kryteriów dla zastosowanych metod prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną kryteriów dla KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe. Należy zaznaczyć, że szereg czasowy liczby wypadków ogółem w firmach prowadzących usługi dla KWK „Mysłowice-Wesoła” jest bardzo skomplikowany i trudny do prowadzenia procesu prognozowania.

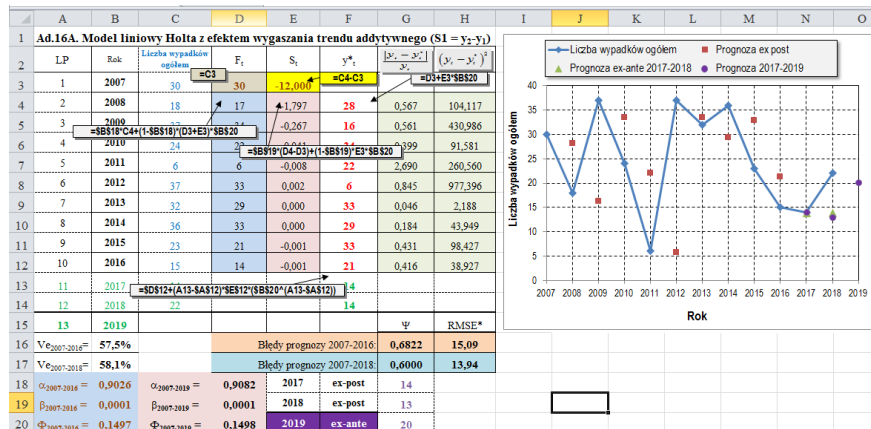
Tablica 9.1.2. Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe)

KWK „Mysłowice – Wesoła” – firmy usługowe								
Identyf. modelu	Błędy progn. 2007-2016		Błędy progn. 2007-2018		Współczynnik Ve [%]		2017-2018	Weryfikacja prognozy
	Ψ [%]	RMSE*	Ψ [%]	RMSE*	2007-2016	2007-2018	Ψ [%]	
Ad. 1	84,90	27,62	82,76	24,99	109,00	104,00		
Ad. 2	157,10	73,83	132,20	66,09	281,30	268,70	48,38	2,7411
Ad. 3	75,70	12,24	70,50	11,46	45,90	46,60	49,68	-0,1278
Ad. 4	88,72	14,75	77,73	13,47	58,20	56,10	29,22	-0,2830
Ad. 5	83,46	13,40	80,33	12,48	54,40	53,70	31,92	-0,2745
Ad. 6	86,92	13,51	76,62	12,34	54,70	53,10	91,23	0,7688
Ad. 7	99,08	21,87	90,03	19,93	88,50	85,80	91,23	1,2166
Ad. 8	96,49	18,49	97,29	16,93	74,50	73,20	59,74	0,5647
Ad. 9	85,99	19,73	78,03	17,92	79,50	77,50	75,08	0,7167
Ad. 10A	71,52	14,51	63,44	13,65	58,40	59,00	25,32	-0,5037
Ad. 10B	71,68	14,57	63,58	15,48	58,70	58,30	25,32	-0,5041
Ad. 11	81,03	15,74	66,84	15,20	59,90	61,80	35,71	-0,2335
Ad. 12	87,58	19,36	74,28	17,33	78,30	74,60	26,85	-0,1702
Ad. 13	82,55	16,60	69,35	15,35	67,20	66,10	20,56	-0,4258
Ad. 14A	64,93	17,30	58,11	15,99	65,90	66,60	28,94	-0,4320
Ad. 14B	72,00	11,07	66,05	10,55	42,20	42,90	48,34	-0,2299
Ad. 15A	46,61	16,04	46,31	15,11	61,10	68,00	55,49	-0,1348
Ad. 15B	80,43	16,35	71,02	15,04	62,10	62,70	18,33	-0,5054
Ad. 16A	68,22	15,09	60,00	13,94	57,50	58,10	19,07	-0,6587
Ad. 16B	64,22	11,68	53,60	11,48	44,50	47,80	24,37	-0,7301
Ad. 17A	43,58	15,75	43,98	14,82	60,00	61,70	54,33	-0,2191
Ad. 17B	70,53	14,73	74,23	15,66	56,10	65,20	22,47	-0,4768
Ad. 18A	78,07	22,06	62,45	19,62	84,00	81,80	74,87	0,6252
Ad. 18B	62,01	10,81	54,77	18,59	79,30	77,40	9,86	-0,6905
Ad. 19	82,29	15,63	71,82	14,75	59,50	61,50	27,27	-0,3511
Ad. 20	77,84	12,83	74,05	19,37	48,90	59,90	30,96	-0,3501
Ad. 21	99,89	15,75	83,59	14,37	63,70	61,90	52,13	0,2637
Ad. 22			26,20	4,99		20,80		
Ad. 23	Modele liniowe nieistotne: dla szeregu 2007-2016: $p = 0,8193$; dla szeregu 2007-2018: $p = 0,4315$							
Ad. 24A i B	Modele nieliniowych oraz opartych na flagach kategorii nie brano pod uwagę							
Ad. 25	54,30	9,40	54,42	9,96	37,10	40,50	83,61	AR(1,2)*

* brak autokorelacji

W oparciu o uzyskane wyniki można stwierdzić, że najlepszym dopasowaniem (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych, stanowiących liczbę wypadków ogółem w firmach usługowych KWK „Mysłowice-Wesoła” charakteryzują się następujące modele prognostyczne mające standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną *mniej niż -0,6000*.

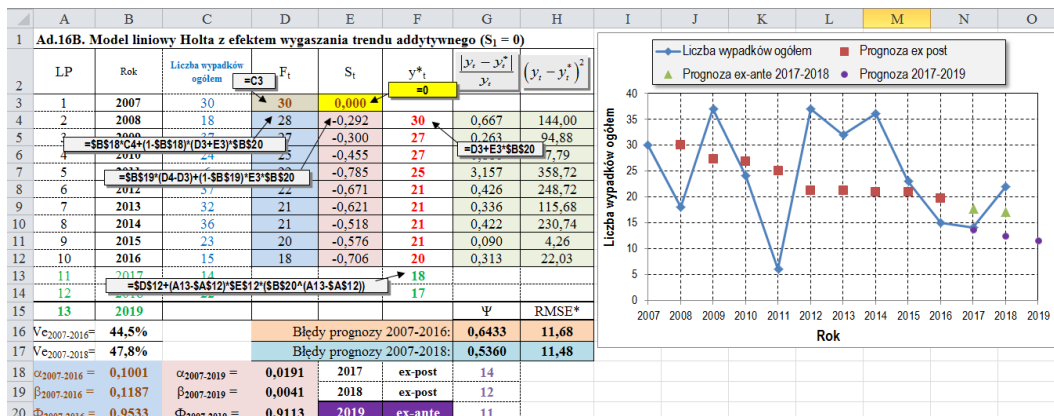
Ad.16A. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego ($S_1 = y_2 - y_1$)
(rys. 9.1.38)



Rys. 9.1.38. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (dla: $S_1 = y_2 - y_1$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.34. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,9026, 0,0001 i 0,1497 oraz 0,9082, 0,0001 i 0,1498.

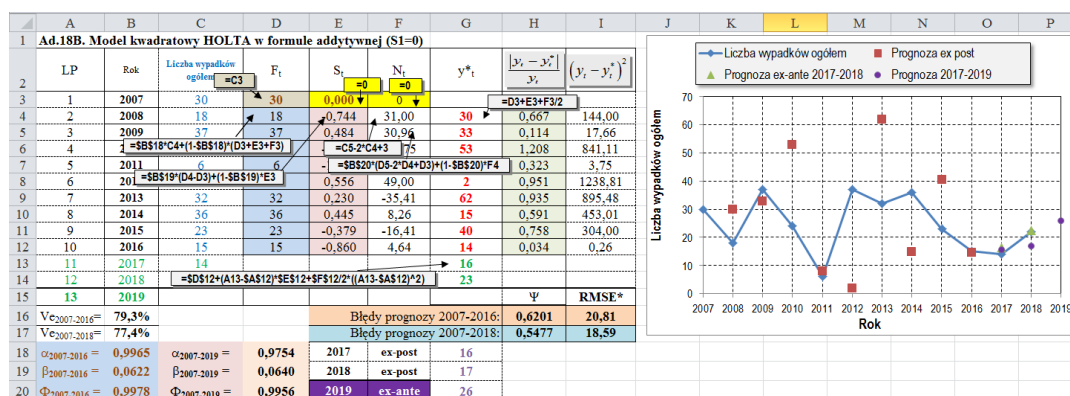
Ad.16B. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego ($S_1 = 0$) (rys. 9.1.39);



Rys. 9.1.39. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (dla: $S_1 = 0$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.34. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,1001, 0,1187 i 0,9533 oraz 0,0191, 0,0041 i 0,9113.

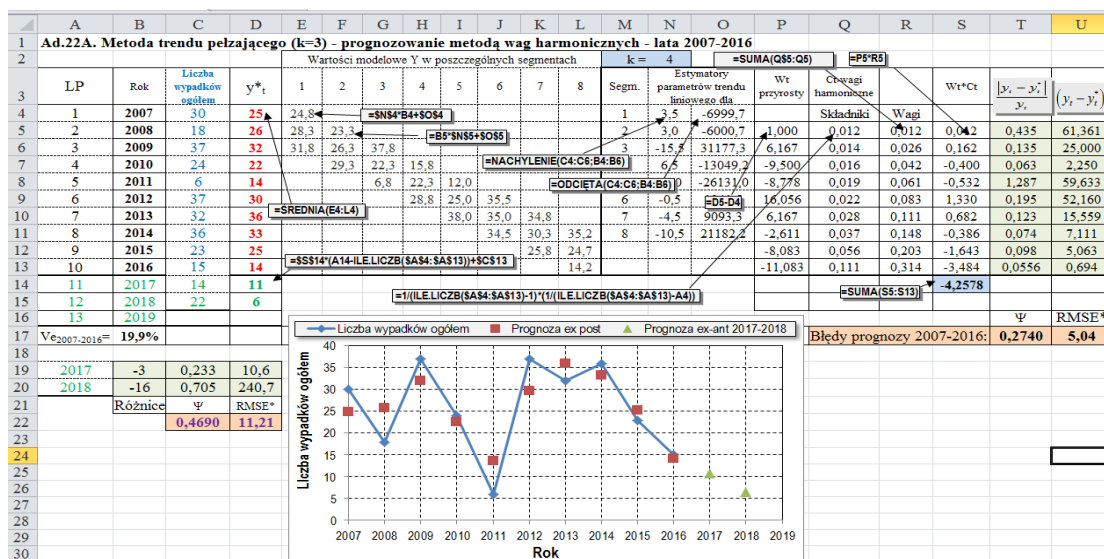
Ad.18B. Model kwadratowy Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (rys. 9.1.40)



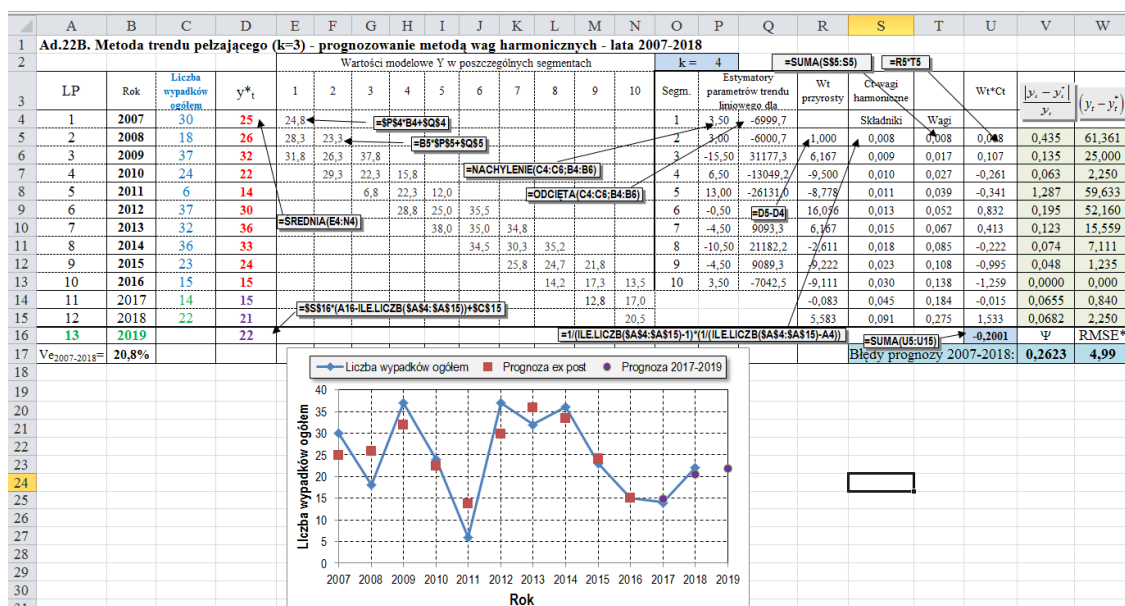
Rys. 9.1.40. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.43. Dla szeregów czasowych 2007-2016 oraz 2007-2018 optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,9965, 0,0622 i 0,9978 oraz 0,9754, 0,0640 i 0,9956.

Ad.22. Model trendu pelzajacego (k = 3) – prognozowanie metoda wag harmonicznycch
(rys. 9.1.41 i 9.1.42)



Rys. 9.1.41. Prognoza oparta na modelu trendu pelzajacego (k = 3) z wykorzystaniem metody wag harmonicznycch dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy uslugowe)



Rys. 9.1.42. Prognoza oparta na modelu trendu pelzajacego (k = 3) z wykorzystaniem metody wag harmonicznycch dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy uslugowe)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu trendu pelzajacego (k = 3) z wykorzystaniem metody wag harmonicznycch przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.50 i 6.51. Należy dodać, że model ten mimo bardzo zlozonego przebiegu szeregu czasowego zapewnia najlepsze dopasowanie uzyskanych prognoz do wyników empirycznych liczby wypadków ogółem dla KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy uslugowe.

W tablicy 9.1.2 przedstawiono wyniki związane z oszacowaniem prognozy dla szeregu czasowego ujmującego wyniki liczby wypadków ogółem dla KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe dla lat 2017-2018. Wprowadzenie do rankingu ocen jakości prognoz opartego na standaryzowanej wagowej ocenie sumarycznej nie ma uzasadnienia merytorycznego ze względu na niespodziewany wynik empiryczny uzyskany w 2018 r., który z powodzeniem ujęty jest w prognozie opartej na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych na lata 2018-2019 przedstawionej na rys. 9.1.42. Z podobnych względów nie ujęto również w rankingu metod opartych na modelach autoregresyjnych (Ad. 25). Poza tym w przeprowadzonym teście D-W zarówno dla szeregu czasowego 2007-2016 ($\rho = -0,1855$; $d = 2,2609$), jak i dla szeregu 2007-2018 ($\rho = -0,0871$; $d = 2,1697$) nie stwierdzono statystycznie istotnej autokorelacji reszt.

9.2. Prognoza wypadkowości w KWK „Budryk”

9.2.1. Prognoza wypadkowości w KWK „Budryk” – załoga własna

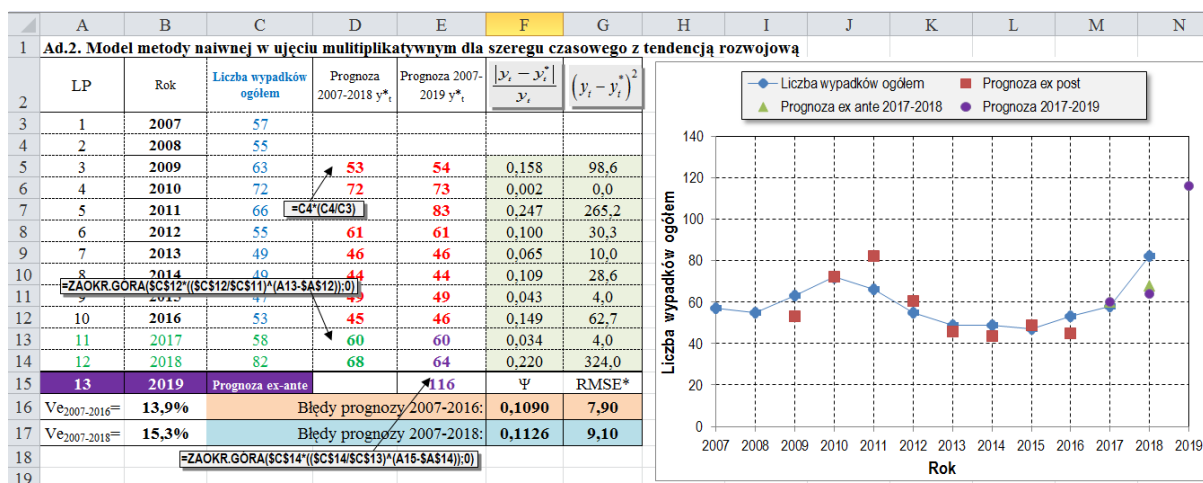
Tablica 9.2.1 zawiera zestawienie wartości każdego z kryteriów dla zastosowanych metod prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną kryteriów dla KWK „Budryk” – załoga własna.

Tablica 9.2.1. Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Budryk” – załoga własna)

KWK „Budryk” – załoga własna								
Identyf. modelu	Błędy progn. 2007-2016		Błędy progn. 2007-2018		Współczynnik V_e [%]		2017-2018	Weryfikacja prognozy
	Ψ [%]	RMSE*	Ψ [%]	RMSE*	2007-2016	2007-2018	Ψ [%]	
Ad. 1	9,53	6,51	17,67	9,45	11,50	16,00		
Ad. 2	10,90	7,90	11,26	9,10	13,90	15,30	10,26	-0,6874
Ad. 3	16,48	9,67	16,40	11,72	17,00	19,70	16,11	0,0887
Ad. 4	12,27	8,66	14,75	11,58	15,30	19,60	25,19	0,3883
Ad. 5	15,43	9,78	14,46	13,22	17,50	22,40	26,41	0,7104
Ad. 6	13,23	8,71	15,50	12,28	15,60	10,80	25,76	0,1750
Ad. 7	13,92	8,85	13,06	9,89	15,80	16,80	16,61	-0,1266
Ad. 8	38,36	8,98	45,57	10,81	16,90	18,80	17,83	0,8646
Ad. 9	13,35	8,73	13,72	10,42	16,40	18,20	17,46	-0,0046
Ad. 10A	9,23	6,43	10,85	9,12	12,10	15,90	18,94	-0,3353
Ad. 10B	9,97	6,49	11,47	9,30	12,20	16,20	18,94	-0,3004
Ad. 11	10,43	6,63	11,96	9,76	11,70	16,40	21,38	-0,1775
Ad. 12	8,81	5,58	10,66	9,19	10,50	15,60	17,12	-0,5376
Ad. 13	9,94	6,60	11,64	9,68	11,80	16,40	18,12	-0,3576
Ad. 14A	10,94	7,84	11,62	9,41	13,80	16,00	18,01	-0,2523
Ad. 14B	9,81	6,69	13,53	10,85	11,80	18,30	22,48	-0,0424
Ad. 15A	8,86	6,90	11,67	10,92	12,20	18,50	27,37	0,2075
Ad. 15B	9,64	6,59	11,38	9,51	11,60	16,10	22,06	-0,1764
Ad. 16A	9,76	7,61	12,53	11,32	13,40	19,20	28,67	0,3896
Ad. 16B	13,21	10,01	33,83	24,96	17,60	42,30	43,84	2,4943
Ad. 17A	9,03	6,71	11,31	10,26	11,80	17,40	18,49	-0,3244
Ad. 17B	9,91	6,95	13,74	11,75	12,20	19,90	35,03	0,7036
Ad. 18A	7,00	4,73	9,39	8,90	8,30	15,10	13,22	-0,9256
Ad. 18B	7,40	4,60	8,99	8,36	8,10	14,20	9,46	-1,1643
Ad. 19	12,72	8,65	14,79	11,52	15,20	19,50	18,45	0,0285
Ad. 20	23,62	16,10	19,74	13,34	27,10	23,20	13,14	0,7473
Ad. 21	9,96	6,96	10,41	9,04	12,50	15,30	15,20	-0,5259
Ad. 22			1,64	1,05		1,80		
Ad. 23	model liniowy ($p=0,1015$ i $p = 0,8509$) i nieliniowe linearyzowane - nieistotne							
Ad. 24			3,10	3,01		5,10		Flagi kategorii
Ad. 25			3,03	1,84		3,30		AR(1,3,4,5)

W oparciu o przedstawione wyniki można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych stanowiących liczbę wypadków ogółem wśród załogi KWK „Budryk” charakteryzują się następujące modele prognostyczne mające standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną *mniejszą niż* $-0,6000$:

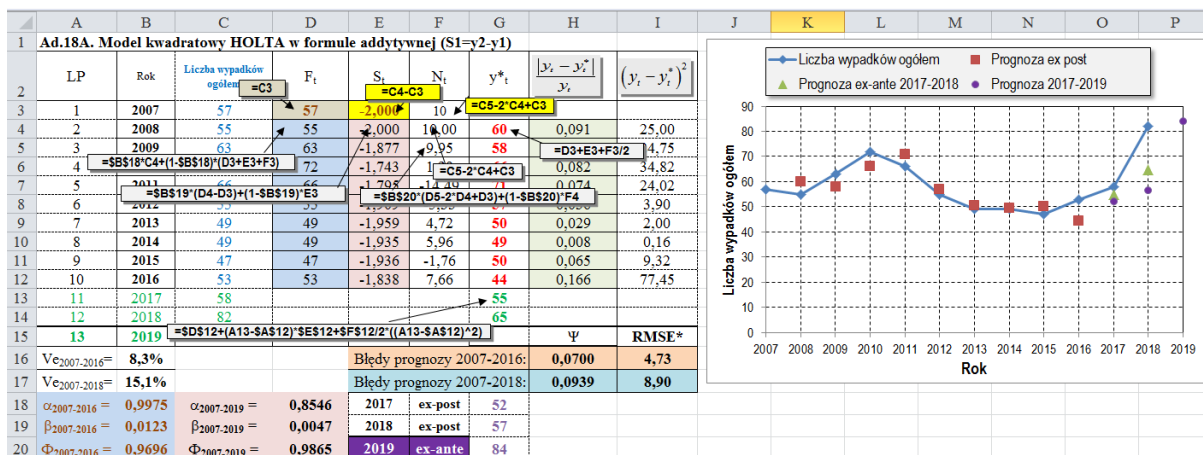
Ad.2. Model metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym dla szeregu czasowego z tendencją rozwojową (rys. 9.2.1)



Rys. 9.2.1. Prognoza oparta na modelu metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym (KWK „Budryk” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla *modelu opartego na metodzie naiwnej w ujęciu multiplikatywnym* przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.9-6.10.

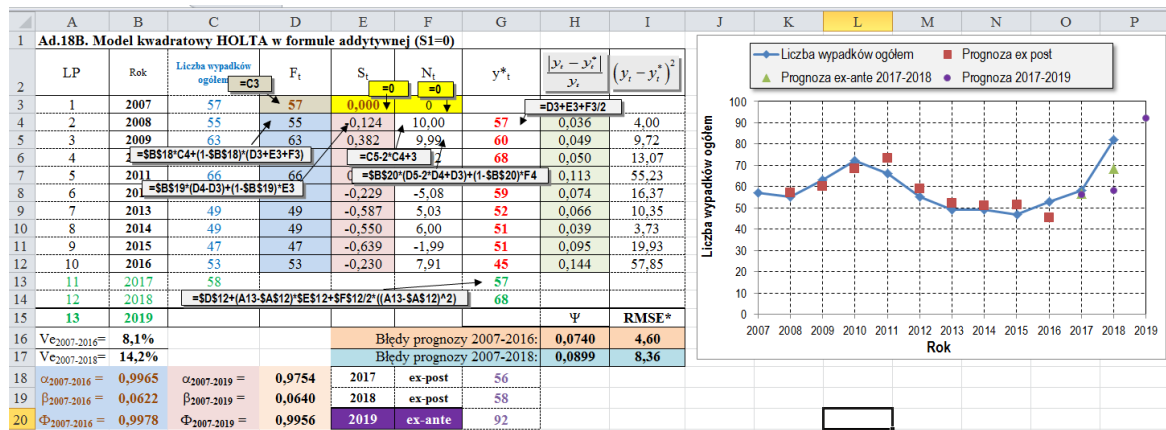
Ad. 18A. Model kwadratowy Holta w formule addytywnej ($S_1 = y_2 - y_1$) (rys. 9.2.2)



Rys. 9.2.2. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Budryk” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante*, opartych na modelu liniowym Holta w formule addytywnej ($S_1 = y_2 - y_1$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.41 i 6.42. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,9975, 0,0123 i 0,9696 oraz 0,8546, 0,0047 i 0,9865.

Ad. 18B. Model kwadratowy Holta w formule addytywnej ($S_1 = 0$) (rys. 9.2.3)



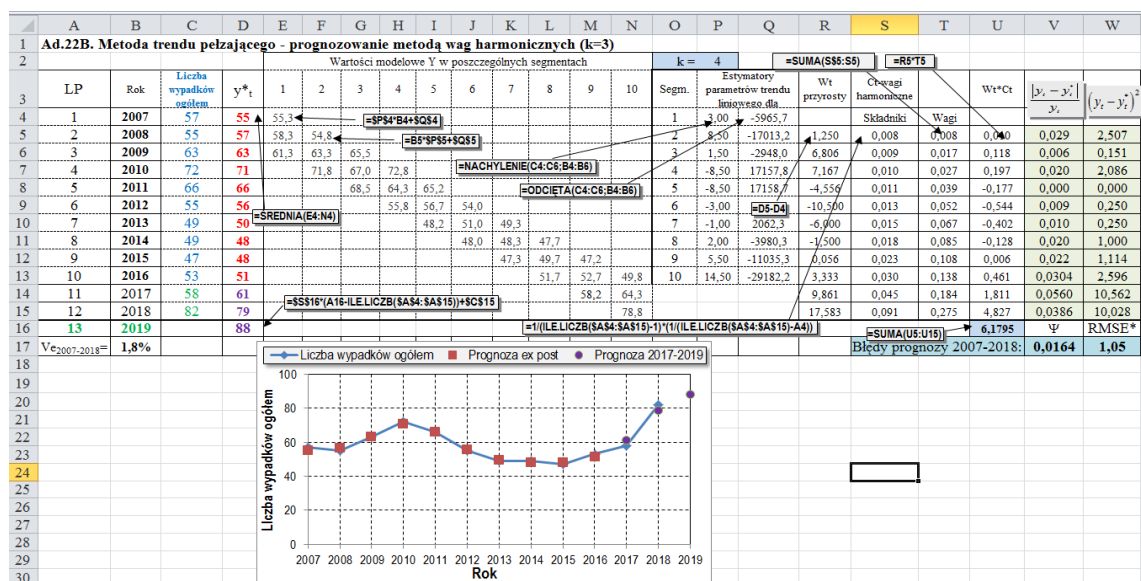
Rys. 9.2.3. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Budryk” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta w formule addytywnej ($S_1 = 0$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.43. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametrów α , β i Φ wyniosły odpowiednio: 0,9965, 0,0622 i 0,9978 oraz 0,9754, 0,0640 i 0,9956.

Jak to można zauważyć z danych przedstawionych w tabl. 9.3.1, bardzo dobrze dopasowane do rejestrowanej ogólnej liczby wypadków w KWK „Budryk” – załoga własna, są również modele, które ze względu na stwierdzoną okresowość w latach 2007-2018 należy uwzględnić w prowadzonej analizie. Są to następujące modele:

Ad.22. Model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych

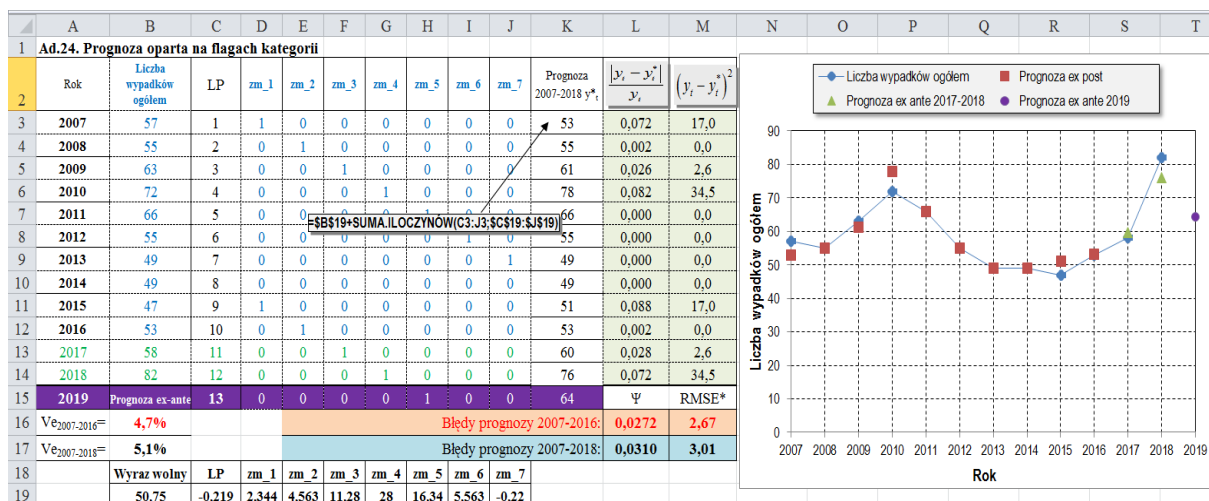
(rys. 9.2.4)



Rys. 9.2.4. Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych dla lat 2007-2018 (KWK „Budryk” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante*, opartych na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.50 i 6.51. Należy dodać, że model ten zapewnia najlepsze dopasowanie uzyskanych prognoz do wyników empirycznych liczby wypadków ogółem z lat 2007-2018 dla KWK „Budryk” – załoga własna. W tabl. 9.2.1. ujęto wyniki związane z oszacowaniem prognozy dla szeregu czasowego ujmującego wyniki liczby wypadków ogółem dla KWK „Budryk” – załoga własna dla lat 2017-2018. Wprowadzenie do rankingu ocen jakości prognoz opartych na standaryzowanej wagowej ocenie sumarycznej nie ma uzasadnienia merytorycznego ze względu na to, że skrócony szereg ujmujący jedynie lata 2007-2016 nie ujmuje w pełni występującej okresowości. Z podobnych względów nie ujęto również w rankingu metod opartych na flagach kategorii (Ad. 24) oraz modelach autoregresyjnych (Ad. 25).

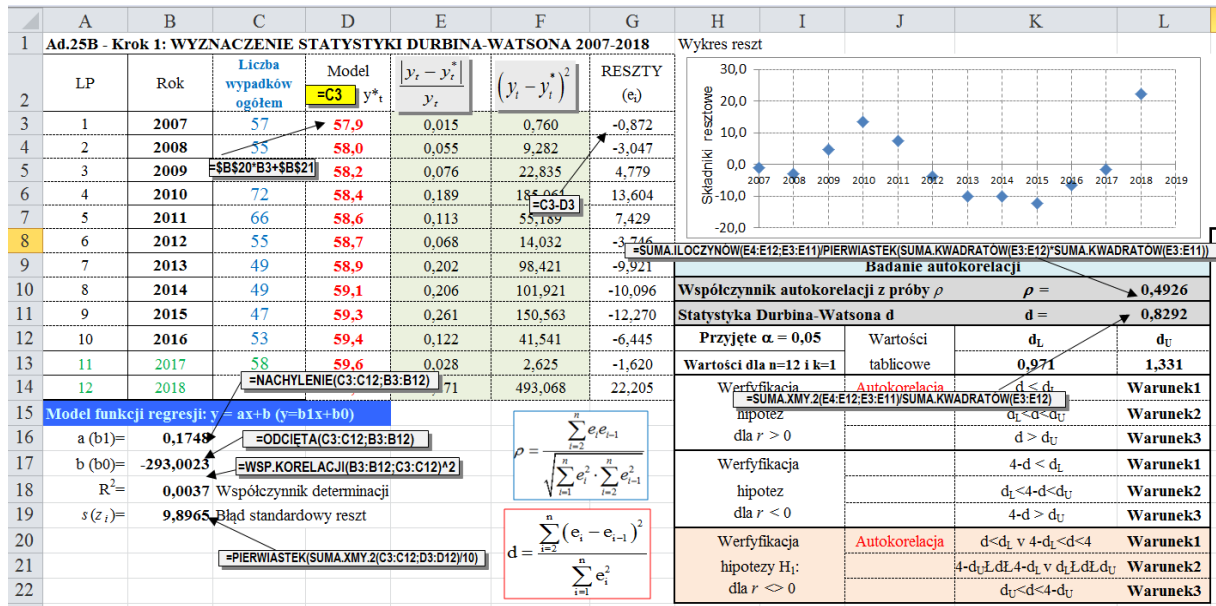
Ad. 24B. Prognoza oparta na flagach kategorii (zmiennych umownych) (rys. 9.2.5)



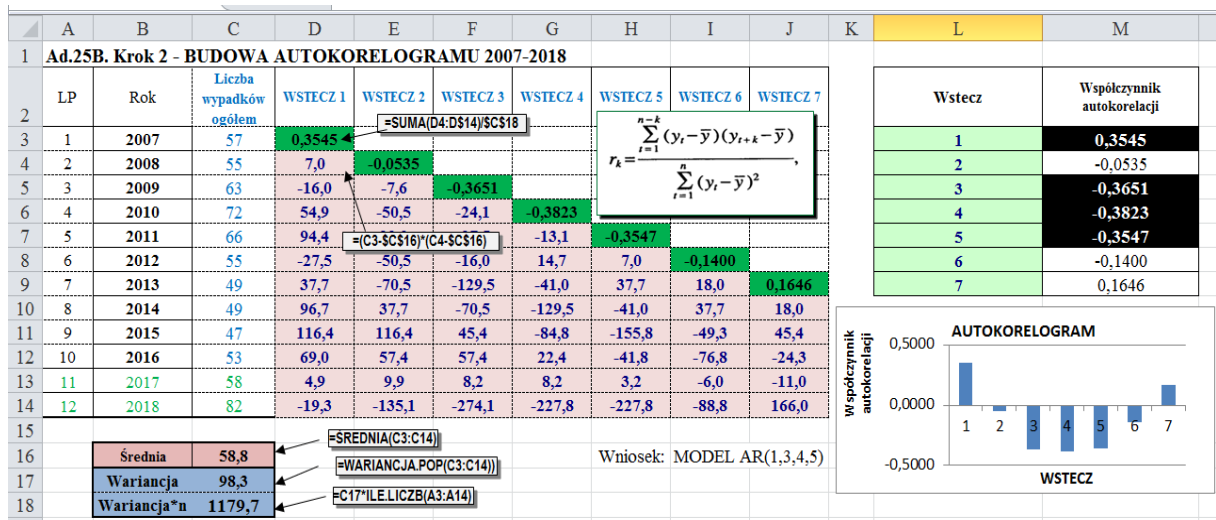
Rys. 9.2.5. Prognoza oparta na flagach kategorii z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Budryk” – załoga własna)

Do wyznaczenia parametrów modelu regresji wielorakiej wykorzystano *Narzędzie analizy danych* Excela – *Regresja*. Ponieważ rozpatrywany szereg oznaczał się 8 punktową okresowością, zatem zgodnie z zaleceniami tego typu prognoz wykorzystano jedynie 7 zmiennych (kategorii). Współczynnik determinacji R^2 dla oszacowanego modelu funkcji regresji wielorakiej wynosił aż 0,9081, natomiast standardowy błąd estymacji wynosił 6,01. Jak można zauważyć oszacowany model jest bardzo dobrze dopasowany do empirycznego szeregu czasowego oraz ujmuje w pełni występującą okresowość (rys. 9.2.5).

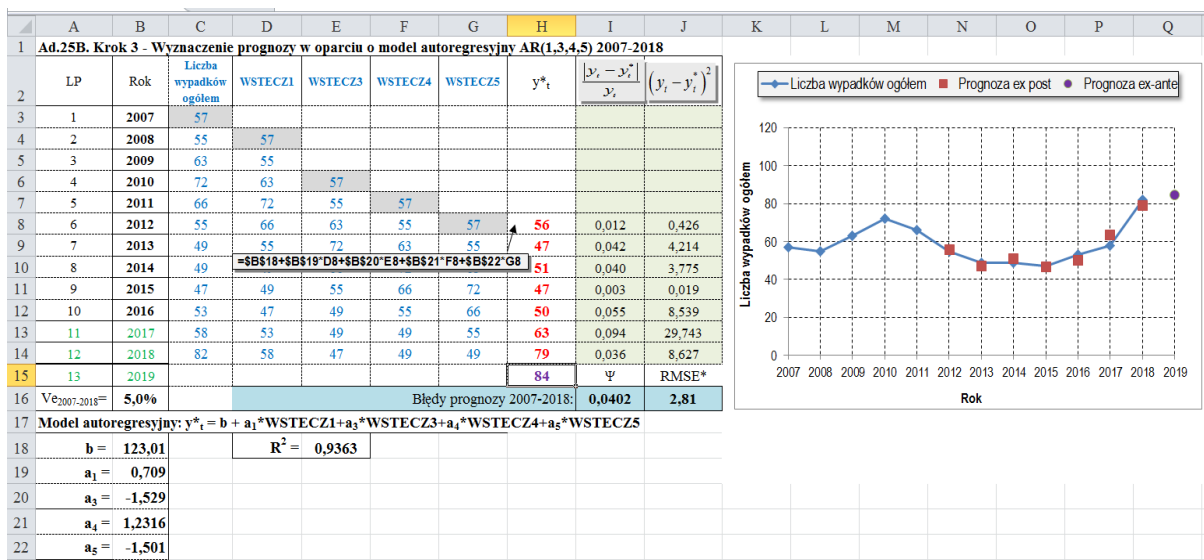
Ad. 25. (rys. 9.2.6, 9.2.7 i 9.2.8)



Rys. 9.2.6. Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durbina-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” – załoga własna)



Rys. 9.2.7. Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” – załoga własna)



Rys. 9.2.8. Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,3,4,5) szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” – załoga własna)

W teście D-W dla szeregu czasowego 2007-2018 ($\rho = 0,4929$; $d = 0,8292$) stwierdzono statystycznie istotną autokorelację reszt (Rys. 9.2.6). Po dokładnej analizie wartości współczynników autokorelacji (Rys. 9.2.7) stwierdzono, że dla szeregu czasowego ujmującego lata 2007-2018 można wykorzystać model autoregresyjny AR(1,3,4,5). Do wyznaczenia parametrów tego modelu wykorzystano *Narzędzie analizy danych* Excela – *Regresja*. Współczynnik determinacji R^2 dla oszacowanego modelu funkcji regresji wielorakiej wynosił aż 0,9363, natomiast standardowy błąd estymacji wynosił 5,26. Jak można zauważyć, oszacowany model jest bardzo dobrze dopasowany do empirycznego szeregu czasowego oraz ujmuje w pełni występującą okresowość (rys. 9.2.8).

9.2.2. Prognoza wypadkowości w KWK „Budryk” – firmy usługowe

Tablica 9.2.2 zawiera zestawienie wartości każdego z kryteriów dla zastosowanych metod prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną tych kryteriów dla KWK „Budryk” – firmy usługowe.

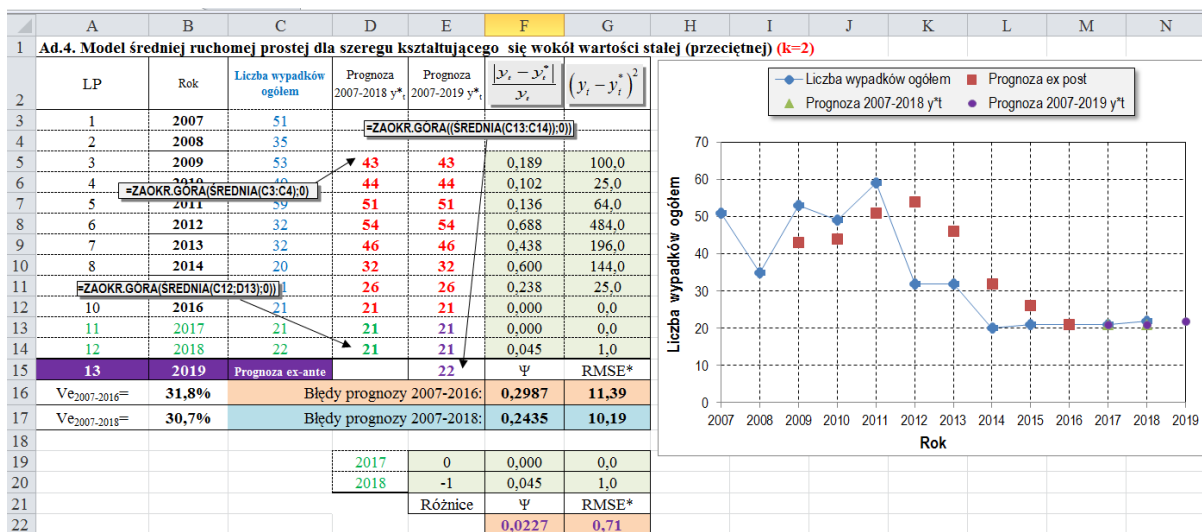
Tablica 9.2.2. Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Budryk” – firmy usługowe)

KWK „Budryk” – firmy usługowe								
Identyf. modelu	Błędy progn. 2007-2016		Błędy progn. 2007-2018		Współczynnik Ve [%]		2017-2018	Weryfikacja prognozy
	Ψ [%]	RMSE*	Ψ [%]	RMSE*	2007-2016	2007-2018	Ψ [%]	
Ad. 1	57,43	23,04	55,94	20,61	64,40	62,10		
Ad. 2	51,87	22,25	41,95	19,90	62,00	60,30	2,77	0,8234
Ad. 3	57,74	16,67	60,65	16,46	46,50	49,90	72,29	2,3739
Ad. 4	29,87	11,39	24,35	10,19	31,80	30,70	2,27	-0,6296
Ad. 5	42,73	14,08	33,74	12,42	42,10	4,04	2,27	-0,7023
Ad. 6	35,77	12,66	28,43	11,17	37,90	36,30	2,98	-0,3096
Ad. 7	28,03	12,38	22,83	10,93	37,00	35,50	4,65	-0,4103
Ad. 8	58,14	16,47	68,37	14,30	53,40	50,20	16,23	1,1026
Ad. 9	41,06	15,68	32,47	13,60	50,80	47,70	13,45	0,4956
Ad. 10A	26,56	12,29	22,51	11,34	39,90	39,80	4,65	-0,2944
Ad. 10B	27,44	12,37	23,26	11,30	40,10	39,60	4,65	-0,2802
Ad. 11	27,84	12,80	22,92	11,80	35,70	35,70	6,93	-0,3731
Ad. 12	31,51	13,30	25,15	11,73	39,80	38,10	2,92	-0,3067
Ad. 13	28,35	12,43	22,79	11,18	37,20	36,30	3,49	-0,4205
Ad. 14A	34,43	16,68	30,25	14,90	46,50	44,90	13,09	0,2772
Ad. 14B	29,94	13,38	26,92	11,12	37,30	33,70	11,91	-0,1946
Ad. 15A	27,26	13,80	24,95	12,56	38,50	37,90	21,48	0,1146
Ad. 15B	28,53	13,30	23,95	12,08	37,10	36,20	3,50	-0,4130
Ad. 16A	27,47	12,55	24,21	11,39	35,00	34,30	10,49	-0,3101
Ad. 16B	33,88	15,22	23,02	9,26	42,40	27,90	3,17	-0,4227
Ad. 17A	27,47	13,84	25,08	12,57	38,60	37,90	23,16	0,1637
Ad. 17B	26,46	12,02	26,46	11,48	33,50	34,60	18,58	-0,1118
Ad. 18A	24,00	9,82	24,42	9,26	27,40	27,90	38,26	0,1331
Ad. 18B	28,11	12,86	26,08	11,73	35,90	35,30	21,01	0,0227
Ad. 19	30,28	12,19	29,58	11,40	34,00	34,30	38,40	0,4737
Ad. 20	35,66	12,07	32,75	12,75	33,60	38,40	16,07	0,0215
Ad. 21	30,12	12,65	24,13	11,17	37,80	36,30	7,73	-0,2707
Ad. 22	10,93	4,69	10,62	4,68	13,10	14,10	22,71	-1,0221
Ad. 23	17,72	8,96	19,46	8,42	24,00	24,30	29,61	-0,3190
Ad. 24*	17,96	9,84	17,51	8,82	26,40	25,40	17,06	-0,6073
Ad. 25**	32,75	12,75	35,25	15,40	38,40	43,00	12,10	

* model wykładniczy ** brak autokorelacji - model AR(1,2)

W oparciu o przedstawione wyniki można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych stanowiących liczbę wypadków ogółem wśród pracowników firm usługowych KWK „Budryk” charakteryzują się modele prognostyczne mające standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną *mnijszą niż -0,6000*, a mianowicie:

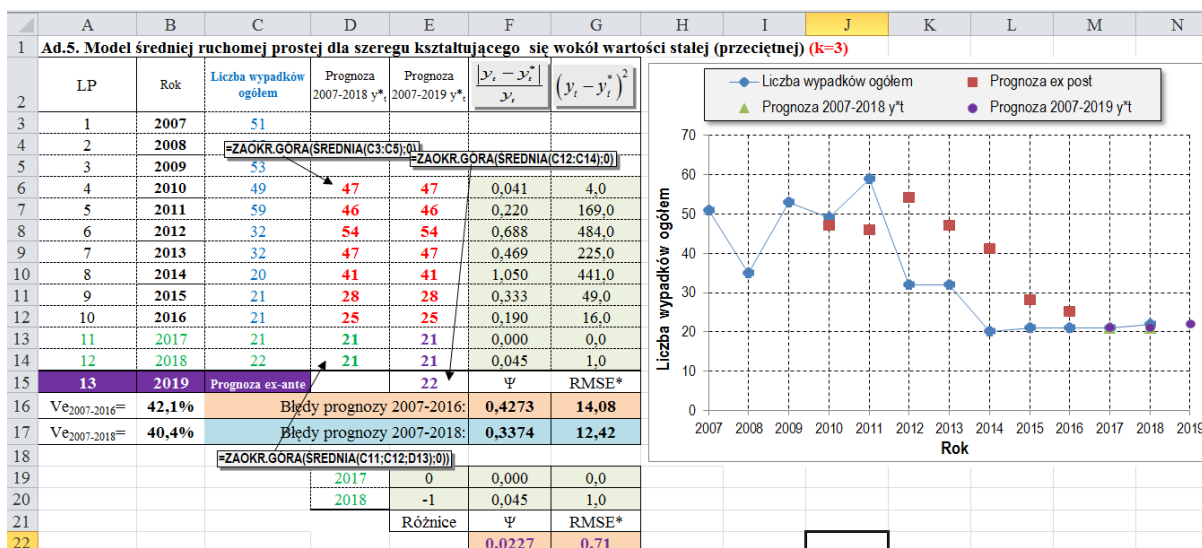
Ad. 4. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k = 2$) (rys. 9.2.9)



Rys. 9.2.9. Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej $k = 2$ (KWK „Budryk” – firmy usługowe)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla modelu opartego na średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k = 2$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.12-6.13.

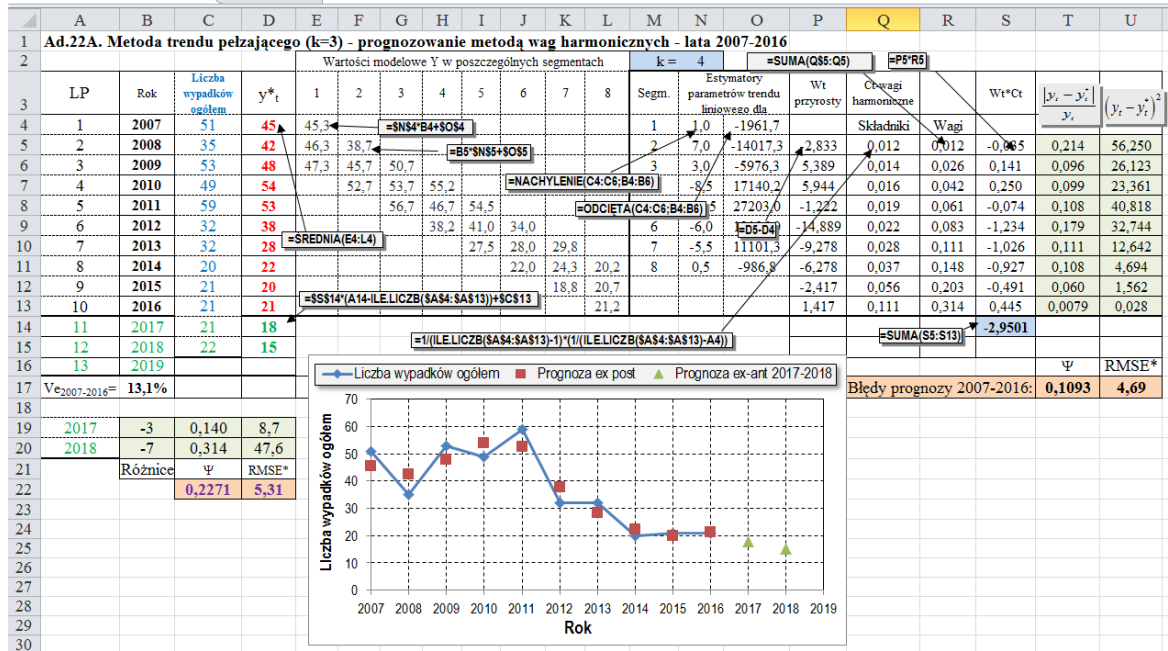
Ad. 5. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k = 3$) (rys. 9.2.10)



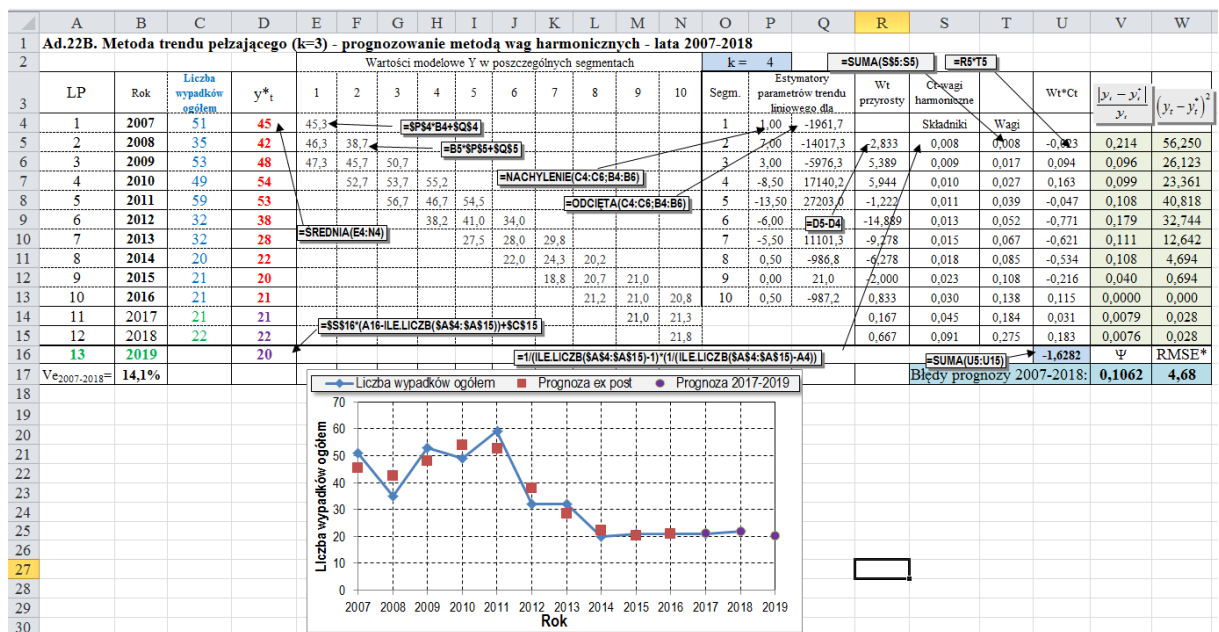
Rys. 9.2.10. Prognoza oparta na modelu średniej ruchomej prostej szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości przeciętnej $k = 3$ (KWK „Budryk” – firmy usługowe)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* dla modelu opartego na średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k = 3$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.12-6.13.

Ad.22. Model trendu pelzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych
(rys. 9.2.11 i 9.2.12)



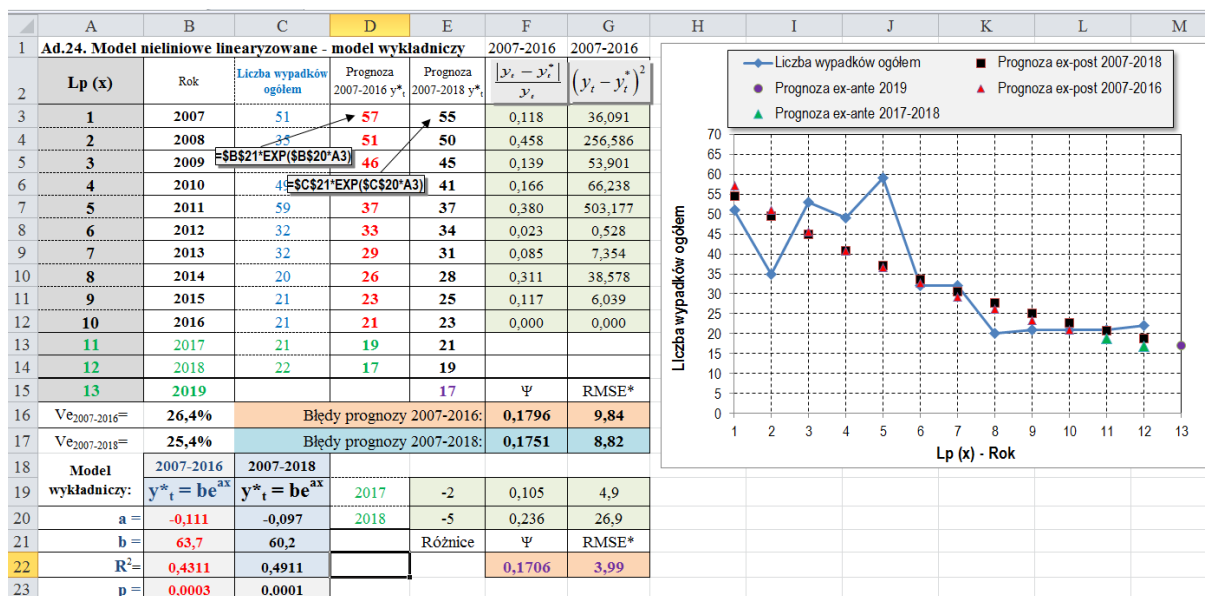
Rys. 9.2.11. Prognoza oparta na modelu trendu pelzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (KWK „Budryk” – firmy usługowe)



Rys. 9.2.12. Prognoza oparta na modelu trendu pelzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Budryk” – firmy usługowe)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.50 i 6.51. Należy dodać, że model ten mimo bardzo złożonego przebiegu szeregu czasowego zapewnia najlepsze dopasowanie uzyskanych prognoz do wyników empirycznych liczby wypadków ogółem dla KWK „Budryk” – firmy usługowe.

Ad.24. Model nieliniowy linearyzowany – model wykładniczy (rys. 9.2.13)



Rys. 9.2.13. Prognoza oparta na modelu nieliniowym linearyzowanym - wykładniczym (KWK „Budryk” – firmy usługowe)

Stwierdzono, że spośród modeli nieliniowych – linearyzowanych najlepszym dopasowaniem do danych empirycznych ogólnej liczby wypadków wśród pracowników firm usługowych KWK „Budryk” charakteryzował się model wykładniczy typu $y_t^* = b \cdot e^{ax}$. Zarówno dla lat 2007-2016, jak i 2007-2018 – model ten był statystycznie istotny (p i R^2 odpowiednio równe: 0,0003 i 0,4311 oraz 0,0001 i 0,4911). Oszacowanie oceny parametrów tych funkcji przeprowadzono w pakiecie statystycznym Statistica v.7.1. PL wykorzystując narzędzie *Linearyzowana regresja nieliniowa*.

9.3. Prognoza wypadkowości w ZG „Brzeszcze”

9.3.1. Prognoza wypadkowości w ZG „Brzeszcze” – załoga własna

Tablica 9.3.1 zawiera zestawienie wartości kryteriów dla zastosowanych metod prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną tych kryteriów dla ZG „Brzeszcze” – załoga własna.

Tablica 9.3.1. Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (ZG „Brzeszcze” – załoga własna)

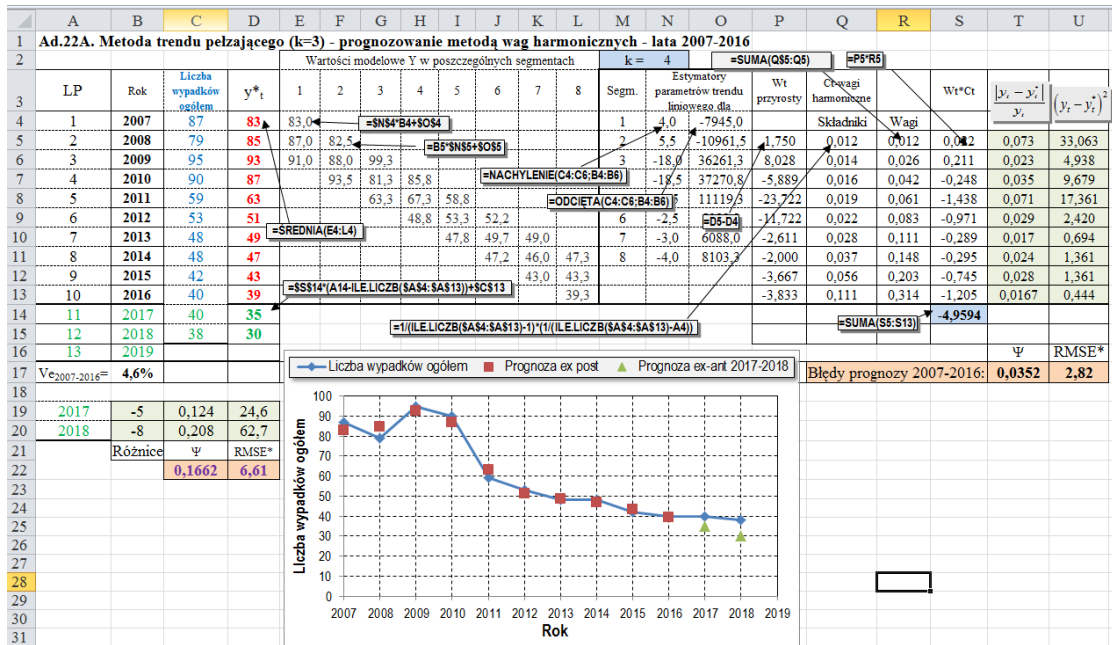
KWK „Brzeszcze” – załoga własna								
Identyf. modelu	Błędy progn. 2007-2016		Błędy progn. 2007-2018		Współczynnik Vc [%]		2017-2018	Weryfikacja prognozy
	Ψ [%]	RMSE*	Ψ [%]	RMSE*	2007-2016	2007-2018	Ψ [%]	
Ad. 1	22,08	17,31	28,16	15,50	28,10	27,00		
Ad. 2	19,45	16,17	16,34	14,48	27,20	26,20	2,57	-0,0357
Ad. 3	46,70	24,68	49,42	24,65	41,60	44,60	62,83	3,5802
Ad. 4	20,60	15,52	17,26	13,90	25,20	24,20	5,20	-0,0422
Ad. 5	27,92	17,84	23,70	15,82	32,90	31,10	10,26	0,7033
Ad. 6	23,12	15,66	19,29	13,85	28,80	27,20	7,36	0,2726
Ad. 7	20,70	16,06	17,50	14,23	29,60	28,00	11,58	0,4138
Ad. 8	34,55	14,78	50,46	12,82	30,60	27,90	6,45	0,7555
Ad. 9	20,16	14,89	16,12	12,94	30,80	28,10	9,34	0,3571
Ad. 10A	14,03	12,27	12,56	11,15	25,40	24,20	3,88	-0,2045
Ad. 10B	15,16	12,66	13,50	11,59	26,20	25,20	3,88	-0,1292
Ad. 11	16,00	12,99	11,58	11,59	21,90	20,90	3,82	-0,3913
Ad. 12	13,30	13,33	11,17	11,78	24,60	23,10	3,71	-0,2879
Ad. 13	12,85	12,27	10,71	10,82	22,60	21,30	3,02	-0,4318
Ad. 14A	16,71	14,52	13,39	12,44	24,50	21,60	10,18	-0,0567
Ad. 14B	12,86	12,42	14,39	12,29	20,90	22,20	5,63	-0,3320
Ad. 15A	10,30	11,06	10,36	10,15	18,60	17,70	11,74	-0,3969
Ad. 15B	13,78	12,05	11,74	11,33	21,10	19,70	1,98	-0,5360
Ad. 16A	10,73	11,30	9,81	10,27	19,00	17,90	5,93	-0,5734
Ad. 16B	18,40	11,52	13,42	9,31	19,40	16,20	3,99	-0,5496
Ad. 17A	9,80	11,04	9,29	10,90	18,60	17,60	14,63	-0,3199
Ad. 17B	11,33	11,13	11,70	10,48	18,80	18,20	14,31	-0,2654
Ad. 18A	16,05	10,42	14,01	9,35	17,50	16,30	15,46	-0,2419
Ad. 18B	16,02	11,51	13,02	10,45	19,40	18,20	7,27	-0,4140
Ad. 19	10,17	13,64	15,02	12,41	23,00	21,60	20,26	0,1737
Ad. 20	23,62	16,10	19,74	13,34	27,10	23,20	13,14	0,3090
Ad. 21	13,30	13,33	11,16	11,78	24,60	23,10	4,89	-0,2487
Ad. 22	3,52	2,82	3,23	2,79	4,60	4,90	16,62	-1,1677
Ad. 23	10,46	8,80	12,55	8,87	13,70	14,80	33,62	0,1282
Ad. 24	9,33	9,24	9,80	8,55	14,40	14,30	15,17	-0,6016
Ad. 25*	10,10	10,93	8,72	9,89	17,70	17,20	1,49	-0,7981
Ad. 25**	10,99	11,56	9,25	10,36	20,90	18,70	2,41	-0,6143

*Autokorelacja - model AR(1); ** Autokorelacja - model AR(1,2)

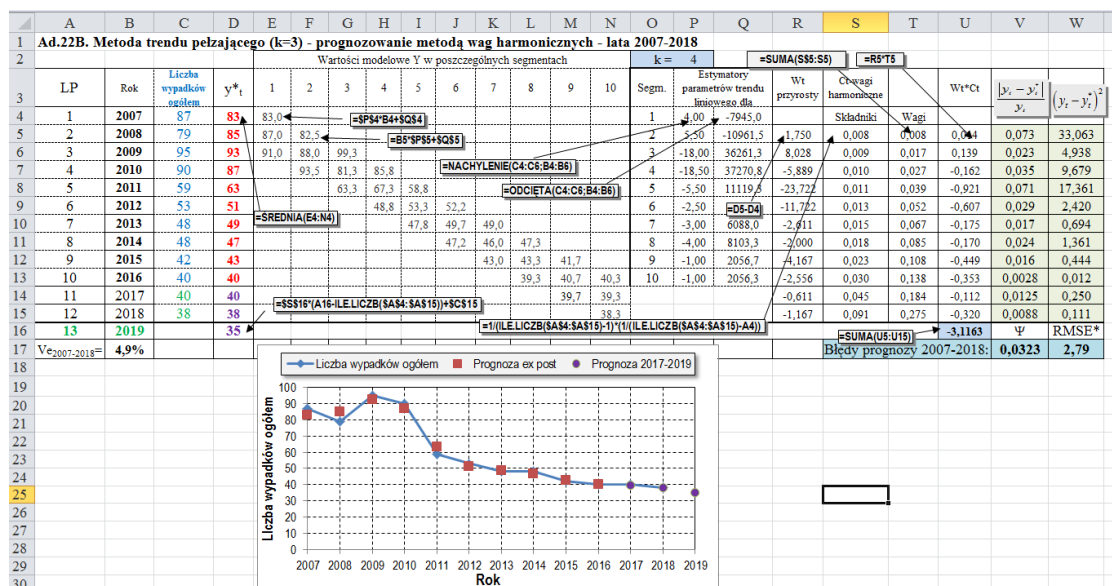
W oparciu o przedstawione wyniki można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych, stanowiących liczbę wypadków

ogółem wśród załogi ZG „Brzeszcze”, charakteryzują się następujące modele prognostyczne (mające standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną *mniej niż -0,6000*):

Ad.22. Model trendu pelzającego (k = 3) – prognozowanie metodą wag harmonicznych
(rys. 9.3.1 i 9.3.2)



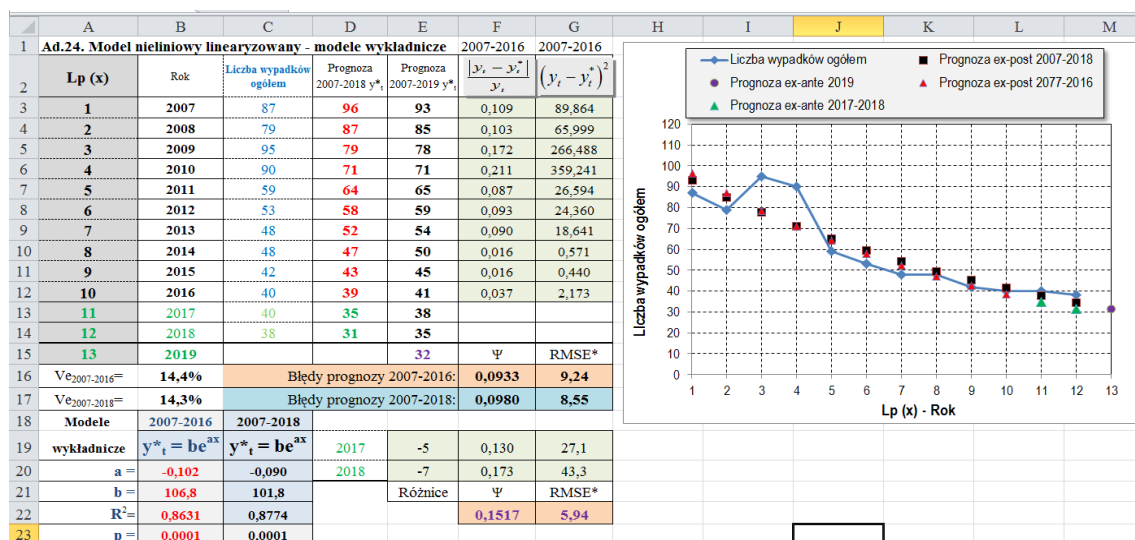
Rys. 9.3.1. Prognoza oparta na modelu trendu pelzającego (k = 3) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (ZG „Brzeszcze” – załoga własna)



Rys. 9.3.2. Prognoza oparta na modelu trendu pelzającego (k = 3) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (ZG „Brzeszcze” – załoga własna)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.50 i 6.51. Należy dodać, że model ten mimo dość złożonego przebiegu analizowanego szeregu czasowego zapewnia najlepsze dopasowanie uzyskanych prognoz do wyników empirycznych liczby wypadków ogółem dla ZG „Brzeszcze” – załoga własna.

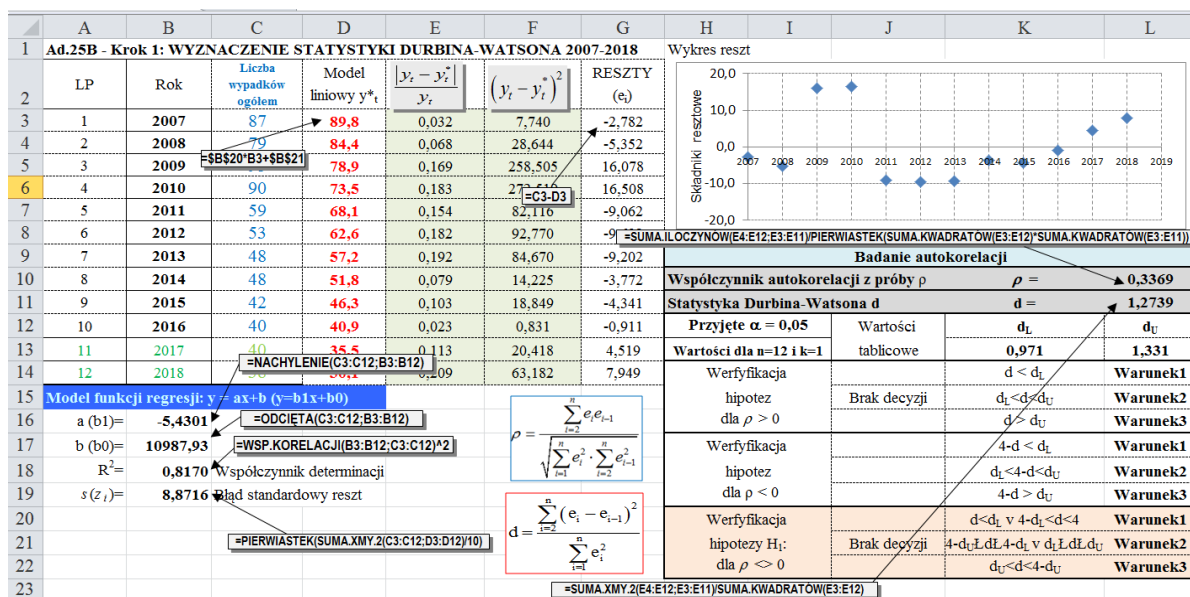
Ad.24. Model nieliniowy linearyzowany – model wykładniczy (rys. 9.3.3)



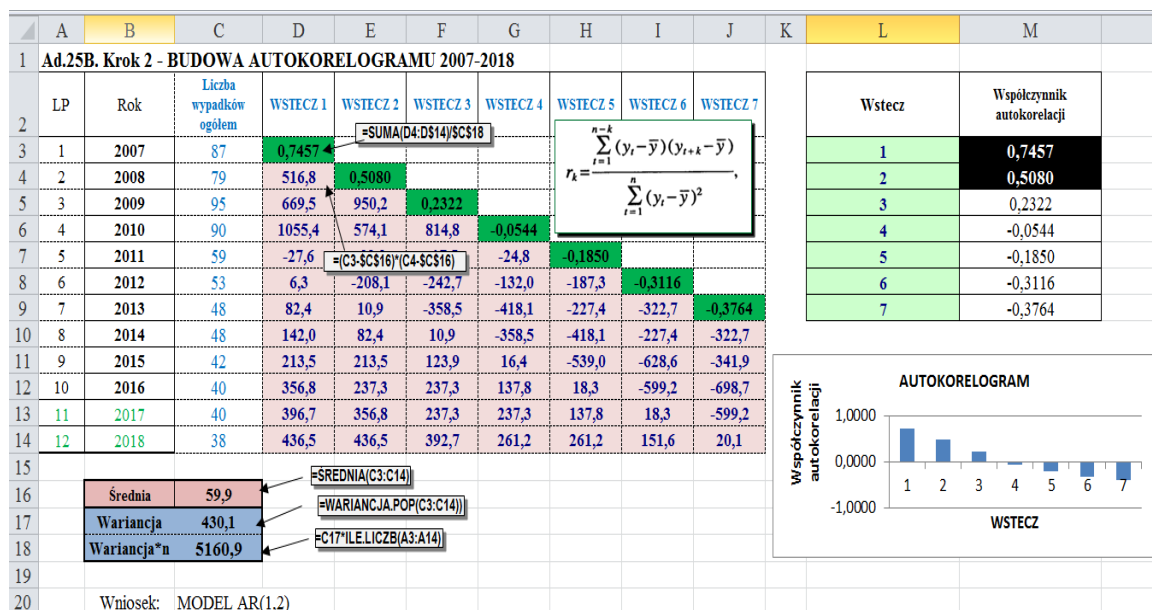
Rys. 9.3.3. Prognoza oparta na modelu nieliniowym linearyzowanym - wykładniczym (ZG „Brzeszcze” – załoga własna)

Stwierdzono, że spośród modeli nieliniowych – linearyzowanych najlepszym dopasowaniem do danych empirycznych obrazujących szereg czasowy ogólnej liczby wypadków wśród załogi własnej ZG „Brzeszcze” najlepszym dopasowaniem charakteryzował się model wykładniczy typu $y_t^* = b \cdot e^{ax}$. Zarówno dla lat 2007-2016, jak i 2007-2018 - model ten był statystycznie istotny (p i R^2 odpowiednio równe: 0,0001 i 0,8631 oraz 0,0001 i 0,8774). Oszacowanie oceny parametrów tych funkcji przeprowadzono w pakiecie statystycznym Statistica v.7.1. PL wykorzystując narzędzie *Linearyzowana Regresja nieliniowa*.

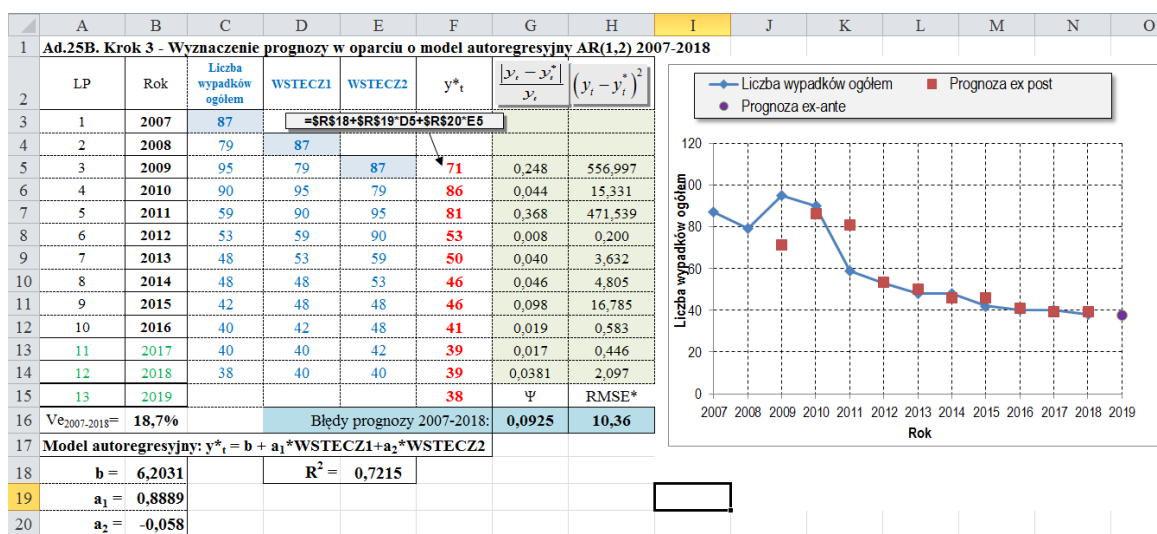
Ad. 25. Modele autoregresyjne AR (rys. 9.3.4, 9.3.5 i 9.3.6)



Rys. 9.3.4. Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durbina-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” – załoga własna)



Rys. 9.3.5. Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” – załoga własna)



Rys. 9.3.6. Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,3,4,5) szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” – załoga własna)

W teście D-W dla szeregu czasowego 2007-2016 ($\rho = 0,2111$; $d = 0,1515$) stwierdzono brak statystycznie istotnej autokorelacji reszt, natomiast dla szeregu 2007-2018 ($\rho = 0,3369$; $d = 1,2739$) nie stwierdzono ani istotnej, ani nieistotnej autokorelacji reszt (rys. 9.3.4). Po dokładnej analizie wartości współczynników autokorelacji (rys. 9.3.4) stwierdzono, że dla szeregu czasowego ujmującego lata 2007-2016 oraz 2007-2018 można wykorzystać modele autoregresyjne AR(1,2) (Rys. 9.60), jak i AR(1). W ostatnim kroku wyznaczono autoregresyjne modele prognozy AR(1,2) oraz AR(1) dla szeregów: 2007-2016 oraz 2007-2018. Do wyznaczenia parametrów tych modeli wykorzystano *Narzędzie analizy danych* Excela – *Regresja*.

Dla szeregu czasowego ujmującego lata 2007-2016 wartości współczynnika determinacji R^2 dla oszacowanych modeli funkcji autoregresji AR(1) i AR(1,2) wynosiły odpowiednio 0,8336 i 0,6641, natomiast standardowe błędy estymacji 12,34 i 14,62. Dla szeregu czasowego ujmującego lata 2007-2018 wielkości te kształtowały się odpowiednio: współczynnik determinacji R^2 : 0,7532 i 0,7214 (Rys. 9.61), a standardowe błędy estymacji: 10,94 i 12,37

Jak można zauważyć oszacowane modele autoregresyjne są dobrze dopasowane do analizowanych empirycznych szeregów czasowych (rys. 9.3.6).

9.3.2. Prognoza wypadkowości w ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe

Tablica 9.3.2 zawiera zestawienie wartości kryteriów dla zastosowanych metod prognozowania oraz ich standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną dla ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe.

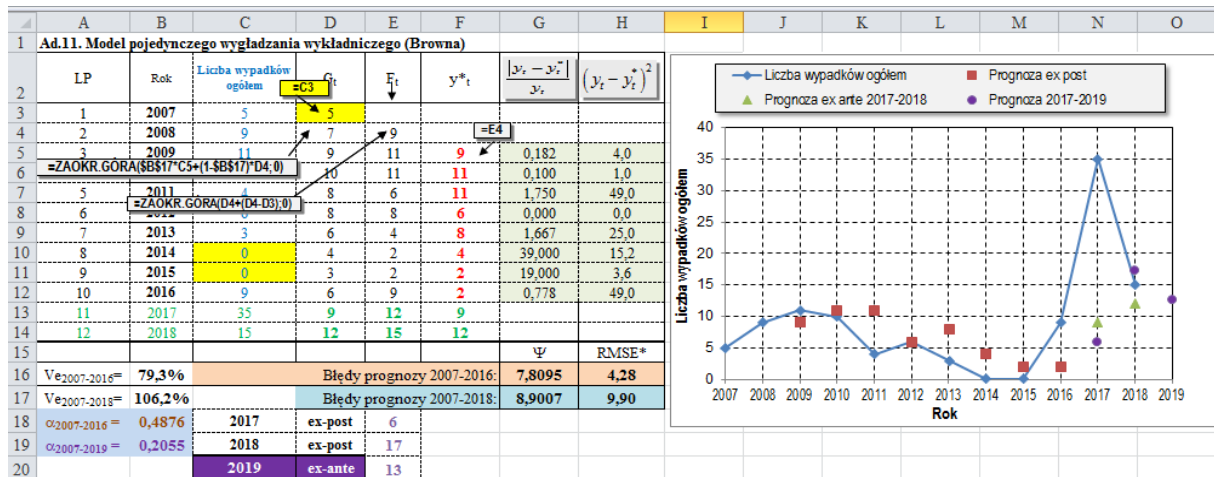
Tablica 9.3.2. Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe)

KWK „Brzeszcze” – firmy usługowe								
Identyf. modelu	Błędy progn. 2007-2016		Błędy progn. 2007-2018		Współczynnik V_e [%]		2017-2018	Weryfikacja prognozy
	Ψ [%]	RMSE*	Ψ [%]	RMSE*	2007-2016	2007-2018	Ψ [%]	
Ad. 1	Nie nadaje się do wykorzystania							
Ad. 2	Nie nadaje się do wykorzystania							
Ad. 3	17,45	4,68	14,32	10,26	86,70	110,10	61,43	0,0877
Ad. 4	8,97	4,49	7,31	10,54	77,50	113,40	69,52	-0,0791
Ad. 5	13,17	4,63	10,34	11,11	100,70	121,70	77,62	0,7005
Ad. 6	9,18	4,46	7,27	11,02	96,90	120,70	76,85	0,4943
Ad. 7	Nie nadaje się do wykorzystania							
Ad. 8	Nie nadaje się do wykorzystania							
Ad. 9	Nie nadaje się do wykorzystania							
Ad. 10A	8,24	3,99	6,97	9,29	107,90	103,00	106,70	0,9546
Ad. 10B	5,27	3,98	4,52	9,60	107,50	106,40	105,20	0,8875
Ad. 11	7,80	4,28	8,90	9,90	79,30	106,20	47,14	-0,6517
Ad. 12	9,13	4,41	7,19	10,23	95,80	112,00	79,54	0,3850
Ad. 13	11,06	4,19	8,75	10,39	91,10	113,80	64,70	0,0944
Ad. 14A	Nie nadaje się do wykorzystania							
Ad. 14B	3,79	4,19	7,16	9,91	77,60	106,30	57,56	-0,5685
Ad. 15A	Nie nadaje się do wykorzystania							
Ad. 15B	3,84	4,19	13,88	9,64	77,60	103,80	44,07	-0,8430
Ad. 16A	6,88	3,17	3,44	9,74	58,70	104,90	92,41	-0,1113
Ad. 16B	3,03	4,00	2,25	9,82	74,00	105,70	65,50	-0,5203
Ad. 17A	Nie nadaje się do wykorzystania							
Ad. 17B	2,35	3,90	70,83	6,02	72,20	64,80	86,15	-0,3715
Ad. 18A	Nie nadaje się do wykorzystania							
Ad. 18B	3,73	4,12	6,98	9,76	76,20	105,00	37,56	-1,0267
Ad. 19	13,81	4,41	11,61	10,34	81,60	111,30	77,59	0,2586
Ad. 20	11,93	4,65	11,76	10,33	86,10	111,20	81,10	0,3536
Ad. 21	9,12	4,41	14,92	10,23	95,80	112,00	56,26	-0,0440
Ad. 22			34,55	1,47		15,90		
Ad. 23	Model liniowe nieistotne: dla szeregu 2007-2016: $p = 0,1796$; dla szeregu 2007-2018: $p = 0,2526$							
Ad. 24	Modele nieliniowych nie brano pod uwagę							
Ad. 25			20,52	7,79		83,60		AR(1,3)

Należy zaznaczyć, że szereg czasowy ujmujący ogólną liczbę wypadków wśród pracowników firm współpracujących z ZG „Brzeszcze” stwarza duże trudności dla budowy wiarygodnych prognoz ze względu na znaczne wahania przypadkowe. Z tego względu wiele uprzednio wykorzystanych metod nie nadaje się z różnych powodów do wykorzystania. Na przykład w szeregu empirycznym może pojawić się nieuprawniona operacja dzielenia przez zero.

W oparciu o przedstawione w tabl. 9.3.2. wyniki można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych, stanowiących liczbę wypadków ogółem wśród załogi ZG „Brzeszcze”, charakteryzują się modele prognostyczne, mające standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną *mniej niż* $-0,6000$, a mianowicie:

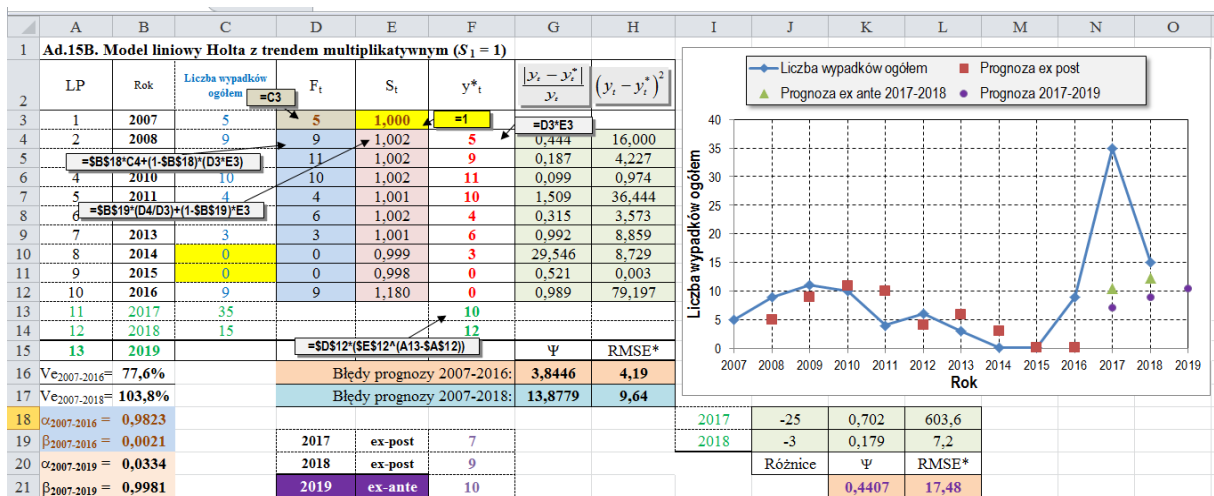
Ad.11. Model pojedynczego wykładniczego (Browna) (rys. 9.3.7)



Rys. 9.3.7. Prognoza oparta na modelu pojedynczego wykładniczego (Browna) (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu pojedynczego wykładniczego (Browna) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.24-6.25. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametru α wynosiły odpowiednio: 0,4876 i 0,2055.

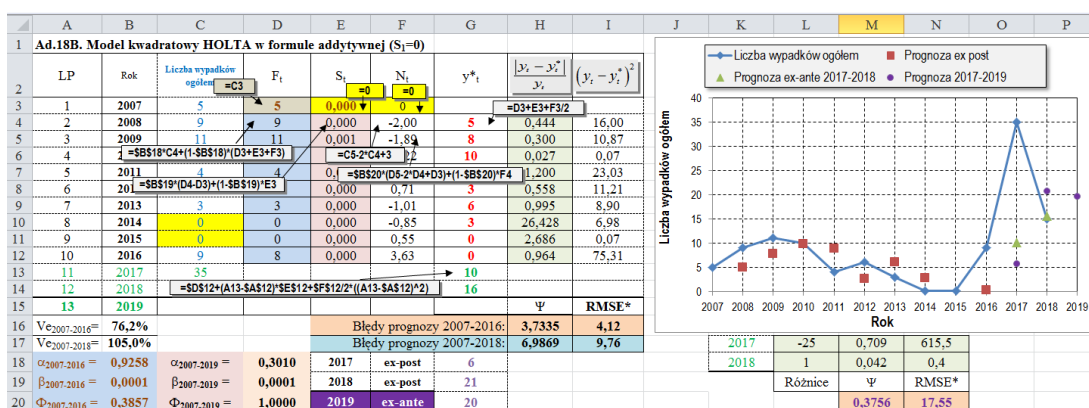
Ad. 15B. Model liniowy Holta z trendem multiplikatywnym (rozwuch: $S_1 = 1$) (rys. 9.3.8)



Rys. 9.3.8. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z trendem multiplikatywnym (rozwuch: $S_1 = 1$) (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta z trendem multiplikatywnym (rozruch: $S_1 = 1$) przeprowadzono zgodnie ze wzorami 6.34. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametrów α i β wynosiły odpowiednio: 0,9823 i 0,0021 oraz 0,0334 i 0,9981.

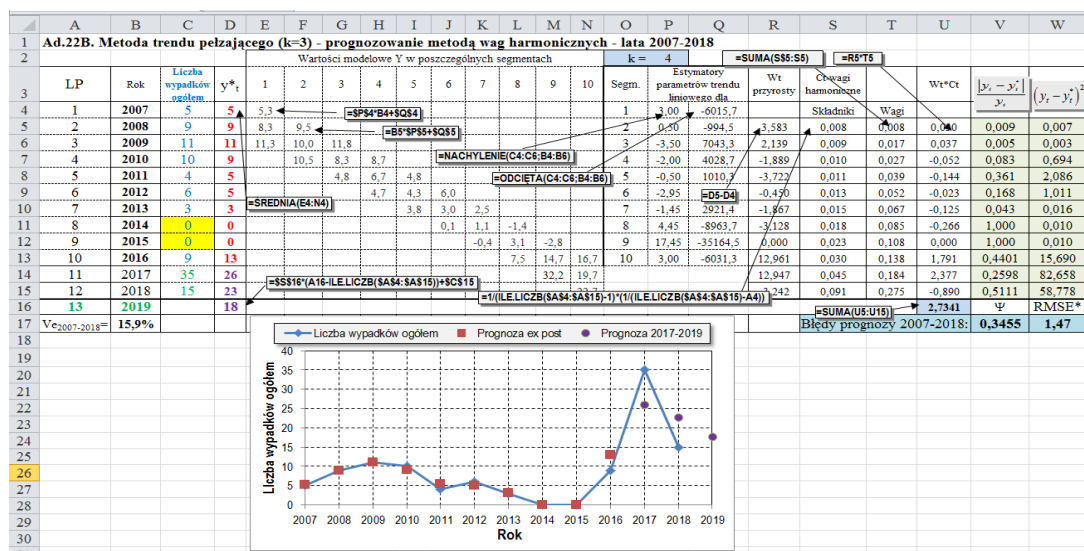
Ad. 18B. Model kwadratowy Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (rys. 9.3.9)



Rys. 9.3.9. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.43. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,9258, 0,0001 i 0,3857 oraz 0,3010, 0,0001 i 1,000.

Ad.22. Model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych (rys. 9.3.10)

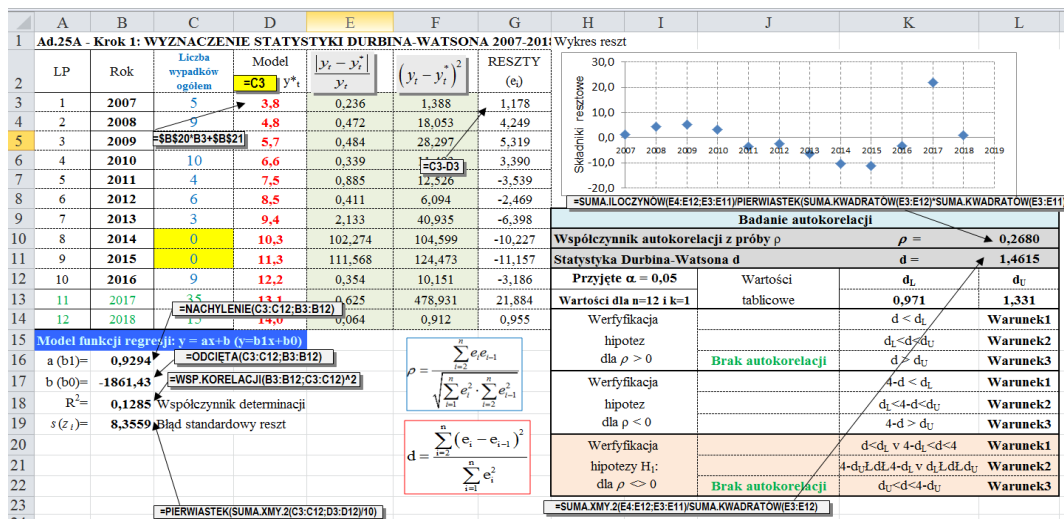


Rys. 9.3.10. Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe)

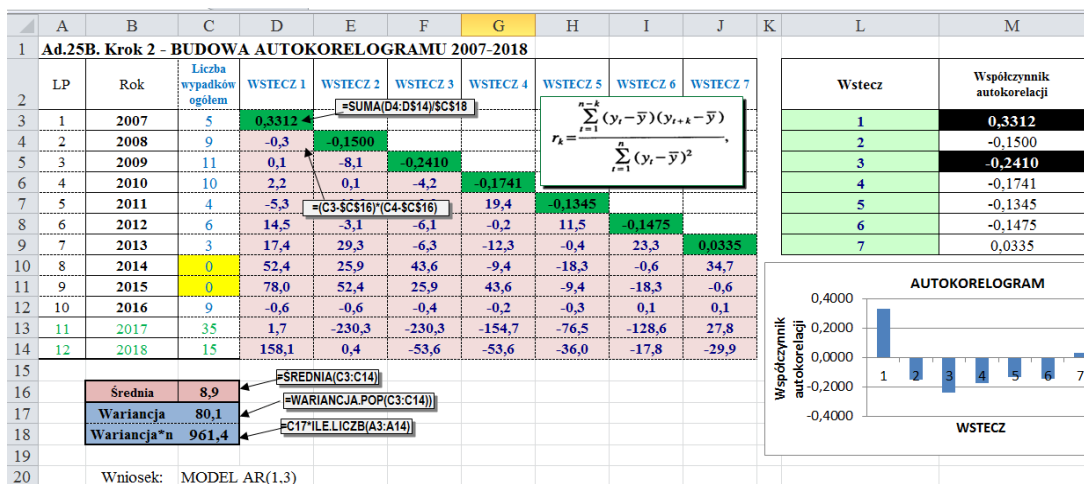
W analizowanym przypadku, (ze względu na charakter przebiegu szeregu czasowego ujmującego ogólną liczbę wypadków wśród pracowników firm usługowych ZG „Brzeszcze”) nie brano pod uwagę wyników prognozy przedmiotową metodą szeregu 2007-2016 r.

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych wykonano dla szeregu czasowego ujmującego lata 2007-2018 zgodnie z wzorami 6.50 i 6.51. Należy dodać, że model ten mimo dość złożonego przebiegu analizowanego szeregu czasowego zapewnia najlepsze dopasowanie uzyskanych prognoz do wyników empirycznych liczby wypadków ogółem dla ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe.

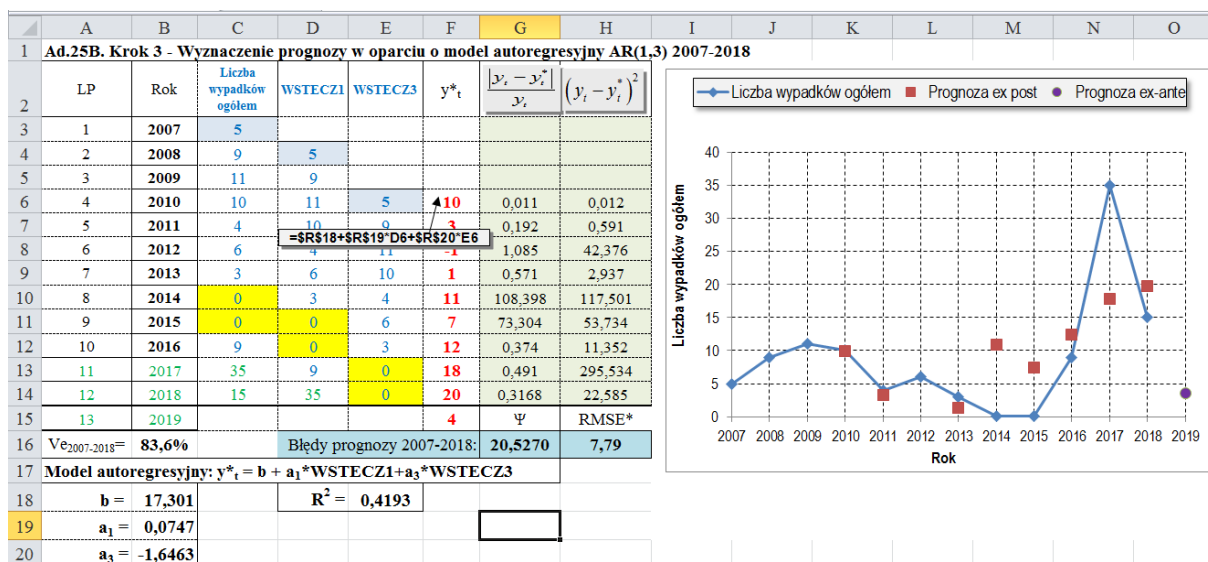
Ad. 25. Modele autoregresyjne AR (rys. 9.3.11, 9.3.12 i 9.3.13)



Rys. 9.3.11. Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durbina-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe)



Rys. 9.3.12. Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe)



Rys. 9.3.13. Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,3) szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe)

W teście D-W dla szeregu czasowego 2007-2018 ($\rho = 0,2680$; $d = 1,4615$) stwierdzono brak statystycznie istotnej autokorelacji reszt (Rys. 9.3.11). Po dokładnej analizie wartości współczynników autokorelacji (rys. 9.3.12) stwierdzono, że dla szeregu czasowego ujmującego lata 2007-2016 oraz 2007-2018 można wykorzystać model autoregresyjny AR(1,3) (rys. 9.3.13). W ostatnim kroku obliczeń wyznaczono autoregresyjny model prognozy AR(1,3) dla szeregu 2007-2018. Do wyznaczenia parametrów modeli autoregresji wykorzystano *Narzędzie analizy danych* Excela – *Regresja*. Współczynnik determinacji R^2 dla oszacowanego modelu funkcji autoregresji AR(1,3) wynosił 0,4192, natomiast standardowy błąd estymacji 9,54.

10. PROGNOZA WYPADKOWOŚCI OPARTA NA WSKAŹNIKU CZĘSTOŚCI WYPADKÓW OGÓŁEM NA 1000 ZATRUDNIONYCH W_z

Na podstawie danych zawartych w tablicach z rozdziału 8.2, dotyczących wskaźników wypadkowości, do prognozowania wytypowano wskaźnik W_z dla załóg własnych wybranych kopalń w latach 2007 do 2018, jako najbardziej reprezentatywny. Pominięto prognozowanie dla firm usługowych ze względu na występowanie wartości zerowych wskaźnika. W obliczeniach wykorzystano 25 modeli, których algorytmy zostały zaprezentowane w rozdziale 6. Implementacji algorytmów przedstawionych modeli, doboru kryteriów i sumarycznej oceny każdej prognozy dokonywano analogicznie, jak w rozdziale 9. Wyniki modelowania zapisano w postaci plików programu Excel na płycie CD w Załączniku 2.

10.1. Prognoza wypadkowości w KWK „Mysłowice-Wesoła” oparta na wskaźniku W_z

Tablica 10.1.1 (*Pelon i Gil 2020*) zawiera zestawienie wartości kryteriów dla zastosowanych metod prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną tych kryteriów dla KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – *wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_z* (Tab. 8.1.4).

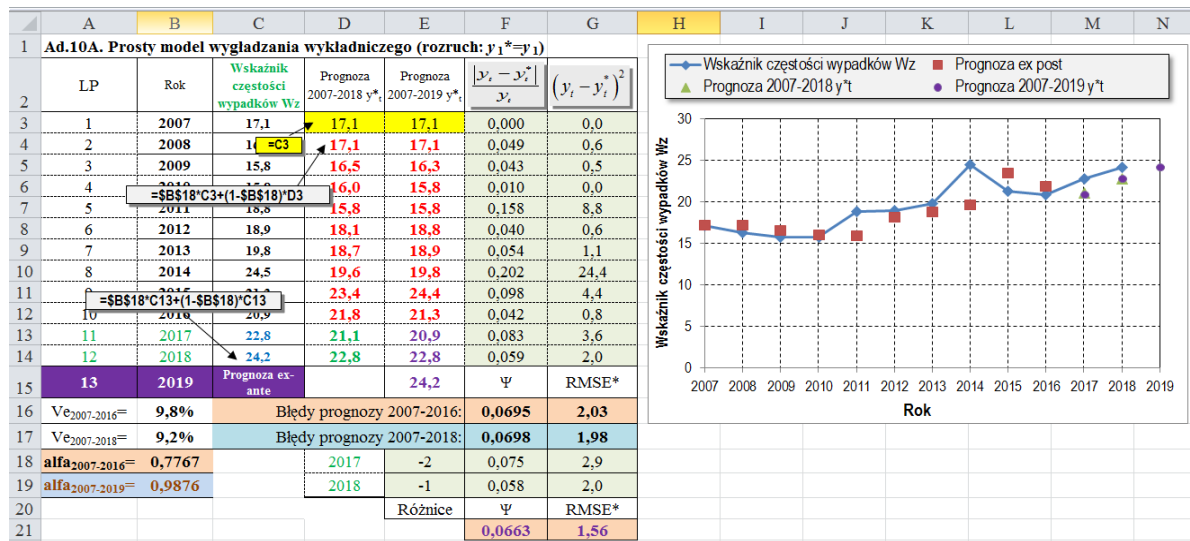
W oparciu o przedstawione w tabl. 10.1.1. wyniki można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do szeregu czasowego punktów empirycznych stanowiących *wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych wśród załogi KWK „Mysłowice-Wesoła”* charakteryzują się następujące modele prognostyczne (mające standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną *mniejszą niż -0,6000*).

Tablica 10.1.1. Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

KWK „Mysłowice – Wesoła” – WSKAŹNIKI Wz								
Identyf. modelu	Błędy progn. 2007-2016		Błędy progn. 2007-2018		Współczynnik Ve [%]		2017-2018	Weryfikacja prognozy
	Ψ [%]	RMSE*	Ψ [%]	RMSE*	2007-2016	2007-2018	Ψ [%]	
Ad. 1	7,25	2,19	7,21	2,11	11,50	11,60		
Ad. 2	14,02	3,92	12,50	3,59	20,10	17,70	13,45	1,7738
Ad. 3	12,60	3,20	13,81	3,48	16,40	17,20	18,69	1,8470
Ad. 4	8,88	2,36	8,82	2,30	12,30	11,60	10,34	0,2281
Ad. 5	9,63	2,70	8,93	2,42	12,80	11,70	6,87	0,0467
Ad. 6	9,09	2,44	8,63	2,31	12,10	11,10	8,11	0,0148
Ad. 7	11,74	3,12	11,31	3,03	15,60	14,60	20,92	1,6573
Ad. 8	11,04	2,92	21,50	2,68	14,10	12,50	11,65	0,9874
Ad. 9	11,67	3,12	10,68	2,86	15,10	13,10	14,46	1,0112
Ad. 10A	6,95	2,03	6,98	1,98	9,80	9,20	2,01	-0,8762
Ad. 10B	6,89	2,03	9,98	1,98	9,80	9,30	1,98	-0,7835
Ad. 11	7,77	2,26	7,66	2,17	11,60	10,70	10,99	0,0813
Ad. 12	8,54	2,45	8,36	2,33	12,30	11,20	2,33	-0,4242
Ad. 13	8,21	2,42	8,06	2,30	12,10	11,10	7,59	-0,0771
Ad. 14A	8,53	2,38	8,10	2,22	12,20	11,10	8,92	0,0432
Ad. 14B	7,73	2,14	7,72	2,05	11,00	10,10	10,10	-0,0706
Ad. 15A	8,42	2,39	8,11	2,23	12,30	11,20	1,02	-0,5341
Ad. 15B	7,80	2,15	7,72	2,04	11,00	10,30	9,62	-0,0889
Ad. 16A	7,01	2,21	7,07	2,11	11,40	10,10	2,78	-0,6356
Ad. 16B	7,33	2,21	7,61	2,20	11,40	11,00	11,47	0,1051
Ad. 17A	9,31	2,61	8,35	2,26	13,40	11,40	8,61	0,1661
Ad. 17B	10,01	2,66	7,72	2,04	13,70	10,30	0,21	-0,5072
Ad. 18A	9,06	2,42	7,51	2,13	12,40	10,70	5,57	-0,2167
Ad. 18B	7,85	2,05	5,23	1,45	10,50	7,30	8,94	-0,4652
Ad. 19	9,31	2,37	8,09	2,15	12,20	10,80	3,87	-0,3223
Ad. 20	9,70	2,43	8,02	2,19	12,50	11,00	1,44	-0,4534
Ad. 21	8,54	2,45	8,36	2,33	12,30	11,20	12,18	0,3081
Ad. 22	2,62	0,68	2,18	0,59	3,60	3,00	11,26	-1,3979
Ad. 23	2,62	1,55	5,06	1,42	8,20	7,20	1,37	-1,4172
Ad. 24	modele nieliniowych nie brano pod uwagę							
Ad. 25A	7,74	1,99			10,50		10,95	AR(1,2)*
Ad. 25B			7,06	1,94		9,10		AR(1,2)*

* autokorelacja nieistotna

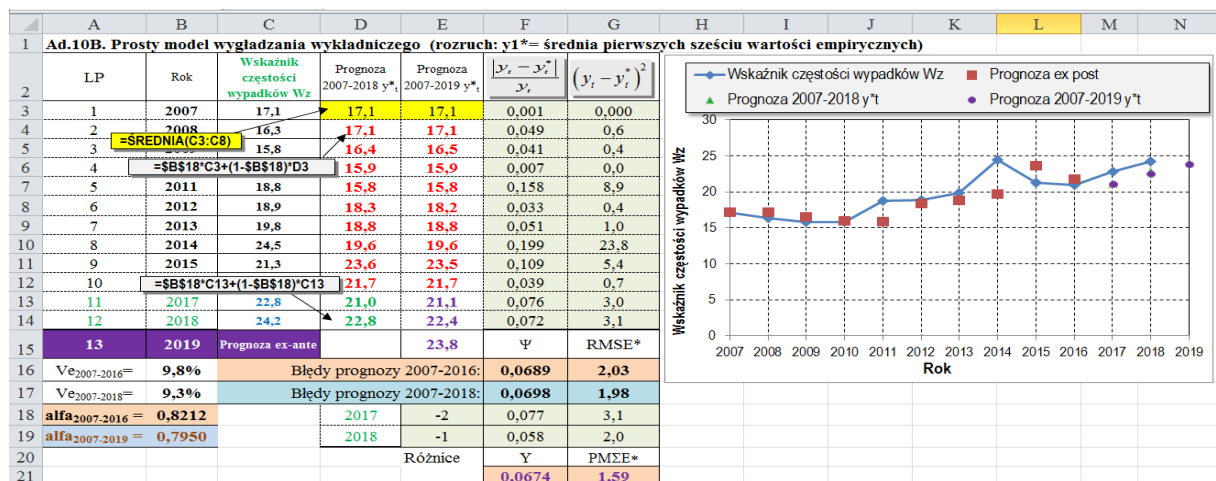
Ad. 10A. Prosty model wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = y_1$) (rys. 10.1.1)



Rys. 10.1.1. Prognoza oparta na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = y_1$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.21-6.22. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametru α wynosiły odpowiednio: 0,7767 i 0,9876.

Ad. 10B. Prosty model wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = \text{średnia pierwszych sześciu wartości empirycznych}$) (rys. 10.1.2)

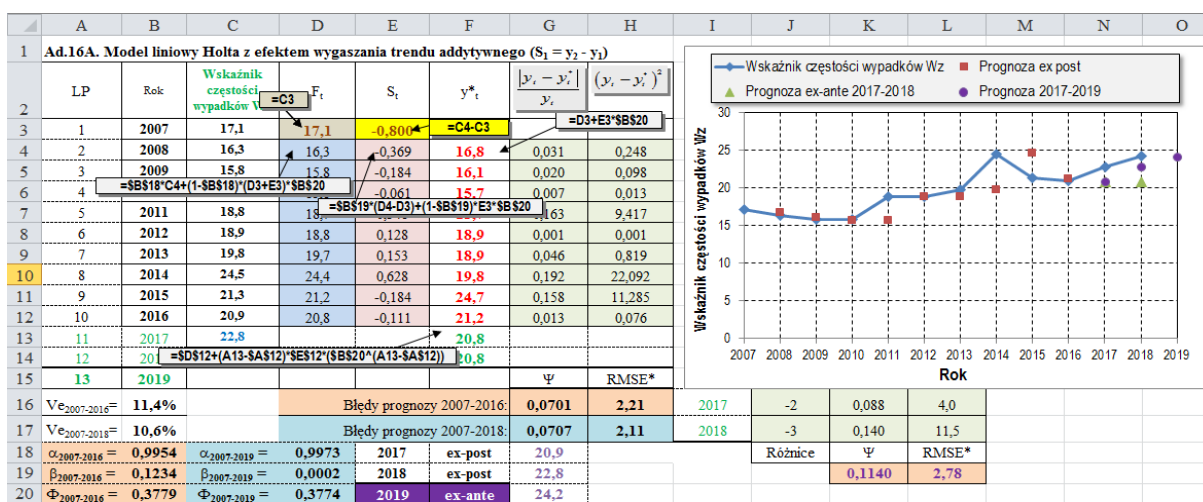


Rys. 10.1.2. Prognoza oparta na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = \text{średnia pierwszych sześciu wartości empirycznych}$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na prostym modelu wygładzania wykładniczego (rozruch: $y_1^* = \text{średnia wartości } y_1 \dots y_6$) przeprowadzono zgodnie z wzorem 6.23. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametru α wynosiła odpowiednio: 0,8212 i 0,7950.

Ad. 16A. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch:

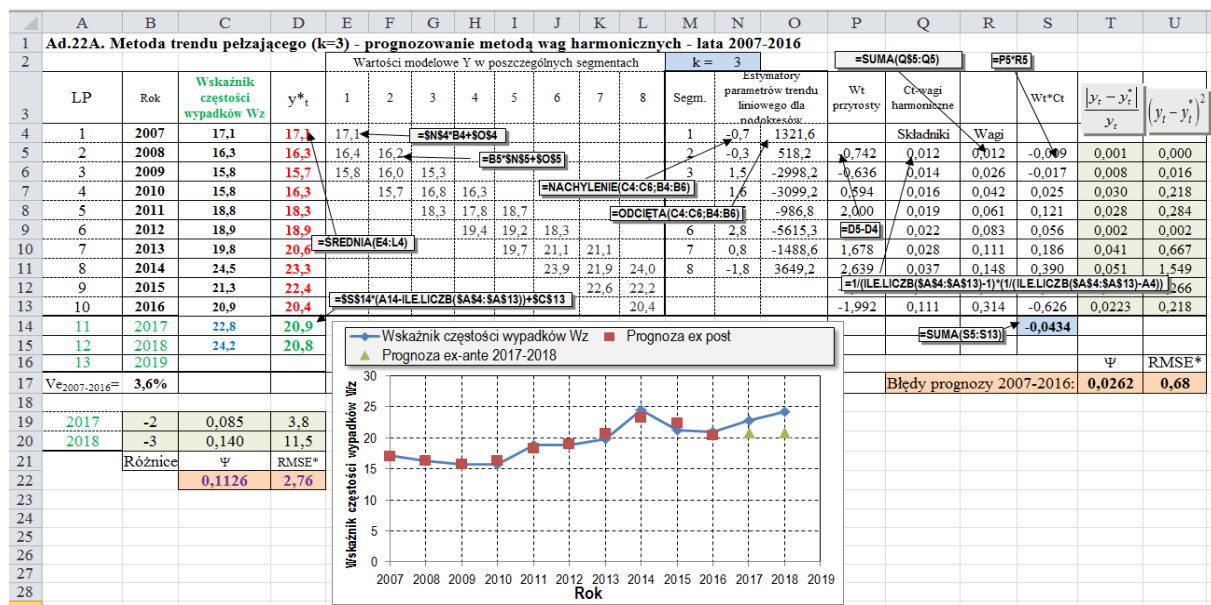
$$S_1 = y_2 - y_1) \text{ (rys. 10.1.3)}$$



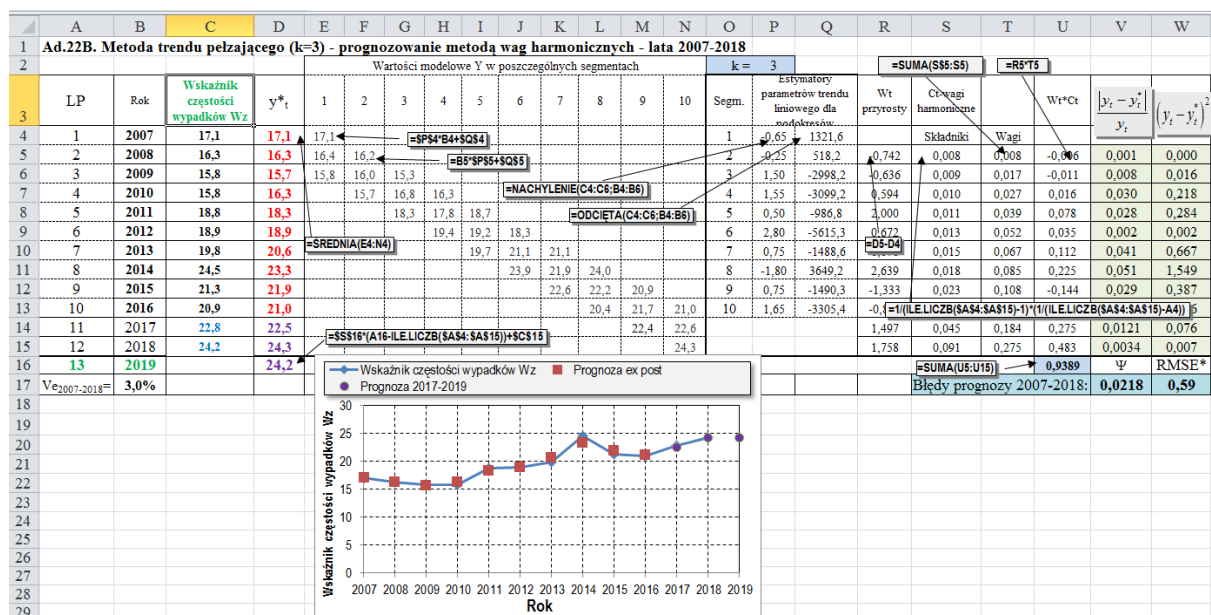
Rys. 10.1.3. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.34. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,9954, 0,1234 i 0,3779 oraz 0,9973, 0,0002 i 0,3774.

Ad.22. Model trendu pelzajacego (k = 3) – prognozowanie metoda wag harmonicznich
(rys. 10.1.4 i 10.1.5)



Rys. 10.1.4. Prognoza oparta na modelu trendu pelzajacego (k = 3) z wykorzystaniem metody wag harmonicznich dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

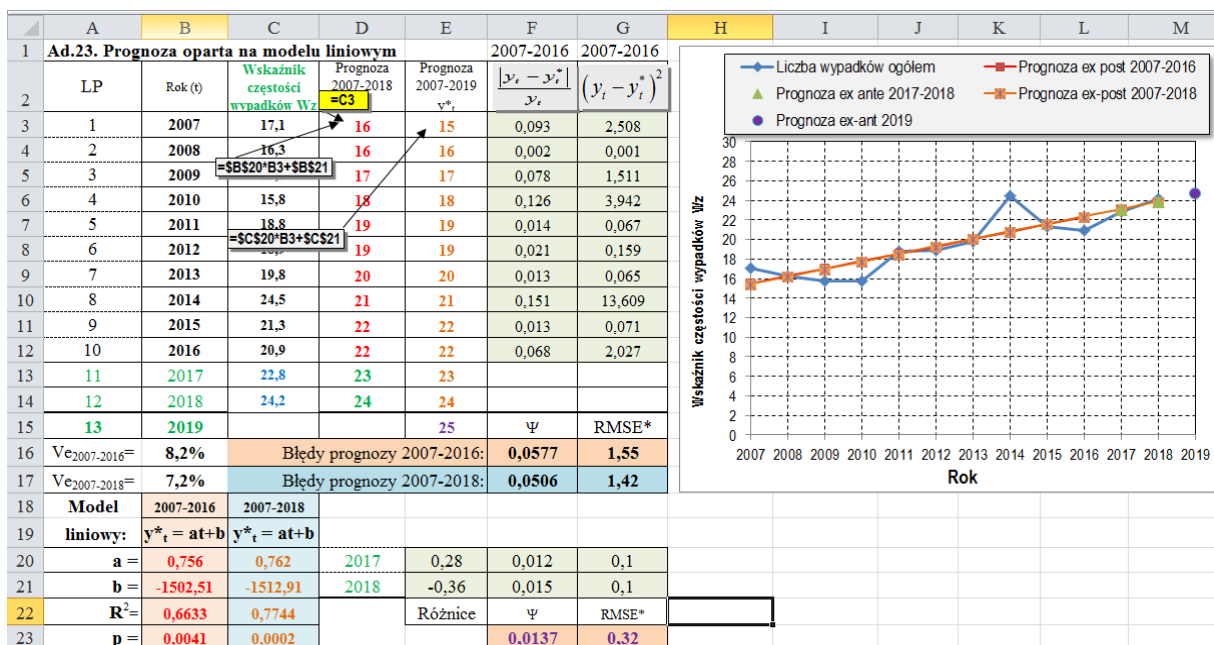


Rys. 10.1.5. Prognoza oparta na modelu trendu pelzajacego (k = 3) z wykorzystaniem metody wag harmonicznich dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

Obliczenia dla prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu trendu pelzajacego (k = 3) z wykorzystaniem metody wag harmonicznich przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.50 i 6.51. Należy dodać, że model ten mimo bardzo złożonego przebiegu szeregu czasowego

zapewnia najlepsze dopasowanie uzyskanych prognoz do wyników empirycznych wskaźnika częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz w KWK „Mysłowice-Wesoła”

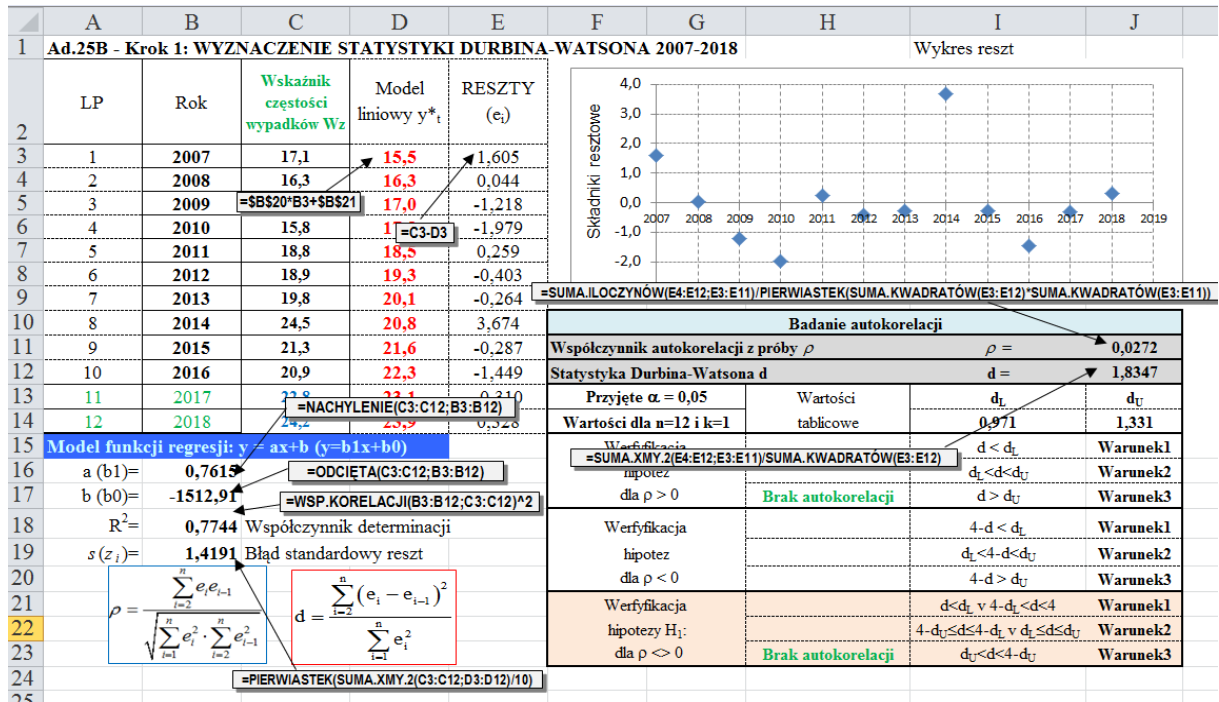
Ad. 23. Prognoza oparta na modelu liniowym (rys. 10.1.6)



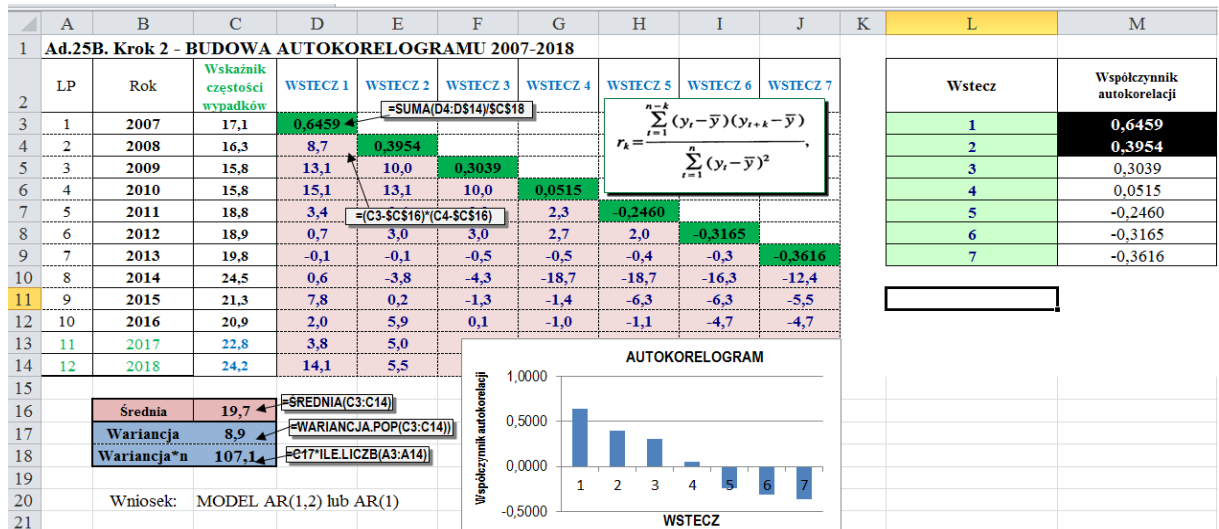
Rys. 10.1.6. Prognoza oparta na modelu liniowym (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

W obliczeniach dotyczących prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym wykorzystano narzędzie *Analizy danych* – *REGRESJA* arkusza kalkulacyjnego EXCEL. W przypadku obydwu szeregów obejmujących lata 2007-2016 i 2007-2018 liniowe modele prognostyczne okazały się istotne (odpowiednio: $R^2 = 0,6333$; $p = 0,0041$ oraz $R^2 = 0,7744$; $p = 0,0002$).

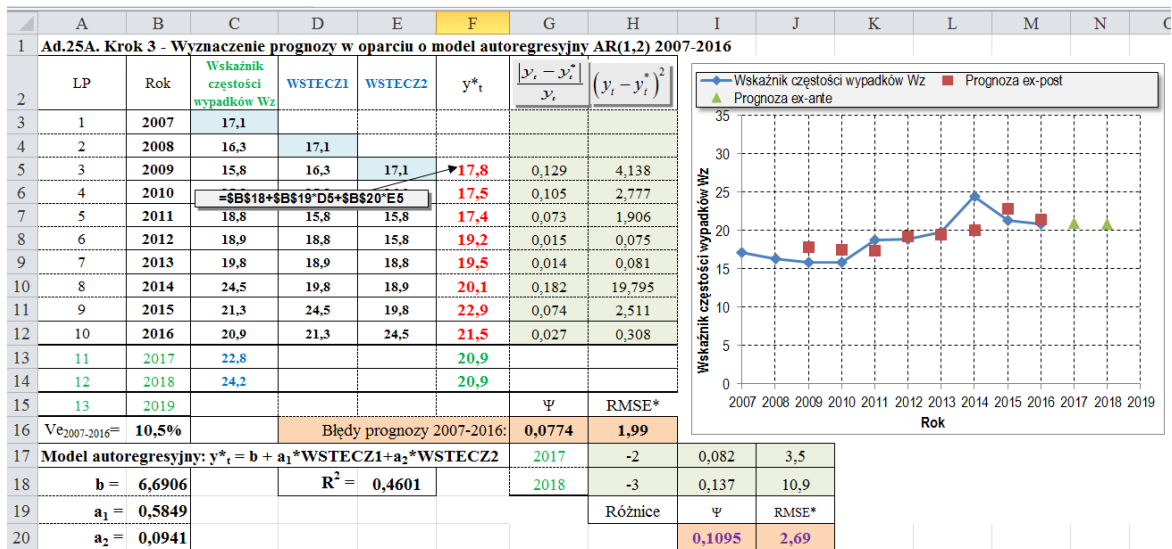
Ad. 25. Modele autoregresyjne AR (Rys. 10.1.7, 10.1.8, 10.1.9 i 10.1.10)



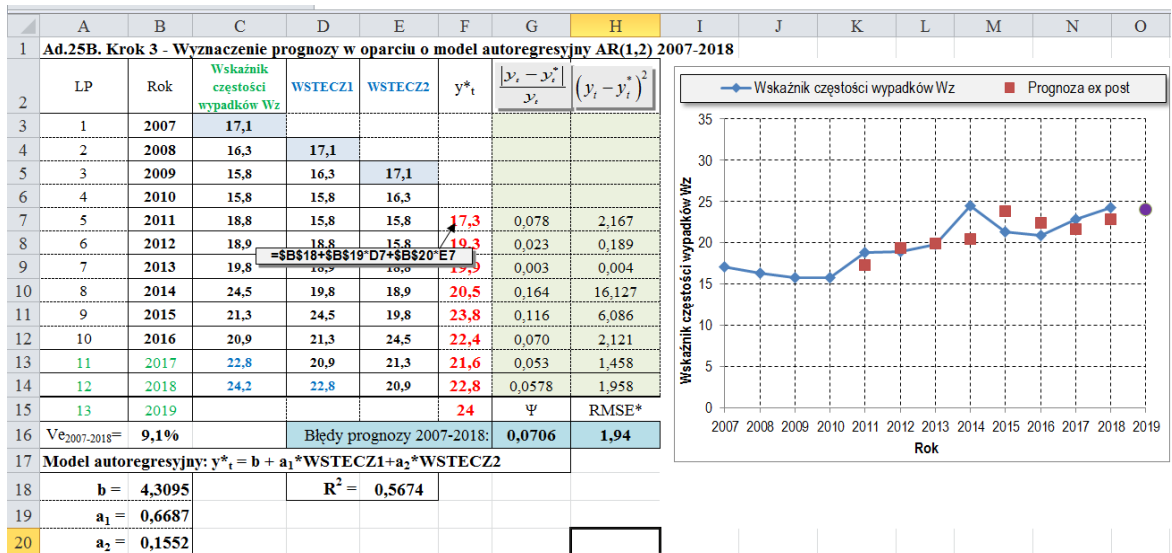
Rys. 10.1.7. Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durбина-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)



Rys. 10.1.8. Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)



Rys. 10.1.9. Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,2) szeregu czasowego 2007-2016 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)



Rys. 10.1.10. Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,2) szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

W teście D-W zarówno dla szeregu czasowego 2007-2016 ($\rho = 0,0171$; $d = 1,7781$), jak i dla szeregu 2007-2018 ($\rho = 0,0272$; $d = 1,8347$) nie stwierdzono statystycznie istotnej autokorelacji reszt (rys. 10.1.7). Po dokładnej analizie wartości współczynników autokorelacji (rys. 10.1.8) stwierdzono, że dla obydwu szeregów czasowych obejmujących lata: 2007-2016 i 2007-2018 można wykorzystać modele autoregresyjne AR(1,2). W ostatnim kroku obliczeń wyznaczono autoregresyjne modele prognozy AR(1,2) dla szeregów: 2007-2016 (rys. 10.1.9) oraz 2007-2018 (rys. 10.1.10). Do wyznaczenia parametrów tych modeli wykorzystano Narzędzie analizy danych Excela – Regresja.

W przypadku szeregów czasowych ujmujących lata 2007-2016 oraz 2007-2018 współczynniki determinacji R^2 dla oszacowanego modelu funkcji autoregresji AR(1,2) wynosiły odpowiednio 0,4601 i 0,5674, natomiast standardowe błędy estymacji odpowiednio 2,51 i 2,97. Jak można zauważyć, oszacowane modele autoregresyjne są bardzo dobrze dopasowane do analizowanych empirycznych szeregów czasowych (Rys. 10.1.9 i 10.1.10).

10.2. Prognoza wypadkowości w KWK „Budryk” oparta na wskaźniku Wz

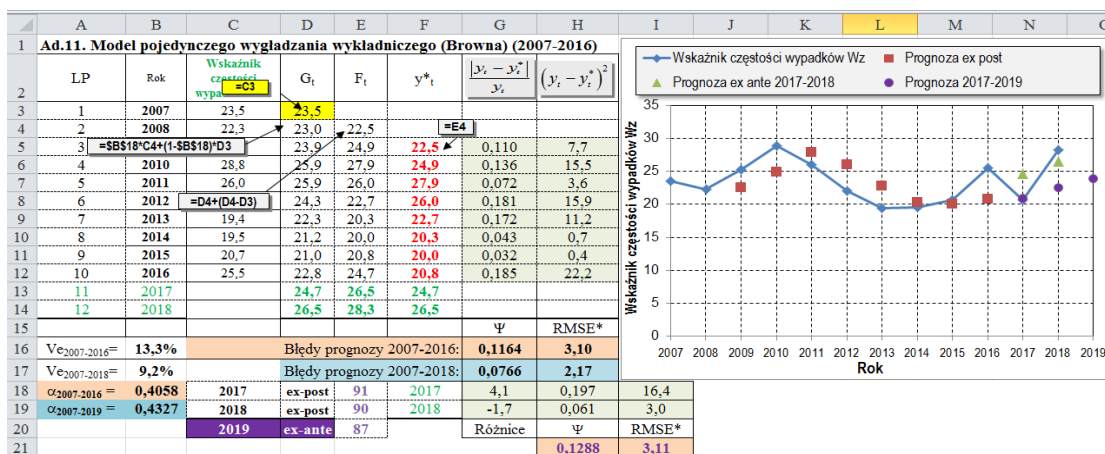
Tablica 10.2.1 (Pelon i Gil 2020) zawiera zestawienie wartości kryteriów dla zastosowanych metod prognozowania oraz ich standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną dla KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz (Tab. 8.2.4).

Tablica 10.2.1. Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)]

KWK „Budryk” – załoga własna - Wskaźnik Wz								
Identyf. modelu	Błędy progn. 2007-2016		Błędy progn. 2007-2018		Współczynnik Ve [%]		2017-2018	Weryfikacja prognozy
	Ψ [%]	RMSE*	Ψ [%]	RMSE*	2007-2016	2007-2018	Ψ [%]	
Ad. 1	10,76	2,94	13,42	3,81	12,60	16,20		
Ad. 2	10,62	3,27	17,84	5,80	14,00	24,60	44,86	2,0098
Ad. 3	14,70	3,59	14,90	3,70	15,30	15,70	15,68	-0,0112
Ad. 4	14,06	3,78	14,29	3,84	16,20	16,30	12,98	-0,1354
Ad. 5	16,05	4,27	15,52	4,27	18,50	18,30	12,91	0,1356
Ad. 6	14,47	3,88	14,88	4,05	16,80	17,30	14,32	0,0401
Ad. 7	14,53	3,74	18,58	4,93	16,20	21,10	26,62	0,9965
Ad. 8	17,08	4,08	29,33	5,00	18,40	22,00	20,39	1,0681
Ad. 9	15,40	3,85	19,54	5,09	17,40	22,40	23,51	0,9714
Ad. 10A	9,71	2,80	10,66	3,15	12,60	13,80	25,24	0,1110
Ad. 10B	12,11	3,15	12,74	3,37	29,87	19,74	18,73	0,8466
Ad. 11	11,64	3,40	7,66	2,17	13,30	9,20	12,88	-0,8092
Ad. 12	9,98	2,68	11,67	3,36	11,60	14,40	22,94	-0,0082
Ad. 13	11,22	3,06	13,18	3,95	13,20	16,90	25,87	0,4171
Ad. 14A	11,58	3,29	8,10	2,22	14,00	11,10	16,96	-0,4432
Ad. 14B	11,64	3,14	13,64	3,46	13,40	14,70	15,94	-0,2392
Ad. 15A	11,06	3,17	16,24	3,94	13,60	16,80	17,16	-0,0220
Ad. 15B	11,72	3,16	13,00	3,29	13,50	14,00	15,91	-0,2810
Ad. 16A	10,73	2,95	13,37	3,81	12,60	16,20	16,86	-0,1803
Ad. 16B	10,81	2,95	13,43	3,81	12,60	16,20	16,62	-0,1908
Ad. 17A	11,08	3,18	13,31	3,99	13,60	17,00	17,31	-0,0653
Ad. 17B	17,31	4,71	13,34	3,40	20,10	14,50	10,07	-0,1526
Ad. 18A	6,93	2,07	9,20	2,95	8,80	12,50	13,99	-0,8824
Ad. 18B	7,04	1,93	10,18	3,17	8,20	13,50	16,16	-0,7090
Ad. 19	14,26	3,54	14,57	3,79	15,10	16,10	14,93	-0,0646
Ad. 20	15,00	3,96	13,67	3,41	16,90	14,50	14,81	-0,0691
Ad. 21	9,98	2,68	13,60	3,36	11,60	14,40	13,56	-0,5180
Ad. 22	1,51	0,42	2,31	0,79	1,80	3,40	15,61	-1,8149
Ad. 23	model liniowy i nieliniowe nieistotne							
Ad. 24			4,94	1,59		6,80		Flagi kategorii
Ad. 25			7,88	2,41		10,60		AR(1,3,4)

Można stwierdzić w oparciu o wyniki zamieszczone w tabelicy 10.2.1, że najlepszym dopasowaniem (odcienie koloru zielonego) do szeregu czasowego punktów empirycznych wskaźnika częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych wśród załogi KWK „Budryk” charakteryzują się następujące modele prognostyczne (mające standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną *mniej niż -0,6000*):

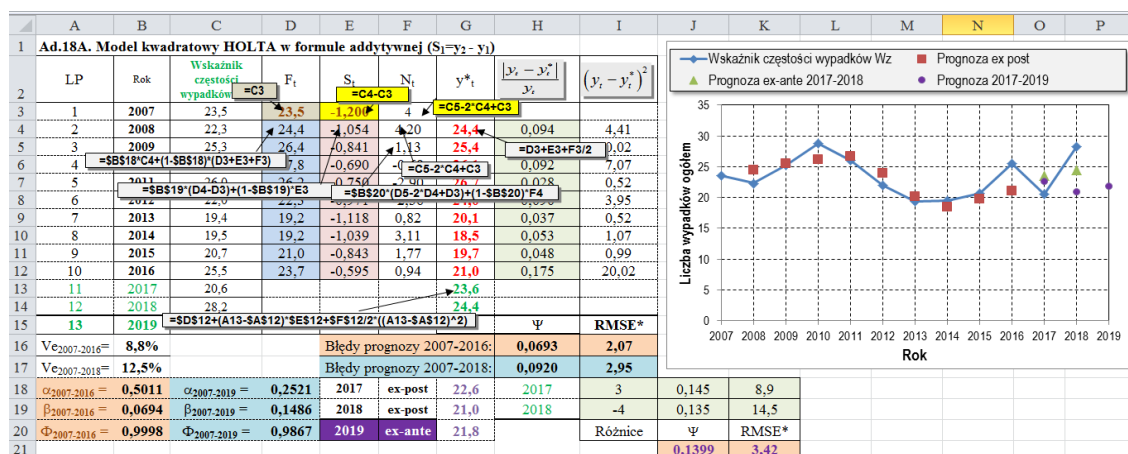
Ad. 11. Model pojedynczego wygładzania wykładniczego (Browna) (rys. 10.2.1)



Rys. 10.2.1. Prognoza oparta na modelu pojedynczego wygładzania wykładniczego (Browna) (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_z)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu pojedynczego wygładzania wykładniczego (Browna) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.24-6.25, po czym dokonano przy użyciu Solvera oszacowania wartości parametru α na drodze minimalizacji wartości błędu $RMSE^*$. Dla lat 2007-2016 oraz 2007-2018 optymalne wartości parametru α wynosiły odpowiednio: 0,4058 i 0,4327.

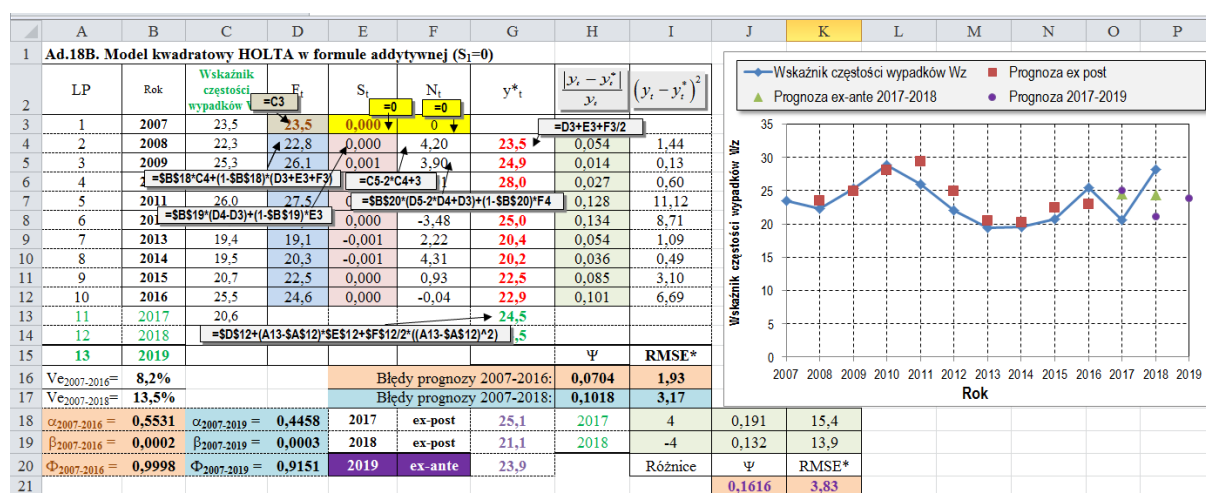
Ad. 18A. Model kwadratowy Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (rys. 10.2.2)



Rys. 10.2.2. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_z)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.41 i 6.42. Dla szeregów czasowych obejmujących lata 2007-2016 oraz 2007-2018 optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,5011, 0,0694 i 0,9998 oraz 0,25211, 0,1486 i 0,9867.

Ad. 18B. Model kwadratowy Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (rys. 10.2.3)

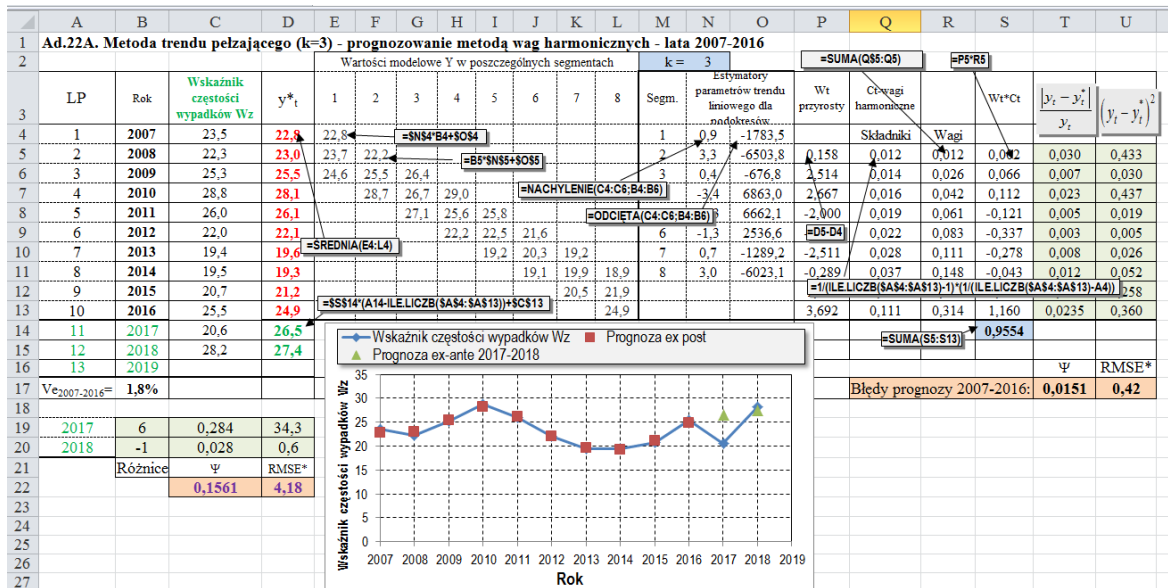


Rys. 10.2.3. Prognoza oparta na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_z)

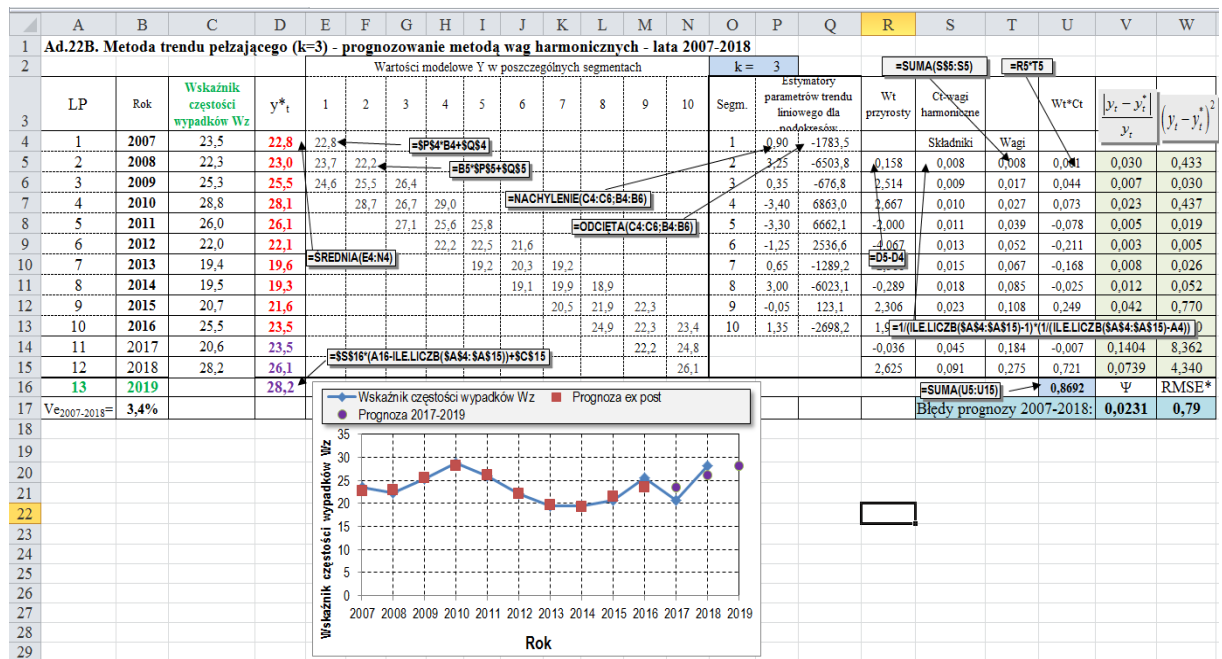
Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu liniowym Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = 0$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.43. Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametrów α , β i Φ wynosiły odpowiednio: 0,5531, 0,0002 i 0,9998 oraz 0,4458, 0,0003 i 0,9151.

Ad.22. Model trendu pelzajacego (k = 3) – prognozowanie metoda wag harmonicznych

(rys. 10.2.4 i 10.2.5)



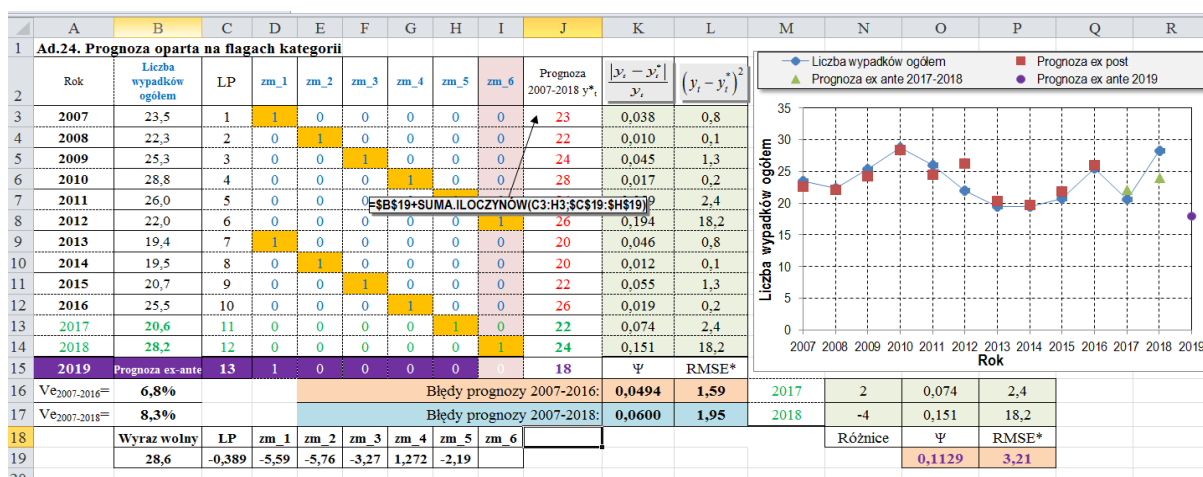
Rys. 10.2.4. Prognoza oparta na modelu trendu pelzajacego (k = 3) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)



Rys. 10.2.5. Prognoza oparta na modelu trendu pelzajacego (k = 3) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.50 i 6.51. Należy dodać, że model ten mimo złożonego przebiegu szeregu czasowego zapewnia najlepsze dopasowanie uzyskanych prognoz do wyników empirycznych wskaźnika częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz w KWK „Budryk”

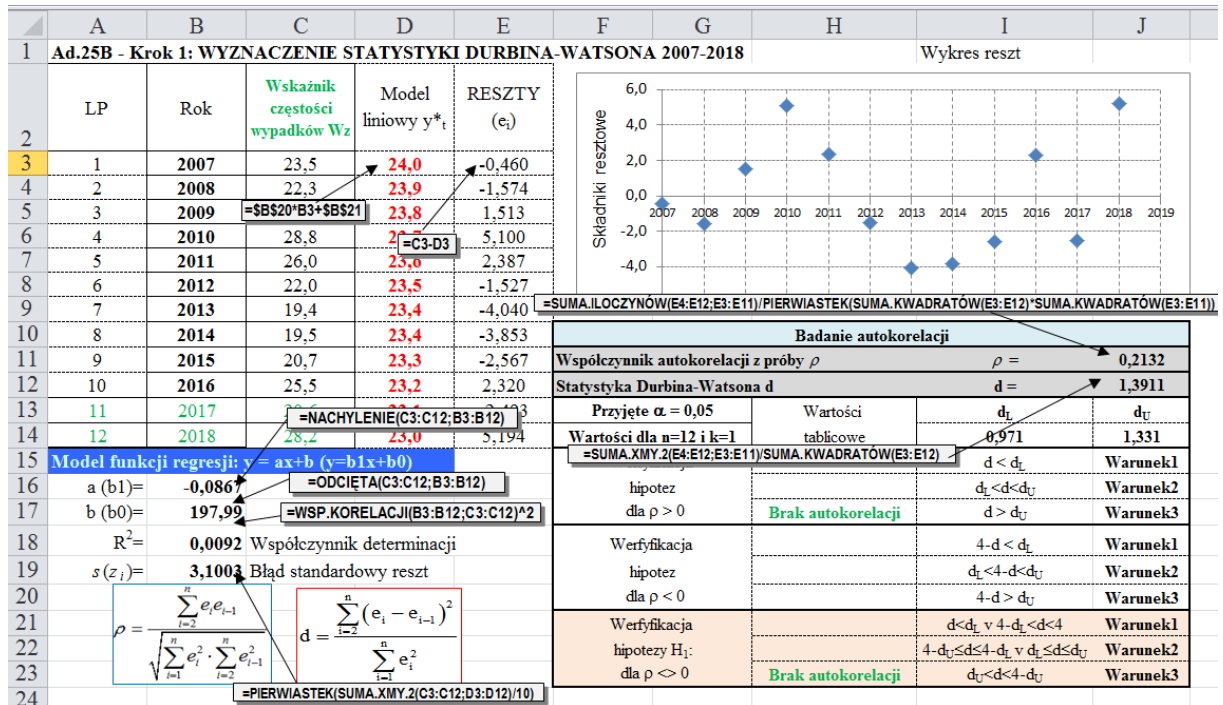
Ad. 24B. Prognoza oparta na flagach kategorii (zmiennych umownych) (rys. 10.2.6)



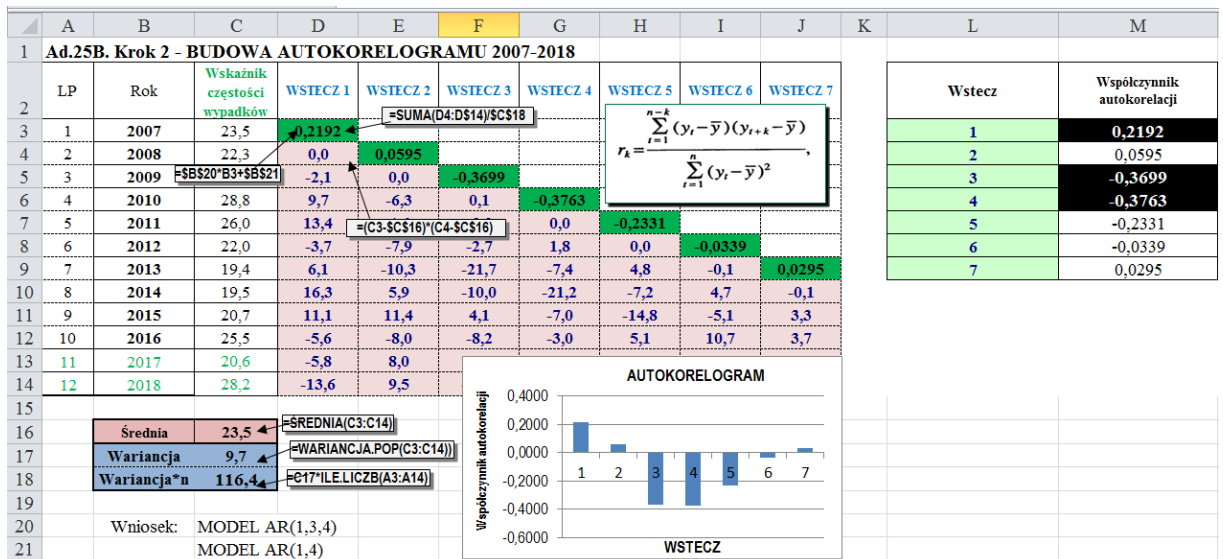
Rys. 10.2.6. Prognoza oparta na flagach kategorii z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

Ponieważ szereg oznaczał się 6 punkową okresowością, zatem, zgodnie z zaleceniami tego typu prognoz, w regresji wielorakiej wykorzystano jedynie 5 zmiennych (kategorii). Do wyznaczenia parametrów modelu regresji wielorakiej wykorzystano *Narzędzie analizy danych* Excela – *Regresja*. Współczynnik determinacji R^2 dla oszacowanego modelu funkcji regresji wielorakiej wynosił 0,6064, natomiast standardowy błąd estymacji 3,02. Można stwierdzić, że oszacowany model jest bardzo dobrze dopasowany do empirycznego szeregu czasowego oraz ujmuje w pełni występującą okresowość (rys. 10.2.6).

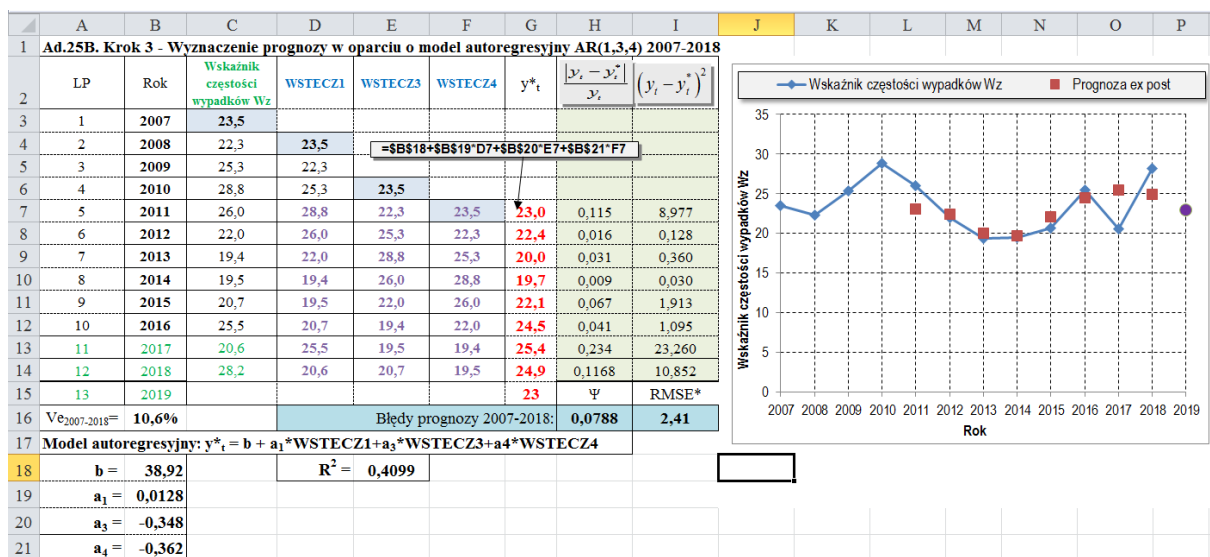
Ad. 25. Modele autoregresyjne AR (Rys. 10.2.7, 10.2.8, i 10.2.9)



Rys. 10.2.7. Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durbina-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)



Rys. 10.2.8. Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)



Rys. 10.2.9. Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,3,4) szeregu czasowego 2007-2018 r. (KWK „Budryk” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

W teście D-W zarówno dla szeregu czasowego 2007-2016 ($\rho = 0,4163$; $d = 1,0460$), jak i dla szeregu 2007-2018 ($\rho = 0,2132$; $d = 1,3911$) nie stwierdzono statystycznie istotnej autokorelacji reszt (rys. 10.2.7). Po dokładnej analizie wartości współczynników autokorelacji (Rys. 10.2.8) stwierdzono, że dla szeregu czasowego ujmującego lata 2007-2018 można wykorzystać model autoregresyjny AR(1,3,4). W ostatnim kroku obliczeń wyznaczono autoregresyjny model prognozy AR(1,3,4) dla szeregu 2007-2018 (Rys. 10.2.9). Do wyznaczenia parametrów tych modeli autoregresji wykorzystano *Narzędzie analizy danych* Excela – *Regresja*. W przypadku szeregu czasowego obejmującego lata 2007-2018 współczynnik determinacji R^2 dla modelu funkcji autoregresji AR(1,3,4) wynosił 0,4099, a standardowy błąd estymacji był równy 3,4.

10.3. Prognoza wypadkowości w ZG „Brzeszcze” oparta na wskaźniku Wz

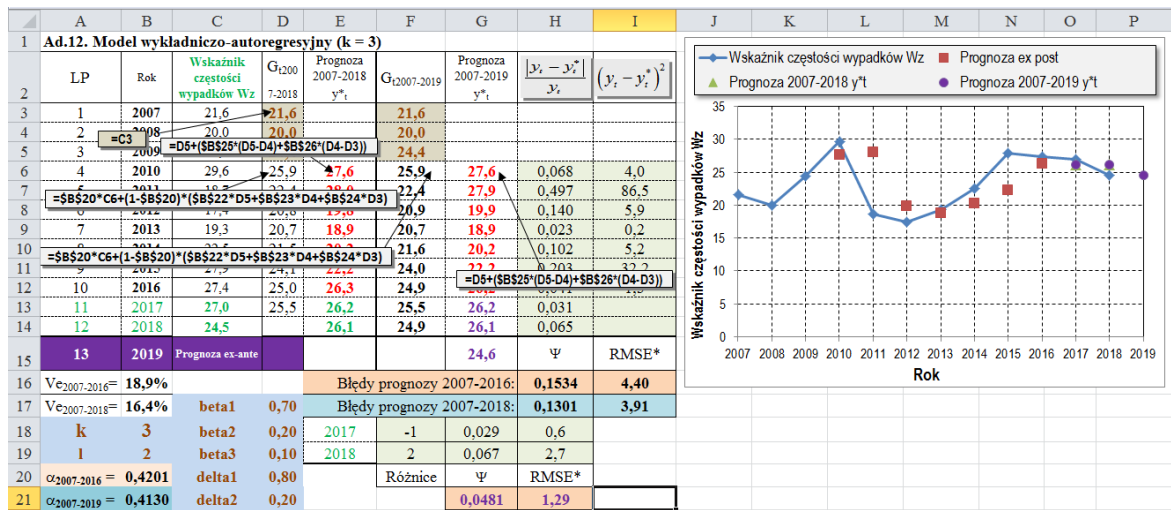
Tablica 10.3.1 (*Pelon i Gil 2020*) zawiera zestawienie wartości kryteriów dla zastosowanych metod prognozowania oraz ich standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną dla ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz (Tab. 8.3.4).

Tablica 10.3.1. Zestawienie uzyskanych kryteriów estymacji w poszczególnych modelach prognostycznych (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych *Wz*)

KWK „Budryk” – załoga własna - Wskaźnik <i>Wz</i>								
Identyf. modelu	Błędy progn. 2007-2016		Błędy progn. 2007-2018		Współczynnik V_e [%]		2017-2018	Weryfikacja prognozy
	Ψ [%]	RMSE*	Ψ [%]	RMSE*	2007-2016	2007-2018	Ψ [%]	
Ad. 1	17,18	4,86	15,12	4,46	21,10	19,00		
Ad. 2	25,25	7,31	21,09	6,57	31,20	27,50	4,10	0,5629
Ad. 3	19,76	4,99	17,84	4,67	21,30	19,60	10,17	0,1424
Ad. 4	22,62	5,64	19,44	5,12	24,50	21,80	7,38	0,2298
Ad. 5	24,68	5,94	20,96	5,34	25,50	24,40	7,24	0,4460
Ad. 6	22,19	5,56	18,71	4,99	23,90	21,00	6,07	0,0416
Ad. 7	26,83	7,24	22,97	6,49	31,10	27,80	18,19	1,7841
Ad. 8	26,39	6,83	33,53	6,18	30,80	26,80	22,34	2,2676
Ad. 9	26,80	7,01	23,00	6,25	31,60	27,10	19,60	1,8866
Ad. 10A	16,69	4,54	14,95	4,20	20,50	18,20	8,07	-0,2434
Ad. 10B	16,92	4,54	15,10	4,22	20,40	18,30	8,09	-0,2334
Ad. 11	17,77	4,76	15,38	4,50	20,40	18,90	7,49	-0,2318
Ad. 12	15,34	4,40	13,01	3,91	18,90	16,40	4,81	-0,7160
Ad. 13	17,37	4,80	14,46	4,44	20,70	18,70	5,39	-0,4260
Ad. 14A	17,90	5,28	15,78	4,82	22,60	20,50	3,88	-0,3579
Ad. 14B	17,75	4,89	15,58	4,47	20,90	18,70	7,35	-0,2291
Ad. 15A	17,44	5,14	15,08	4,68	22,00	19,90	3,91	-0,4289
Ad. 15B	18,26	4,86	16,52	4,46	20,80	19,00	5,44	-0,3446
Ad. 16A	17,02	4,89	14,99	4,46	20,90	19,00	6,15	-0,3404
Ad. 16B	17,19	4,86	15,27	4,52	20,80	19,20	6,50	-0,2978
Ad. 17A	17,50	5,15	15,35	4,73	22,00	20,10	3,82	-0,4206
Ad. 17B	18,98	4,82	16,18	4,51	20,60	19,20	5,71	-0,3132
Ad. 18A	22,34	6,20	14,11	4,00	26,50	17,00	9,98	0,1925
Ad. 18B	14,71	4,47	12,02	3,91	19,10	16,60	12,73	-0,0918
Ad. 19	20,37	5,12	17,72	4,66	21,90	19,80	5,37	-0,2036
Ad. 20	20,91	5,24	17,29	4,57	22,40	19,40	5,91	-0,1555
Ad. 21	15,52	4,55	13,90	3,67	19,60	15,40	7,74	-0,4742
Ad. 22	4,12	1,19	3,76	1,12	5,20	4,80	16,07	-1,2683
Ad. 23	14,95	3,88	13,44	3,59	16,90	15,40	5,55	-0,7769
Ad. 24			10,41	2,50		10,70		Flagi kategorii
Ad. 25			11,60	2,99		12,90		AR(1,2,3,4)

W oparciu o przedstawione w tabl. 10.3 wyniki można stwierdzić, że najlepszym dopasowaniem (odcienie koloru zielonego) do szeregu czasowego punktów empirycznych stanowiących *wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych wśród załogi ZG „Brzeszcze”* charakteryzują się następujące modele prognostyczne, mające standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną *mniej niż -0,6000*:

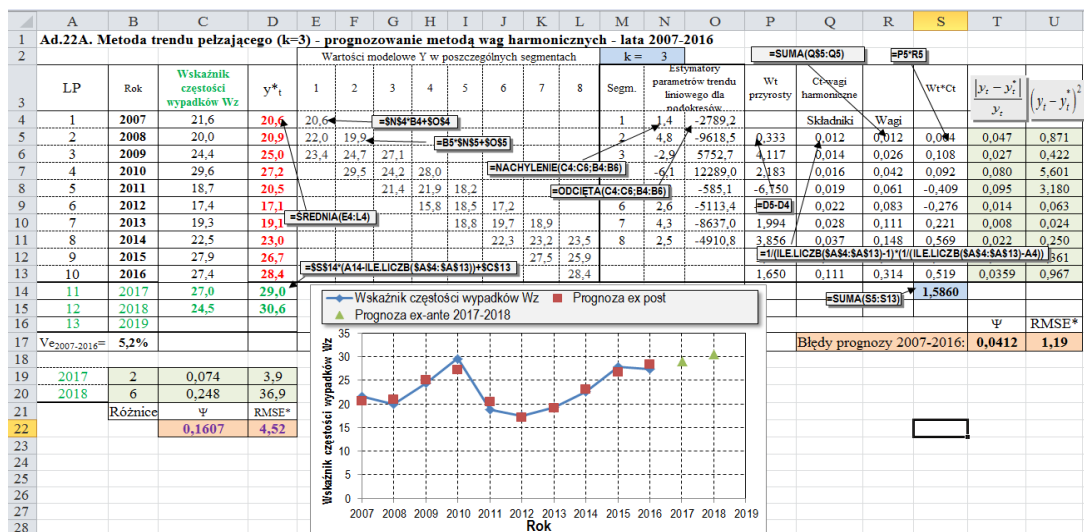
Ad. 12. Model wykładniczo-autoregresyjny ($k = 3$) (rys. 10.3.1)



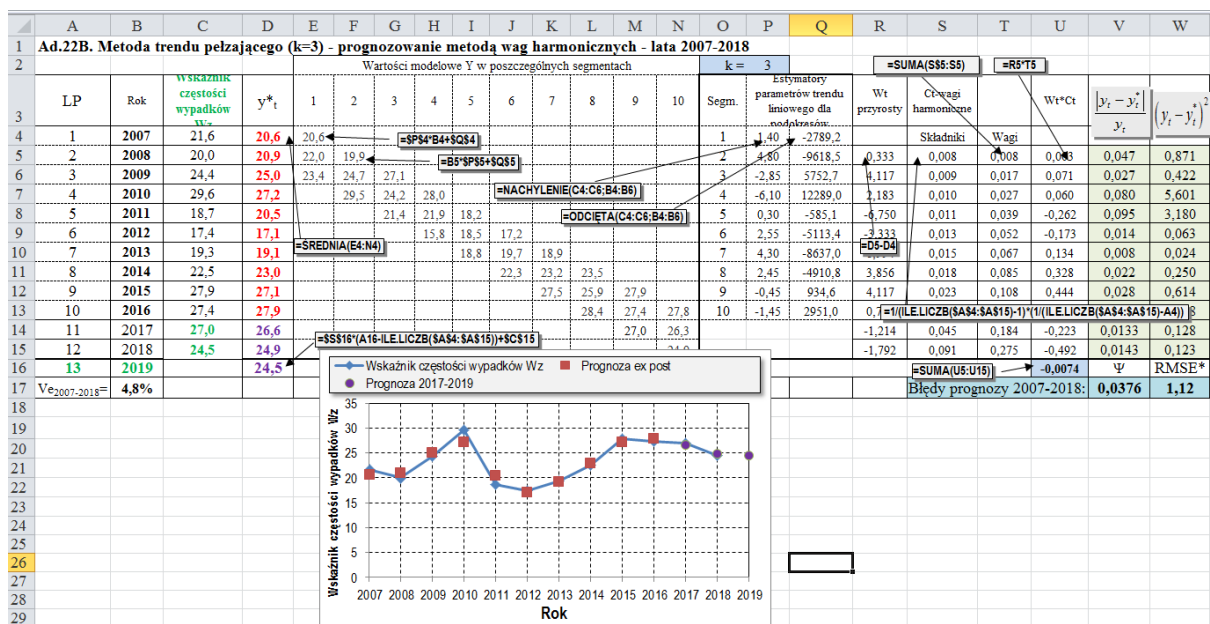
Rys. 10.3.1. Prognoza oparta na modelu wykładniczo-autoregresyjnym ($k = 3$) (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu wykładniczo-autoregresyjnym ($k = 3$) przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.27-6.28. Obliczenia wykonano dla wartości współczynników: $k = 3$, $l = 2$ oraz $\beta_1 = 0,70$, $\beta_2 = 0,20$, $\beta_3 = 0,10$ oraz $\delta_1 = 0,80$ i $\delta_2 = 0,20$, które spełniały założenie (6.26). Dla szeregów czasowych 2007-2016 i 2007-2018 optymalne wartości parametru α wynosiły odpowiednio: 0,4201 i 0,4130.

Ad.22. Model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych (Rys. 10.3.2 i 10.3.3)



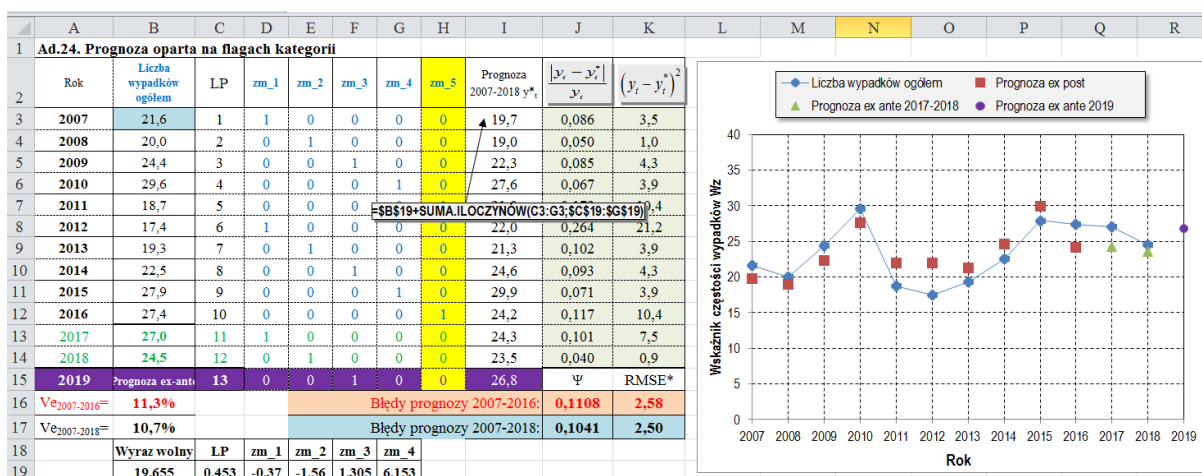
Rys. 10.3.2. Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznych dla danych empirycznych z lat 2007-2016 (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)



Rys. 10.3.3. Prognoza oparta na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznycy dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

Obliczenia związane z wyznaczeniem prognoz *ex-post* oraz *ex-ante* opartych na modelu trendu pełzającego ($k = 3$) z wykorzystaniem metody wag harmonicznycy przeprowadzono zgodnie z wzorami 6.50 i 6.51. Należy zauważyć, że model ten mimo złożonego przebiegu szeregu czasowego zapewnia najlepsze dopasowanie uzyskanych prognoz do wyników empirycznych wskaźnika częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz w ZG „Brzeszcze”

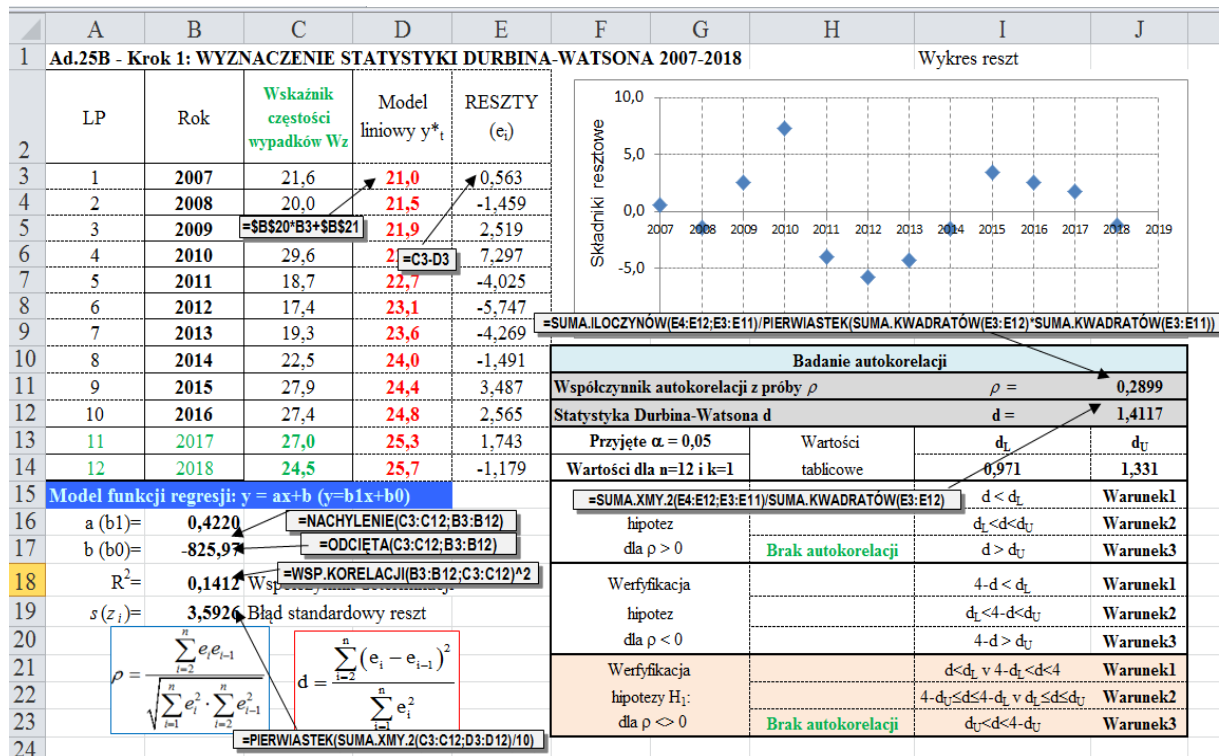
Ad. 24B. Prognoza oparta na flagach kategorii (zmiennych umownych) (rys. 10.3.4)



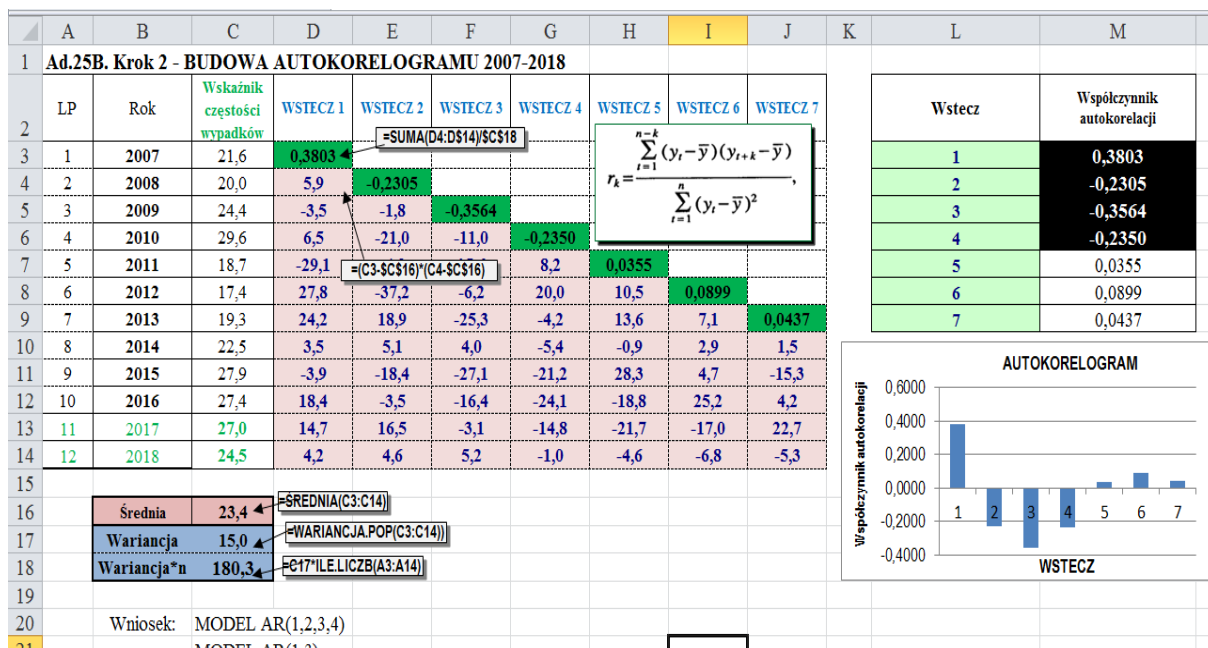
Rys. 10.3.4. Prognoza oparta na flagach kategorii z wykorzystaniem metody wag harmonicznycy dla danych empirycznych z lat 2007-2018 (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

Ponieważ szereg oznaczał się 5 punkową okresowością, zatem, zgodnie z zaleceniami dla tego typu prognoz, w regresji wielorakiej wykorzystano jedynie 4 zmienne (kategorie). Do wyznaczenia parametrów modelu regresji wykorzystano *Narzędzie analizy danych* Excela – *Regresja*. Współczynnik determinacji R^2 dla oszacowanego modelu funkcji regresji wielorakiej wynosił 0,5832, a standardowy błąd estymacji był równy 3,54. Jak można zauważyć oszacowany model jest bardzo dobrze dopasowany do empirycznego szeregu czasowego oraz ujmuje w pełni występującą okresowość (rys. 10.3.4).

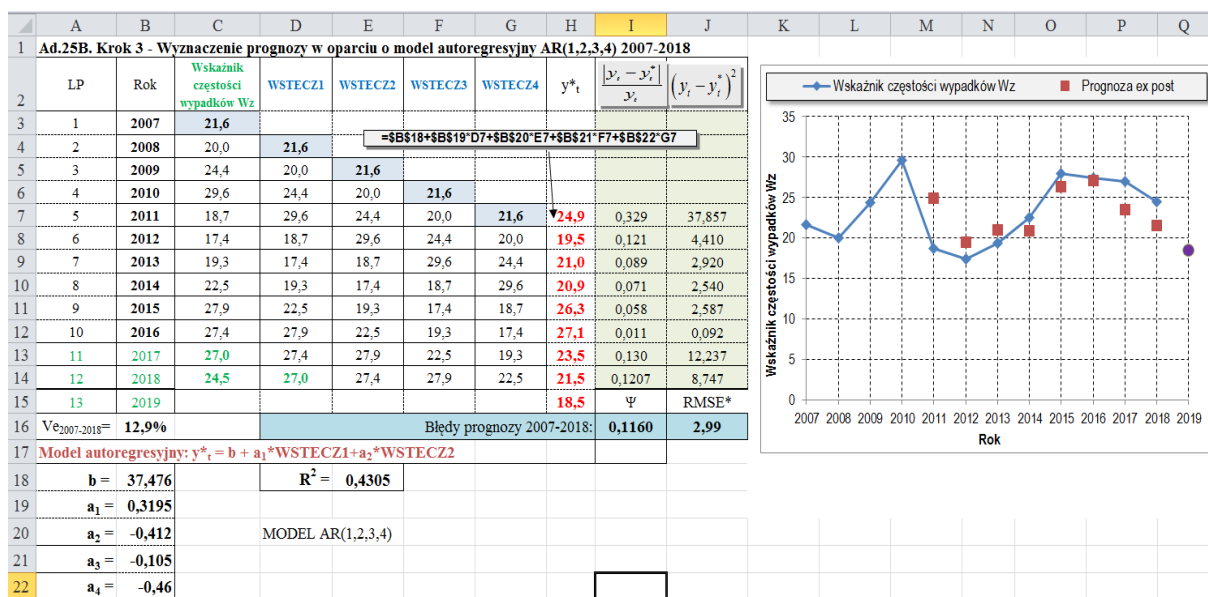
Ad. 25. Modele autoregresyjne AR (rys. 10.3.5, 10.3.6, i 10.3.7)



Rys. 10.3.5. Oszacowanie wartości współczynnika autokorelacji z próby ρ oraz statystyki Durbin-Watsona d dla szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)



Rys. 10.3.6. Oszacowanie współczynników autokorelacji dla przesunięć od 1 do 7 szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)



Rys. 10.3.7. Prognoza oparta na modelu autoregresyjnym AR(1,2,3,4) szeregu czasowego 2007-2018 r. (ZG „Brzeszcze” załoga własna – wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych Wz)

Test D-W nie wykazał statystycznie istotnej autokorelacji reszt zarówno w przypadku szeregu czasowego 2007-2016 ($\rho = 0,2849$; $d = 1,3933$), jak i szeregu 2007-2018 ($\rho = 0,2899$; $d = 1,4117$) (Rys. 10.16). Po dokładnej analizie wartości współczynników autokorelacji (Rys. 10.17) stwierdzono, że dla szeregu czasowego obejmującego lata 2007-2018 można wykorzystać model autoregresyjny AR(1,3,4). W ostatnim kroku wyznaczono autoregresyjny model prognozy AR(1,3,4) dla szeregu 2007-2018 (Rys. 10.18). Do wyznaczenia parametrów modeli autoregresji wykorzystano *Narzędzie analizy danych* Excela – *Regresja*. Dla szeregu czasowego obejmującego lata 2007-2018 współczynnik determinacji R^2 modelu funkcji autoregresji AR(1,3,4) wynosił 0,4305, a standardowy błąd estymacji był równy 4,88.

11. WNIOSKI

Zebrane dane statystyczne, dotyczące wypadkowości w KWK „Mysłowice-Wesoła”, KWK „Budryk” i ZG „Brzeszcze”, przeprowadzona analiza bezwzględna oraz wskaźnikowa, a także opracowane prognozy wypadkowości w wybranych kopalniach pozwoliły na sformułowanie poniższych wniosków.

1. Przeprowadzona analiza bezwzględna wypadkowości wśród załóg własnych kopalni wykazała, że w latach 2007-2018:
 - a) w KWK „Mysłowice-Wesoła” miało miejsce 1128 wypadków ogółem, średnio 94 rocznie z rozstępem w zakresie 85-112; nie stwierdzono wyraźnej tendencji; w całym analizowanym okresie 12 lat dało się zauważyć średniookresowe tempo spadku liczby wypadków ogółem na poziomie 1,5%; liczba wypadków śmiertelnych: 15, średnia 1,5 rozstęp 0-7; 1,33% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 75 wypadek ogółem, w roku 2014 zanotowano 30 ofiar katastrofy górniczej; wypadki śmiertelne miały miejsce w latach 2007-2009, 2012 i 2014; można twierdzić o braku tendencji, w 2014 w katastrofie górniczej było 5 ofiar śmiertelnych; liczba wypadków ciężkich: 18, średnia 1,5 rocznie z rozstępem 0-15; 1,60% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 63 wypadek ogółem; wypadki ciężkie miały miejsce w latach 2009, 2010, 2014 i 2018; można twierdzić o braku tendencji;
 - b) w KWK „Budryk” wydarzyło się ogółem 706 wypadków, średnio 56,6 rocznie z rozstępem w zakresie 47-82; w latach 2017 i 2018 zanotowano wzrost liczby wypadków odpowiednio o 9,4% i 54,7% w stosunku do roku 2016; jednocześnie w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo wzrostu liczby wypadków ogółem na poziomie 3,4%; liczba wypadków śmiertelnych: suma 3, średnia 0,3, rozstęp 0-1; 0,42% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 235 wypadek ogółem; wypadki śmiertelne wydarzyły się w latach 2007, 2016 i 2017; można twierdzić o braku tendencji; liczba wypadków ciężkich: suma 4, średnia 0,3; rozstęp 0-1; 0,57% udziału w wypadkach ogółem, średnio co ok. 177 wypadek ogółem; wypadki ciężkie wydarzyły się w latach 2007, 2011, 2013 i 2017; można twierdzić o braku tendencji;

- c) w ZG „Brzeszcze” miało miejsce 719 wypadków ogółem, średnio 59,9 rocznie z rozstępem w zakresie 38-95; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków ogółem na poziomie 7,3%; liczba wypadków śmiertelnych: suma 1, średnia 0,1, rozstęp 0-1; 0,14% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 719 wypadek ogółem; wypadek śmiertelny wystąpił w roku 2016. Stwierdzono brak tendencji. Liczba wypadków ciężkich: suma 1, średnia 0,1, rozstęp 0-1; 0,14% udziału w wypadkach ogółem, średnio co ok. 719 wypadek ogółem; wypadek ciężki wystąpił w roku 2007; stwierdzono brak tendencji.
2. Przeprowadzona analiza bezwzględna w firmach usługowych wykazała, że w latach 2007-2018:
- a) w firmach działających na terenie KWK „Mysłowice-Wesoła” odnotowano ogółem 294 wypadki, średnio 24,5 rocznie z rozstępem w zakresie 6-37; w analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków ogółem na poziomie 2,8%; liczba wypadków śmiertelnych: suma 9, średnia 0,8, rozstęp 0-3; 3,1% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 33 wypadek ogółem; wypadki śmiertelne wystąpiły w latach: 2009, 2012, 2013, 2015, 2017 i 2018; można twierdzić o braku tendencji; liczba wypadków ciężkich: suma 3, średnia 0,3, rozstęp 0-1; 1,02% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 98 wypadek ogółem wypadki ciężkie wydarzyły się w latach 2012, 2013 i 2018; można twierdzić o braku tendencji;
- b) w firmach działających na terenie KWK „Budryk” wydarzyło się 416 wypadków ogółem, średnio 34,7 rocznie z rozstępem w zakresie 20-59; w całym analizowanym okresie 12 lat stwierdzono średniookresowe tempo spadku liczby wypadków ogółem na poziomie 7,4%; liczba wypadków śmiertelnych: suma 3, średnia 0,3, rozstęp 0-1; 0,72% udziału w wypadkach ogółem, średnio co 139 wypadek ogółem; wypadki śmiertelne wystąpiły w latach: 2010, 2011 i 2013; można twierdzić o braku tendencji; w latach 2007- 2016 wypadki ciężkie w firmach usługowych nie wystąpiły;
- c) w firmach działających na terenie ZG „Brzeszcze” odnotowano ogółem 107 wypadków, średnio 8,9 rocznie z rozstępem w zakresie 0-35; w roku 2017 nastąpił bardzo znaczny wzrost wypadków o ok. 209%, a w roku 2018 spadek o ok. 57%; w latach 2007-2018 nie zanotowano wypadków śmiertelnych w firmach usługowych;

liczba wypadków ciężkich: suma 2, średnia 0,2; rozstęp 0-1; 1,87% udziału w wypadkach ogółem, średnio co ok. 54 wypadek ogółem; wypadki ciężkie wystąpiły w roku 2008. Stwierdzono brak tendencji.

3. Przeprowadzona analiza wskaźnikowa wypadkowości wśród załóg własnych kopalni wykazała, że w latach 2007-2018:

a) w KWK „Mysłowice-Wesoła” wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych miał największą wartość w roku 2014 ($W_Z = 24,5$), natomiast w latach 2009 i 2010 jego wartość była najniższa i wynosiła 15,8;

b) w rozpatrywanym okresie, wskaźnik ciężkości wypadków C_w na KWK „Mysłowice – Wesoła” bardzo wysoki (powyżej 70); średnia jego wartość była wyższa o ok. 34% w stosunku do dla KWK „Mysłowice – Wesoła”, a w stosunku do KWK „Budryk” o ok. 13% wyższa;

c) w KWK „Budryk” wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych miał największą wartość $W_Z = 28,8$ w roku 2010, a najmniejszą (ok. 19,5) w latach 2013 i 2014;

d) w ZG „Brzeszcze” wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych miał największą wartość $W_Z = 29,6$ w roku 2010, a najmniejszą (ok. 18,7) w roku 2012.

4. Przeprowadzona analiza wskaźnikowa wypadkowości wśród pracowników firm usługowych działających na terenie kopalni wykazała, że w latach 2007-2018:

a) w KWK „Mysłowice-Wesoła” wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych w roku 2009 miał wartość największą ($W_Z = 54,5$) i był znacznie wyższy (o 30) od tego wskaźnika z roku 2014 dla załogi własnej;

b) w KWK „Budryk” wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych w roku 2009 miał wartość największą ($W_Z = 53,9$) i był znacznie wyższy (o ok. 25) od tego wskaźnika z roku 2010 dla załogi własnej; w roku 2013 wartość tego wskaźnika była najniższa i wynosiła 19,4;

- c) w ZG „Brzeszcze” wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych w roku 2010 miał wartość największą ($W_Z = 38,6$), a w roku 2014 i 2015 osiągnął wartość zero.
5. W oparciu o przedstawione wyniki prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną kryteriów dla KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych liczby wypadków ogółem wśród załogi tej kopalni charakteryzują się następujące modele:
- model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych,
 - model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego (rozruch: $S_1 = 1$),
 - model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (rozruch: $S_1 = 0$),
 - model kwadratowy Holta w formule addytywnej (rozruch: $S_1 = y_2 - y_1$).
6. W oparciu o przedstawione wyniki prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną kryteriów dla KWK „Mysłowice-Wesoła” – firmy usługowe można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych liczby wypadków ogółem charakteryzują się następujące modele:
- model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego ($S_1 = y_2 - y_1$),
 - model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego ($S_1 = 0$),
 - model kwadratowy Holta w formule addytywnej ($S_1 = 0$),
 - model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych.
7. W oparciu o przedstawione wyniki prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną kryteriów dla KWK „Budryk” – załoga własna można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych liczby wypadków ogółem wśród załogi tej kopalni charakteryzują się następujące modele:
- model metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym dla szeregu czasowego z tendencją rozwojową,
 - model kwadratowy Holta w formule addytywnej ($S_1 = y_2 - y_1$),

- c) model kwadratowy Holta w formule addytywnej ($S_I = 0$),
 - d) model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych,
 - e) prognoza oparta na flagach kategorii (zmiennych umownych),
 - f) modele autoregresyjne *AR*.
8. W oparciu o przedstawione wyniki prognozowania oraz standaryzowaną wagą ocenę sumaryczną kryteriów dla KWK „Budryk” – firmy usługowe można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych wypadków ogółem wśród pracowników tych firm charakteryzują się następujące modele:
- a) model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej ($k = 2$),
 - b) model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej ($k = 3$),
 - c) model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych,
 - d) model nieliniowy linearyzowany – model wykładniczy.
9. W oparciu o przedstawione wyniki prognozowania oraz standaryzowaną wagą ocenę sumaryczną kryteriów dla ZG „Brzeszcze” – załoga własna można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych liczby wypadków ogółem wśród załogi tej kopalni charakteryzują się następujące modele:
- a) model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych,
 - b) model nieliniowy linearyzowany – model wykładniczy,
 - c) modele autoregresyjne *AR*.
10. W oparciu o przedstawione wyniki prognozowania oraz standaryzowaną wagą ocenę sumaryczną kryteriów dla ZG „Brzeszcze” – firmy usługowe można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych liczby wypadków ogółem wśród pracowników tych firm charakteryzują się następujące modele:
- a) model pojedynczego wygładzania wykładniczego (Browna),
 - b) model liniowy Holta z trendem multiplikatywnym ($S_I = 1$),

- c) model kwadratowy Holta w formule addytywnej ($S_1 = 0$),
 - d) model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych,
 - e) modele autoregresyjne AR.
11. W oparciu o przedstawione wyniki prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną kryteriów dla KWK „Mysłowice-Wesoła” – załoga własna można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych wskaźnika W_z dla załogi tej kopalni charakteryzują się następujące modele:
- a) model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych,
 - b) prosty model wygładzania wykładniczego ($y_1^* = y_1$),
 - c) prosty model wygładzania wykładniczego ($y_1^* = \text{średnia pierwszych sześciu wartości empirycznych}$),
 - d) model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego ($S_1 = y_2 - y_1$),
 - e) model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych,
 - f) prognoza oparta na modelu liniowym,
 - g) modele autoregresyjne AR.
12. W oparciu o przedstawione wyniki prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną kryteriów dla KWK „Budryk” – załoga własna można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów empirycznych wskaźnika W_z dla załogi tej kopalni charakteryzują się następujące modele:
- a) model pojedynczego wygładzania wykładniczego (Brown),
 - b) model kwadratowy Holta w formie addytywnej ($S_1 = y_2 - y_1$),
 - c) model kwadratowy Holta w formie addytywnej ($S_1 = 0$),
 - d) model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmonicznych,
 - e) prognoza oparta na flagach kategorii (zmiennych umownych),
 - f) modele autoregresyjne AR.
13. W oparciu o przedstawione wyniki prognozowania oraz standaryzowaną wagową ocenę sumaryczną kryteriów dla ZG „Brzeszcze” – załoga własna można stwierdzić, że najlepszą dobrocią dopasowania (odcienie koloru zielonego) do punktów

empirycznych wskaźnika W_z dla załogi tej kopalni charakteryzują się następujące modele:

- a) model wykładniczo-autoregresyjny ($k = 3$),
- b) model trendu pełzającego ($k = 3$) – prognozowanie metodą wag harmoniczných,
- c) prognoza oparta na flagach kategorii (zmiennych umownych),
- d) modele autoregresyjne *AR*.

14. W prognozowaniu rozważanych wypadków ogółem i wskaźnika W_z nie można znaleźć jednej uniwersalnej metody prognostycznej. Dobrze sprawdzają się metody wag harmoniczných i modele autoregresyjne *AR*. W załączniku 2 zamieszczono algorytmy dla 25 metod prognozowania. Po wprowadzeniu danych i niewielkich korektach parametrów można w arkuszu „Zestawienie kryteriów” znaleźć modele o najlepszej dobroci dopasowania dla każdej kopalni branży górniczej.

LITERATURA

Publikacje

- [1] Aczel A.D., Sounderpandian J. 2017: Statystyka w zarządzaniu. PWN, Warszawa.
- [2] Balcerowicz-Szkutnik M., Szkutnik W. 2006: Wstęp do metod ekonometrycznych. Metody i zadania. Śląska Wyższa Szkoła Zarządzania, Katowice.
- [3] Błaszczuk D. 2006: Wstęp do prognozowania i symulacji. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [4] Borkowski B., Dudek H., Szczęsny W. 2003: Ekonometria. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [5] Brown R.G. 1959: Statistical Forecasting for Inventory Control. Mc Grow Hill, New York.
- [6] Brown R.G. 1963: Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series. Mc Grow Hill, New York.
- [7] Chatfield Ch. 1986: Holt-Winters Forecasting: Some Practical Issues. *The Statistician*, vol. 37, pp. 129-140.
- [8] Chen H., Qi H., Long R., Zhang M. 2012: Research on 10-year tendency of China coal mine accidents and the characteristics of human factors. *Safety Science*, vol. 50, pp. 745-750.
- [9] Chybalski F., Marcinkiewicz E., Matuszewska A., Mazur A., Staniec T., Szmit A., Żółtowski J. 2007: Zbiór zadań z podstaw ekonometrii i prognozowania. Politechnika Łódzka, Łódź.
- [10] Cieślak M. (red.) 2011: Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa (wydanie czwarte, zmienione i uaktualnione).
- [11] Czyżycki R., Hundert M., Klóska R. 2006: Wybrane zagadnienia z prognozowania, Wydawnictwo Economicus, Szczecin.
- [12] Czyżycki R., Klóska R. 2011: Ekonometria i prognozowanie zjawisk ekonomicznych w przykładach i zadaniach. Wydawnictwo Economicus, Szczecin.
- [13] Dittmann P. 2008: Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Metody i ich zastosowanie. Wydawnictwo Wolters Kluwer, Kraków.
- [14] Dittmann P., Szabela-Pasirbińska E., Dittmann I., Szpulak A. 2011: Prognozowanie w zarządzaniu sprzedażą i finansami przedsiębiorstwa. Wydawnictwo Wolters Kluwer, Warszawa.

- [15] Dudka G., Bojanowski R. 2007: *Metodyka statystycznych analiz wypadków przy pracy*. Wydawnictwo CIOP – PIB, Warszawa.
- [16] Fylstra D., Lasdon L., Watson J., Waren A. 1998: Design and Use of the Microsoft Excel Solver, *Interfaces*, 28:5.
- [17] Gajda B. 2001: *Prognozowanie i symulacja a decyzje gospodarcze..* Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa.
- [18] Gajdzik B., Szymshal J. 2016: Modelowanie prognostyczne zmian w wielkości produkcji stali w Polsce do 2020 r. *Prace Instytutu Metalurgii Żelaza*, T. 68, Nr 4, s. 26-33.
- [19] Gardner E. S., Jr. 1985: Exponential smoothing: The state of the art. *Journal of Forecasting*, No 4, pp. 1-28.
- [20] Gass S.L. 1976: *Programowanie liniowe. Metody i zastosowania*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [21] Geng F., Saleh J.H. 2015: Challenging the emerging narrative: Critical examination of coalmining safety in China, and recommendations for tackling mining hazards. *Safety Science*, vol. 75, pp. 36 -48.
- [22] Gil S., Pelon G. Kaczmarczyk A., 2017: Analiza statystyczna wypadków śmiertelnych i ciężkich w górnictwie węgla kamiennego na podstawie zdarzeń w latach 2002-2015. *Wiadomości Górnicze*, Nr 1, s. 28-35.
- [23] Goryl A., Jędrzejczyk Z., Kukuła K., Osiewalski J., Walkosz A. 1999: *Wprowadzenie do ekonometrii w przykładach i zadaniach*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [24] Guzik B., Appenzeller D., Jurek W. 2007: *Prognozowanie i symulacje. Wybrane zagadnienia*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
- [25] Hillier F.S., Lieberman G.J. 2005: *Introduction to Operations Research*. Mc Graw-Hill, International Edition.
- [26] Holt C.C. 2004: Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. *International Journal of Forecasting*, vol. 20, pp. 5-10.
- [27] Kalinowski K. 2000: *Metody optymalizacji*. Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice.
- [28] Kecojevic V., Komljenovic D., Groves W., Radomsky M. 2007: An analysis of equipment-related fatal accidents in U.S. mining operations: 1995–2005. *Safety Science*, vol. 45, pp. 864-874.

- [29] Kiłdyszew G., Frenkel A. 1976: Analiza szeregów czasowych i prognozowanie. PWE, Warszawa.
- [30] Konopko W. 2006: Zagrożenia naturalne w kopalniach węgla kamiennego. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków, s. 793-818.
- [31] Konopko W. (red.) 2013a: Bezpieczeństwo pracy w kopalniach węgla kamiennego. Tom I. Górnictwo i środowisko. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- [32] Konopko W. (red.) 2013b: Bezpieczeństwo pracy w kopalniach węgla kamiennego. Tom II. Zagrożenia naturalne. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- [33] Koterak A., Kabiesz J., Patyńska R. 2015: Zagrożenia naturalne w podziemnym górnictwie węgla w Polsce na tle wybranych krajów Europy i świata. Przegląd Górniczy, Nr 1, s. 25-30.
- [34] Kowalski-Trakofler K., Steiner L., Schwerha D. 2005: Safety considerations for the aging workforce. Safety Science, vol. 43, No 10, pp. 779-793.
- [35] Krause M. 2008: Ocena ryzyka zawodowego. Wymagania, wytyczne, przykłady. Wyższa Inżynierska Szkoła Bezpieczeństwa i Organizacji Pracy w Radomiu, Radom.
- [36] Krause M. 2012: Zasady doboru metod oceny ryzyka zawodowego w aspekcie zróżnicowanego oddziaływania niebezpiecznych i szkodliwych czynników środowiska pracy w kopalniach węgla kamiennego. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [37] Krause M. 2015: Badania zróżnicowania ryzyka wypadków przy pracy na przykładzie analizy bezwzględnej i wskaźnikowej dla branży górnictwa i Polski. Przegląd Górniczy, Nr 6, s. 35 - 41.
- [38] Krause M. 2018: Podstawy badań w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [39] Krawczyk S. 2001: Metody ilościowe w planowaniu (działalności przedsiębiorstwa). Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa.
- [40] Krawiec S. 2014: Adaptacyjne modele wygładzania wykładniczego jako instrumenty prognozowania krótkoterminowego zjawisk ilościowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [41] Laurence D. 2005: Safety rules and regulations on mine sites – the problem and a solution. Journal of Safety Research, vol. 36, No 1, pp. 39-50.
- [42] Leśkow J., Lenart T. 2005: Prognozowanie i symulacje. Wyższa Szkoła Biznesu - National Louis University, Nowy Sącz.

- [43] Liang K., Liu J., Wang C. 2011: The Coal Mine Accident Causation Model Based on the Hazard Theory. *Procedia Engineering*, vol. 26, pp. 2199-2205.
- [44] Lipiec-Zajchowska M. (red.) 2003: *Wspomaganie procesów decyzyjnych. t. II, Ekonometria*. Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa.
- [45] Liu Q., Liu J., Gao J., Wang J., Han J. 2020: An empirical study of early warning model on the number of coal mine accidents in China. *Safety Science*, vol. 123, pp. 1-7 (available online 10 December 2019).
- [46] Maiti J., Khanzode V.V., Ray P.K. 2009: Severity analysis of Indian coal mine accidents – A retrospective study for 100 years. *Safety Science*, vol. 47, pp. 1033-1042.
- [47] Makridakis S., Wheelwright S.C. 1989: *Forecasting Methods and Applications*. John Wiley & Sons, New York.
- [48] Maliński M., Szymshal J. 1999: *Współczesna statystyka matematyczna w medycynie w arkuszach kalkulacyjnych*. Wydawnictwo Śląskiej Akademii Medycznej, Katowice.
- [49] Mańkowski A., Tarapata Z. 2000: *Prognozowanie i symulacja rozwoju przedsiębiorstw*. Wyższa Szkoła Ekonomiczna, Warszawa.
- [50] Marcinkowska-Lewandowska W., Michalski T. 1991: *Metody matematyczne dla ekonomistów. Cz. II*. Wydawnictwo Szkoły Głównej Handlowej, Warszawa.
- [51] Mianowana K., Rydzak L., Mianowana V. 2016: Wypadkowość w górnictwie – prognozowanie występowania zdarzeń a ubezpieczanie pracowników. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, Nr 10, s. 17–23.
- [52] Middleton M.R. 2004: *Microsoft Excel w analizie danych*. Wyd. RM, Warszawa.
- [53] Milo W. (red.) 2002: *Prognozowanie i symulacja*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- [54] Nazarko J. (red.) 2005: *Prognozowanie w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Cz. III, Prognozowanie na podstawie modeli adaptacyjnych*. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok.
- [55] Nowak E. (red.) 1998: *Prognozowanie gospodarcze metody, modele, zastosowania, przykłady*. Wydawnictwo PLACET, Warszawa.
- [56] Nowakowski E.W. 2005: *Wstęp do ekonometrii (z zadaniami)*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Rozwoju Lokalnego, Warszawa - Żyrardów.
- [57] Osińska M. (red.) 2007: *Ekonometria współczesna*. Wydawnictwo Dom Organizatora, Toruń.

- [58] Parchański J. 2001a: Ocena ryzyka zawodowego – metoda graficzna. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Seria Górnictwo, Nr 250, s. 165-173.
- [59] Parchański J. 2001b: Wypadkowość w kopalniach węgla kamiennego na tle wypadkowości w sekcjach działalności gospodarczej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Seria Górnictwo, Nr 250, s. 151-163.
- [60] Parchański J. 2017: Wypadkowość w kopalniach węgla kamiennego w okresie restrukturyzacji 1993-2010. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [61] Pawełek B., Wanat S., Zeliaś A. 2008: Prognozowanie ekonomiczne. PWN, Warszawa.
- [62] Pawłowski Z. 1973: Prognozy ekonometryczne. PWN, Warszawa.
- [63] Pawłowski Z. 1966: Ekonometria. PWE, Warszawa.
- [64] Pelon G., Gil S. 2018: Modelowanie prognozy wypadkowości w górnictwie na przykładzie wybranej kopalni węgla kamiennego. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie Nr 4, s. 18-32.
- [65] Pelon G., Gil S. 2020: Opracowanie prognoz wskaźnika wypadków dla wybranych zakładów górniczych. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie Nr 7, s. 2-15.
- [66] Pietrzak L. 2004: Badanie wypadków przy pracy. Modele i metody. CIOP-PIB, Warszawa.
- [67] Przywarska R. 2013: Analiza zagrożeń i wypadkowości w KWK „Budryk”. Journal of Ecology and Health vol. 17, No 3, pp. 120-128.
- [68] Radzikowska B. 2004: Metody prognozowania. Zbiór zadań. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław.
- [69] Rydlewski J. 2003: Uogólniony wskaźnik prewencyjny jako miernik stanu bezpieczeństwa pracy. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, Nr 7, s. 28-30.
- [70] Rydlewski J. 2005: Bezpieczna kopalnia na podstawie nowego wskaźnika prewencyjnego. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, Nr 1, s. 28-29.
- [71] Ryncarz T. 1983: O systematycznej klasyfikacji zagrożeń występujących w górnictwie podziemnym. Kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej Seria Górnictwo, Zeszyt 3.
- [72] Sari M., Selcuk A.S., Karpuz C., Duzgun H.S.B. 2009: Stochastic modeling of accident risks associated with an underground coal mine in Turkey. Safety Science, vol. 47, pp. 78-87.

- [73] Sobczyk M. 2008: Prognozowanie. Teoria, przykłady, zadania. Wydawnictwo Placet, Warszawa.
- [74] Strahl D., Sobczak E., Markowska M., Bal-Domańska B. 2004: Modelowanie ekonometryczne z Excelem. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław.
- [75] Strategor 2001: Zarządzanie firmą. Strategie. Struktury. Decyzje. Tożsamość. PWE, Warszawa 2001.
- [76] Szapiro T. (red.) 2000: Decyzje menedżerskie z Excelem. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- [77] Szeja J. 1992: Prognozowanie struktury wypadków przy pracy w kopalniach węgla kamiennego (studium metodologiczne). Zeszyty Nauk. Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Nr 388, s. 15–50.
- [78] Szlązak J., Szlązak N. 2012: Bezpieczeństwo i higiena pracy. Wydawnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków.
- [79] Szymuszal J., Blacha L. 2005: Wspomaganie decyzji optymalnej w metalurgii i inżynierii materiałowej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [80] Tarapata Z. 2000: Symulacyjna metoda doboru optymalnych parametrów w prognostycznych modelach wykładniczego. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Warszawie, Warszawa.
- [81] Welfe A. 2009: Ekonometria. Metody i ich zastosowanie. PWE, Warszawa.
- [82] Witkowska D. 2005: Podstawy ekonometrii i teorii prognozowania. Podręcznik z przykładami i zadaniami. Oficyna Ekonomiczna, Kraków.
- [83] Witkowski M., Klimanek T. 2006: Prognozowanie gospodarcze i symulacje w przykładach i zadaniach. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
- [84] Węgrzyn J. 2011: Elementy badań operacyjnych w arkuszu kalkulacyjnym. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [85] Yar M., Chatfield Ch. 1990: Prediction Intervals for the Holt-Winters Forecasting Procedure. International Journal of Forecasting, vol. 6, pp.127-137.
- [86] Zawadzki J. 1989: Ekonometryczne metody prognozowania w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin.
- [87] Zeliaś A. 1997: Teoria prognozy. PWE, Warszawa.
- [88] Zeliaś A., Pawełek B., Wanat S. 2001: Prognozowanie ekonomiczne. Teoria, przykłady, zadania. PWN, Warszawa.

- [89] Zhang J., Fu J., Hao H., Fu G., Zhang W. 2020: Root causes of coal mine accidents: Characteristics of safety culture deficiencies based on accident statistics. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 136, pp. 78-91.
- [90] Zheng X., Liu M. 2009: An overview of accident forecasting methodologies. *Journ. of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 22, pp. 484–490.
- [91] Żarowska-Mazur A., Węglarz W. 2012: Excel 2010. Praktyczny kurs. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [92] Żądło T., Wywiół J. 2008: Prognozowanie szeregów czasowych za pomocą pakietu SPSS. Wydawnictwo SPSS Polska, Kraków.

Akty prawne

- [93] Rozporządzenie 1997: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. *Dz. U. z 2003 r. Nr 169, poz. 1650, z późn. zm.*
- [94] Rozporządzenie 2002a: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie różnicowania stopy procentowej składki na ubezpieczenie społeczne z tytułu wypadków przy pracy i chorób zawodowych w zależności od zagrożeń zawodowych i ich skutków. *Dz. U. z 2019 r. poz. 757.*
- [95] Rozporządzenie 2002b: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 19 grudnia 2002 r. w sprawie trybu uznawania zdarzenia powstałego w okresie ubezpieczenia wypadkowego za wypadek przy pracy, kwalifikacji prawnej zdarzenia, wzoru karty wypadku i terminu jej sporządzenia. *Dz. U. z 2013 r. poz. 1618.*
- [96] Rozporządzenie 2002c: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 24 grudnia 2002 r. w sprawie szczegółowych zasad oraz trybu uznawania zdarzenia za wypadek w drodze do pracy lub z pracy, sposobu jego dokumentowania, wzoru karty wypadku w drodze do pracy lub z pracy oraz terminu jej sporządzania. *Dz. U. z 2013 r. poz. 924.*
- [97] Rozporządzenie 2005: Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki. *Dz. U. z 2005 r. Nr 81, poz. 716, z późn. zm.*
- [98] Rozporządzenie 2009a: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 7 stycznia 2009 r. w sprawie statystycznej karty wypadku przy pracy. *Dz. U. z 2009 r. Nr 14, poz. 80, z późn. zm.*

- [99] Rozporządzenie 2009b: Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2009 r. w sprawie ustalania okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy. Dz. U. z 2009 r. Nr 105, poz. 870.
- [100] Rozporządzenie 2011: Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U. z 2011 r. Nr 33, poz. 166; z późn. zm.
- [101] Rozporządzenie 2012: Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie kryteriów i sposobu klasyfikacji substancji chemicznych i ich mieszanin. Dz. U. z 2015 r. poz. 208.
- [102] Rozporządzenie 2013: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 stycznia 2013 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych. Dz. U. z 2013 r. poz. 230, z późn. zm.
- [103] Rozporządzenie 2016: Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych. Dz. U. z 2017 r. poz. 1118, z późn. zm.
- [104] Rozporządzenie 2018: Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U. z 2018 r. poz. 1286; z późn. zm.
- [105] Rozporządzenie 2019: Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie wzoru protokołu ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku przy pracy. Dz. U. z 2019 r. poz. 1071.
- [106] Ustawa 1974: Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy. Dz. U. z 2020 r. poz. 1320.
- [107] Ustawa 1998: Ustawa z dnia 17 grudnia 1998 r. o emeryturach i rentach z Funduszu Ubezpieczeń Społecznych. Dz. U. z 2020 r. poz. 53, z późn. zm.
- [108] Ustawa 1999: Ustawa z dnia 25 czerwca 1999 r. o świadczeniach pieniężnych z ubezpieczenia społecznego w razie choroby i macierzyństwa. Dz. U. z 2020 r. poz. 870.
- [109] Ustawa 2002: Ustawa z dnia 30 października 2002 r. o ubezpieczeniu społecznym z tytułu wypadków przy pracy i chorób zawodowych. Dz. U. z 2019 r. poz. 1205.
- [110] Ustawa 2011: Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze. Dz. U. z 2020 r. poz. 1064, z późn. zm.

Dane statystyczne

- [111] COIG 2007-2016: Analiza miesięczna stanu bezpieczeństwa i higieny pracy w kopalniach węgla kamiennego i przedsiębiorstwach robót górniczych za lata 2007-2016. Centralny Ośrodek Informatyki Górnictwa, Katowice.
- [112] COIG 2018: Analiza miesięczna stanu bezpieczeństwa i higieny pracy w kopalniach węgla kamiennego i przedsiębiorstwach robót górniczych w 2017 roku. Centralny Ośrodek Informatyki Górnictwa, Katowice.
- [113] EURACOAL 2019: EURACOAL, EURACOAL statistics, Coal and lignite production and imports in Europe, <https://euracoal.eu/info/euracoal-eu-statistics/>, dostęp 26.08.2019.
- [114] GUS 2009-2018: Główny Urząd Statystyczny, Warunki pracy, Wypadki przy pracy, lata 2009-2018, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/warunki-pracy-wypadki-przy-pracy/>, dostęp 26.08.2019.
- [115] GUS 2018: Główny Urząd Statystyczny, Wypadki przy pracy w 2017 roku, Warszawa.
- [116] ILO 2019: International Labour Organization, Safety and health at work, <https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--en/index.htm>, dostęp 26.08.2019.
- [117] KWK „Mysłowice - Wesola” 2019. Działu BHP. Dane o wypadkowości w latach 2007-2018.
- [118] WUG 1990:2018: Wyższy Urząd Górniczy, Stan bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie, lata 1990-2018, http://www.wug.gov.pl/bhp/statystyki_wypadkow, dostęp 26.08.2019.
- [119] WUG 2007:2018: Wyższy Urząd Górniczy. Materiały o stanie bezpieczeństwa pracy w górnictwie dotyczące KWK Mysłowice-Wesoła, KWK Budryk i ZG Brzeszcze za lata 2007-2018.
- [120] WUG 2018: Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górniczo-geologiczną w 2017 roku. Wyższy Urząd Górniczy, Katowice.

Inne źródła

- [121] Historia KWK Brzeszcze. Opracowanie własne Tauron Wydobycie S.A. 2017.
- [122] Historia KWK Mysłowice-Wesoła. Opracowanie własne PGG S.A. 2018.

- [123] Jastrzębska Spółka Węglowa S.A., KWK Budryk, <https://www.jsw.pl/>, dostęp 26.08.2019.
- [124] Polska Grupa Górnicza S.A., KWK Mysłowice-Wesoła, <https://www.pgg.pl/>, dostęp 26.08.2019.
- [125] Strawiński P.: Notatki do ćwiczeń z ekonometrii., coin.wne.uw.edu.pl/pstrawinski/notatki/auto.pdf, dostęp 16.01.2020.
- [126] Tauron Wydobycie S.A., Zakład Górniczy Brzeszcze, <https://www.tauron-wydobycie.pl/>, dostęp 26.08.2019.
- [127] Utworzenie Centrum Wydobywczego KWK Mysłowice-Wesoła. Materiały własne KWK Mysłowice-Wesoła 2008.

STRESZCZENIE

Polska jest jednym z największych producentów węgla kamiennego w Europie ($63 \cdot 10^6$ Mg w 2018 roku), co stanowi ok. 1% wydobycia światowego i 83.5% wydobycia w Unii Europejskiej). Przy wydobyciu zatrudnionych jest ok. 76697 pracowników. Na przestrzeni ostatnich 28 lat (1990 - 2018) zanotowano wyraźny spadek liczby wypadków w polskich kopalniach. Wynika to między innymi ze spadku wydobycia węgla i zatrudnienia oraz ogólnych procesów restrukturyzacyjnych. W 1990 roku liczba wypadków ogółem wynosiła 16515, w 2000 roku spadła do 2896, a w 2018 roku do 1372. Liczba wypadków śmiertelnych w tym czasie zmalała prawie pięciokrotnie, a wypadków ciężkich dziewięciokrotnie (*WUG 1990-2018*). Wartości wskaźnika częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych w górnictwie węgla kamiennego w latach 2007-2017 mieściły się w zakresie 18,30 – 21,98, natomiast wartości wskaźnika częstości wypadków ogółem na 10^6 Mg wydobycia w przedziale 22,25 – 30,85. Na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego stwierdzono, że „górnictwo” znajduje się w grupie podwyższonego ryzyka wypadków przy pracy wraz „budownictwem” oraz „rolnictwem, leśnictwem, łowiectwem i rybołówstwem”. Szczególną cechą branży górniczej są wypadki zbiorowe i katastrofy. W rozważanym okresie lat 2009 - 2018 najwięcej wypadków śmiertelnych (24 poszkodowanych) miało miejsce w 2009 roku, wypadków ciężkich (29 poszkodowanych) również w 2009 roku, a wypadków lekkich (86 poszkodowanych) w 2013 roku (*GUS 2009-2018*).

Na początku pracy przedstawiono charakterystykę wytypowanych do badań kopalń węgla kamiennego, będących typowymi przedstawicielami trzech największych przedsiębiorstw górniczych:

- KWK Mysłowice-Wesoła - wchodzi w skład Polskiej Grupy Górniczej S.A., czyli największego producenta węgla kamiennego w Polsce i Europie (która powstała m.in. z połączenia Kompanii Węglowej S.A. i Katowickiego Holdingu Węglowego S.A.), aktualnie kopalnia jednoruchowa, duże nasilenie zagrożeń naturalnych,
- KWK Budryk - przedstawiciel Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A., największego producenta węgla energetycznego w Polsce i Europie, czysty model nowej kopalni jednoruchowej, najmłodsza nowa kopalnia w Polsce (budowana w latach 1978-1994), kopalnia nowoczesna i rozwojowa, duże nasilenie zagrożeń naturalnych,
- ZG Brzeszcze - wchodzi w skład Tauron Wydobycie S.A., czyli koncernu energetyczno-górniczego, duże przekształcenia restrukturyzacyjne (m.in. samodzielna

kopalnia, Nadwiślańska Spółka Węglowa S.A., Kompania Węglowa S.A., kopalnia w likwidacji), kopalnia nowoczesna i rozwojowa (poziom 900 m w budowie), aktualnie kopalnia jednoruchowa, duże nasilenie zagrożeń naturalnych.

W rozdziale trzecim opisano podstawy prawne dotyczące wypadków w środowisku pracy. Analizie poddano wybrane wypadki zawodowe (wypadki przy pracy, wypadki przy pracy w okresie ubezpieczenia wypadkowego, wypadki w drodze do pracy lub z pracy) w świetle podstaw prawnych, które określają podstawową terminologię oraz zasady postępowania w zakresie ustalania okoliczności i przyczyn wypadku (postępowania powypadkowego), w tym m.in. zasady uznawania zdarzenia za wypadek, dokumentowania wypadków i przyznawania świadczeń z ubezpieczenia wypadkowego z tytułu wypadków przy pracy.

Rozdział czwarty zawiera omówienie klasyfikacji zagrożeń i zasad analizy wypadków przy pracy. Analizie poddano wybrane klasyfikacje zagrożeń i ryzyka w środowisku pracy (z uwzględnieniem specyfiki górnictwa węgla kamiennego) w świetle podstaw prawnych oraz literatury przedmiotu. Omówiono także zasady analizy statystyki wypadków przy pracy (analiza bezwzględna, analiza wskaźnikowa, analiza rodzajowa) i klasyfikacje wskaźników wypadkowości w górnictwie węgla kamiennego (wskaźnik częstości wypadków, wskaźnik ciężkości wypadków, wskaźnik ryzyka wypadków). Przedstawiono zasady analizy statystyki wypadków przy pracy, klasyfikacji analizy retrospektywnej oraz jej opis merytoryczny na podstawie analiz: bezwzględnej, wskaźnikowej, rodzajowej i korelacji. Omówiono wskaźniki wypadkowości stosowane w górnictwie oparte na kryteriach: czasu, budowy, analizy statystycznej (wskaźniki: struktury, natężenia i dynamiki), analizy wypadkowości (wskaźniki: częstości, ciężkości i ryzyka).

W kolejnym piątym rozdziale opisano proces prognozowania, jego podstawy, cele, funkcje, metody i horyzont czasowy. Szczegółowo omówiono etapy mechanizmu prognozowania i miary dokładności prognoz. Złożony proces podejmowania decyzji składa się bowiem z kilku etapów i powinien przebiegać według z góry określonego schematu postępowania. Do najważniejszych etapów należy zidentyfikowanie sytuacji decyzyjnej, zaprojektowanie wybranych wariantów, dokonanie oceny opracowanych wariantów i w konsekwencji wybór jednego z nich według założonych kryteriów. Ostatni etap obejmuje realizację podjętej decyzji oraz kontrolę jej efektów.

W rozdziale szóstym opisano wybrane modele prognostyczne (łącznie 25 typów modeli) oraz proces przewidywania i oceny przyszłości, oparty, zgodnie z teorią prognoz, na

badaniach teoretycznych, rozważaniach analitycznych, przesłankach logicznych oraz praktycznych doświadczeniach. W procesie tym wykorzystywane są metody ilościowe o charakterze statystycznym, rachunek prawdopodobieństwa oraz budowane modele. Wytypowane modele opisują ilościowe współzależności zachodzące pomiędzy zmiennymi ex-post, gdzie historyczne dane empiryczne są podstawą do oszacowania parametrów struktury stochastycznej. Do opracowania prognoz wytypowano 9 modeli elementarnych (adaptacyjnych), 12 modeli wygładzania wykładniczego, model liniowy i linearyzowany oraz modele autoregresyjne.

Na podstawie przeprowadzonych rozważań sformułowano cel pracy (rozdział 7) - analizę statystyki wypadków przy pracy w wybranych kopalniach węgla kamiennego na podstawie oficjalnych danych statystycznych oraz przewidywanie wypadkowości na podstawie wybranych modeli prognostycznych.

W rozdziale ósmym przedstawiono analizy wypadkowości: bezwzględną i wskaźnikową dla wybranych kopalń z wykorzystaniem danych Wyższego Urzędu Górniczego z lat 2007–2018. Analizę wskaźnikową opracowano w oparciu o wybrane następujące wskaźniki:

- częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych W_Z ,
- częstości wypadków ogółem na 100 tys. roboczodniówek W_D ,
- ciężkości wypadków na 1 poszkodowanego C_W ,
- ryzyka wypadków W_R ,
- częstości wypadków na 1 mln Mg wydobycia W_T ,

W oparciu o wskaźnik częstości wypadków ogółem na 1000 zatrudnionych porównano poziom bezpieczeństwa pracy w wybranych kopalniach po zsumowaniu danych dla załóg własnych i firm usługowych. W latach 2007 - 2011 najwyższymi spośród porównywanych zakładów górniczych i relatywnie wysokimi wskaźnikami częstości wypadków ogółem W_Z odznaczała się KWK „Budryk”, w latach 2012 – 2014 - KWK „Mysłowice-Wesoła”, a pozostałych latach - ZG „Brzeszcze”.

Rozdziały dziewiąty i dziesiąty dotyczyły prognozowania wypadkowości w wybranych kopalniach przeprowadzonego w oparciu o 25 modeli opisanych w rozdziale 6:

1. Model metody naiwnej w ujęciu addytywnym dla szeregu czasowego z tendencją rozwojową.
2. Model metody naiwnej w ujęciu multiplikatywnym dla szeregu czasowego z tendencją rozwojową.
3. Model średniej ruchomej zwykłej.

4. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k=2$).
5. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu czasowego kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k=3$).
6. Model średniej ruchomej ważonej dla czasowego szeregu kształtującego się wokół wartości stałej (przeciętnej) ($k=3$).
7. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k=2$).
8. Model średniej ruchomej prostej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k=3$).
9. Model średniej ruchomej ważonej dla szeregu kształtującego się wokół tendencji rozwojowej ($k=3$).
10. Prosty model wygładzania wykładniczego (dla różnych mechanizmów rozruchu).
11. Model pojedynczego wygładzania wykładniczego (Browna).
12. Model wykładniczo-autoregresyjny ($k=3$).
13. Model wykładniczo-autoregresyjny ($k=2$).
14. Model liniowy Holta z trendem addytywnym (dla różnych mechanizmów rozruchu).
15. Model liniowy Holta z trendem multiplikatywnym (dla różnych mechanizmów rozruchu).
16. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu addytywnego (dla różnych mechanizmów rozruchu).
17. Model liniowy Holta z efektem wygaszania trendu multiplikatywnego (dla różnych mechanizmów rozruchu).
18. Model kwadratowy Holta w formule addytywnej (dla różnych mechanizmów rozruchu).
19. Metoda podwójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu liniowego.
20. Metoda potrójnego wygładzania wykładniczego Browna dla modelu kwadratowego.
21. Zaawansowany model wykładniczo-autoregresyjny.
22. Model trendu pełzającego – prognozowanie metodą wag harmoniczných.
23. Prognoza oparta na modelu liniowym.
24. Prognoza oparta na modelu nieliniowym – linearyzowanym.
25. Modele autoregresyjne AR.

Implementację algorytmów przedstawionych modeli i związane z nimi obliczenia przeprowadzono w arkuszu kalkulacyjnym Excel z wykorzystaniem wbudowanych funkcji, narzędzi analizy danych oraz narzędzia optymalizacyjnego. Oceny jakości prognoz dokonano w oparciu o następujące kryteria:

- K1: Wartość błędu prognoz wygasłych Ψ (wzór 6.3) dla szeregu ujmującego dane empiryczne z lat 2007-2016.
- K2: Wartość błędu prognoz wygasłych Ψ (wzór 6.3) dla szeregu ujmującego dane empiryczne z lat 2007-2018.
- K3: Wartość błędu prognoz wygasłych Ψ (wzór 6.3) dla szeregu ujmującego dane empiryczne z lat 2017-2018.
- K4: Wartość współczynnika zmienności losowej Ve (wzór 6.54) dla prognoz wygasłych z lat 2007-2016, przy czym dla wszystkich prognoz z wyjątkiem modeli liniowych i linearyzowanych w oszacowaniu jego wartości wykorzystano błąd $RMSE^*$.
- K5: Wartość współczynnika zmienności losowej Ve (wzór 6.54) 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, dzieląc dla każdego kryterium różnicę danej wartości i średniej z wszystkich wykorzystanych prognoz przez wartość odchylenia standardowego.

W sumarycznej ocenie prognozy zastosowano metodę scoringową przyjmując następujące wagi:

- dla kryterium K1 i K2 – wagi po 10%;
- dla kryterium K3 i K4 – wagi po 20%;
- dla kryterium K5 – waga 40%.

W prognozowaniu rozważanych wypadków ogółem i wskaźnika W_z nie można znaleźć jednej uniwersalnej metody prognostycznej. Dobrze sprawdzają się metody wag harmonicznych i modele autoregresyjne AR . W załączniku 2 zamieszczono algorytmy dla 25 metod prognozowania. Po wprowadzeniu danych i niewielkich korektach parametrów można w arkuszu „Zestawienie kryteriów” znaleźć modele o najlepszej dobroci dopasowania.

Ostatni rozdział dotyczy sformułowanych wniosków na podstawie przeprowadzonej analizy bezwzględnej i wskaźnikowej, a także opracowanych prognoz wypadkowości w wybranych kopalniach. W prognozowaniu rozważanych wypadków ogółem i wskaźnika W_z nie można znaleźć jednej uniwersalnej metody prognostycznej. Dobrze sprawdzają się metody wag harmonicznych i modele autoregresyjne. W pracy rekomendowano modele o najlepszej dobroci dopasowania.

SUMMARY

Poland is one of the main coal producing countries in Europe (63·10⁶ Mg in 2018, i.e. about 1% of the global supply and 83.5% of the EU supply) with 76,697 employees involved in coal mining tasks. Over recent 28 years (1990 to 2018), a remarkable reduction in the number of accidents has been observed which results from e.g. a decreased level of coal mining and employment in coal mines as well as from restructuring processes. The overall number of accidents was 16,515 in 1990; it dropped to 2896 cases in 2000 and, further, to 1372 accidents in 2018. Over this period, a nearly fivefold reduction in the fatal accident number and a nine-fold decrease in the number of serious accidents were reported (SMA 1990 to 2018). The overall accident incidence rate per 1000 persons employed in the coal mining industry between 2007 and 2017 ranged from 18.30 to 21.98 and the overall rate per 10⁶ Mg yield ranged from 22.25 to 30.85. Based on the Statistics Poland data as well as the absolute and ratio analyses of accidents, a ranking list was developed where the “mining industry” is placed in a higher work accident risk group along with the “construction industry” as well as the “agriculture, forest, hunting and fishing sectors”. Specific characteristics of the mining industry are group accidents and disasters. Regarding these accident categories over the period of 2009 to 2018, the largest number of fatal accidents (24 workers) was reported in 2009, of serious accidents (29 victims) – in the same year and of minor accidents (86 victims) – in 2013.

At the beginning of the dissertation, selected representatives of the largest coal mining companies (), complex and simple (multi- and single-part) coal mines as well as plants that underwent ownership transformation are described.

Three following coal mines were selected to study:

- *KWK Mysłowice-Wesoła*: belongs to Polska Grupa Górnicza S.A., the largest coal producer in Poland and Europe (established as a result of fusion of, among others, *Kompania Węglowa S.A.* and *Katowicki Holding Węglowy S.A.*); currently a single-part mining plant with highly intensive natural hazards
- *KWK Budryk*: belongs to *Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.*, i.e. the major producer of steam coal in Poland and Europe; a clear model of a new single-part coal mine and the youngest new mining plant in Poland (being constructed between 1978 and 1994); a modern mine with a development potential; highly intensive natural hazards

- *ZG Brzeszcze* – belongs to *Tauron Wydobycie S.A.*, i.e. an energy and mining concern; large restructuring processes (e.g. an independent coal mine, *Nadwiślańska Spółka Węglowa S.A.*, *Kompania Węglowa S.A.*, a mine being shut down); a modern mining plant with a development potential (level 900 m under construction); currently a single-part mine; highly intensive natural hazards

In the next chapter, legal bases regarding accidents at work are described. The subjects of analysis were selected occupational accidents (events at work, accidents of non-employees, accidents on the way to and from work) in the light of legal bases that define basic terminology and procedures for determining circumstances and reasons of an accident (accident protocol), e.g. when an event is deemed an accident, how to document accidents and how to award accident insurance benefits due to an accident at work.

Chapter 4 focuses on classifications of hazards and analyses of accidents at work where selected classifications of hazards and risks in the work environment (including specificity of coal mining industry) in the light of legal bases and source literature are analyzed. Moreover, the principles of accident at work statistic analysis (absolute, ratio, by-kind analyses) and classifications of accident rates in the coal mining industry (incidence rates, severity rates, risk rates) were analysed. Also, the principles of accident at work statistic analysis, classifications of retrospective analysis and its substantial description based on the absolute, ratio, by-kind and correlation analyses are presented. Accident rates are discussed regarding the mining industry, based on the following criteria: time, structure, statistical analysis (rates of structure, intensity and dynamics), accident rate analysis (rates of incidence, severity and risk).

The next chapter contains a description of the prognostic process where the basis, aim, function, methods and the horizon of prognosis are considered. Furthermore, the stages of prognosis mechanism and the measures of prognosis accuracy are discussed in detail because a complex process of decision-making includes several stages and should follow a pre-defined procedure. The most important stages are as follow: identification of a decision-making situation, designing selected variants, assessment of the variants being designed and, eventually, selection of one of the developed variants according to the assumed criteria. The final stage includes implementation of the specific decision and control of its effects.

In Chapter 6, selected prognostic models (a total of 25 model types) are presented in accordance with the process of future prediction and assessment that, according to the prognosis theory, is based on theoretical research, analytical considerations, logical

backgrounds and practical experience where quantitative, statistics-related methods, probability mathematics and models being built are applied. The models selected describe quantitative relationships between ex-post variables where historical empirical data are the basis for estimation of stochastic parameters. To develop prognoses, 9 elementary (adaptive) models, 12 models of exponential smoothing, a linear model, a linearized model as well as the autoregressive model were selected.

Based on the considerations, the dissertation objective was formulated: the analysis of accidents at work statistics in selected coal mines based on official statistic data and accident predictions using selected prognostic models.

The analysis of accidents at work statistics in the selected coal mines has been conducted in Chapter 8 based on the statistical data gathered regarding accident rates in *KWK Mysłowice-Wesola*, *KWK Budryk* and *ZG Brzeszcze*, according to statistical data of the State Mining Authority from the period between 2007 and 2018. The analysis of above data is presented as the absolute and ratio analyses for each mining plant. The ratio analysis was developed based on the following rates:

- the overall accident incidence rate per 1000 employees W_Z
- the overall accident incidence rate per 100 thousand working days W_D
- the accident severity rate per 1 injured person C_W
- the accident risk rate W_R
- the accident incidence rate per 1 million Mg mining yield W_T

Based on the overall accident incidence rate per 1000 employees, *Mysłowice-Wesola*, *Budryk* and *Brzeszcze* coal mines were compared in terms of occupational safety, having summarized data for the mine and service companies employees. Between 2007 and 2011, the highest (and relatively high) overall accident incidence rates among the mines being compared were those for *KWK Budryk*. In 2012–2014, the highest rates were found for *KWK Mysłowice-Wesola*, while during the other years – for *ZG Brzeszcze*.

The ninth and tenth chapter, refers to prognosis of accidents in selected coal mines based on 25 models as described in Chapter 6:

1. A model of naive method with the additive aspect for the time series with a development trend.
2. A model of naive method with the multiplicative aspect for the time series with a development trend.
3. A model of simple moving average.

4. A model of simple moving average for the time series shaping around a constant value (average) ($k=2$).
5. A model of simple moving average for the time series shaping around a constant value (average) ($k=3$).
6. A model of weighted moving average for the time series shaping around a constant value (average) ($k=3$).
7. A model of simple moving average for the time series shaping around a development trend ($k=2$).
8. A model of simple moving average for the time series shaping around a development trend ($k=3$).
9. A model of weighted moving average for the time series shaping around a development trend ($k=3$).
10. A model of simple exponential smoothing (for various starting mechanisms).
11. A model of single exponential smoothing (Brown's model).
12. A model of exponential autoregression ($k=3$).
13. A model of exponential autoregression ($k=2$).
14. Holt's linear model with the additive trend (for various starting mechanisms).
15. Holt's linear model with the multiplicative trend (for various starting mechanisms).
16. Holt's linear model with the effect of additive trend damping (for various starting mechanisms).
17. Holt's linear model with the effect of multiplicative trend damping (for various starting mechanisms).
18. Holt's quadratic model in the additive formula (for various starting mechanisms).
19. A method of Brown's double exponential smoothing for the linear model.
20. A method of Brown's triple exponential smoothing for the quadratic model.
21. An advanced model of exponential autoregression.
22. A model of creeping trend – prognosis using the method of harmonic weights.
23. Prognosis based on the linear model.
24. Prognosis based on the nonlinear model – linearization.
25. Autoregressive (AR) models.

Implementation of the algorithms of above models and related calculations were performed in the Excel program using its built-in functions, data analysis tools and the optimization tool. To achieve a maximum objective assessment of prognoses quality, it was based on the following criteria:

- K1: Ex-post error Ψ (equation 6.3) for the series with empirical data from the years 2007 to 2016.
- K2: Ex-post error Ψ (equation 6.3) for the series with empirical data from the years 2007 to 2018.
- K3: Ex-post error Ψ (equation 6.3) for the series with empirical data from the years 2017 to 2018.
- K4: The coefficient of variation for random variables Ve (equation 6.54) for ex-post prognoses regarding the years 2007 to 2016; except the linear and linearized models, the coefficients for all prognoses were estimated using the RMSE* value.
- K5: The coefficient of variation for random variables Ve (equation 6.54) for ex-post prognoses regarding the years 2007 to 2018; except the linear and linearized models, the coefficients for all prognoses were estimated using the RMSE* value.

All values of the errors and coefficients were standardized by dividing the result of subtraction of a specific value and the mean of all applied prognoses by the standard deviation value for each criterion.

For the summary assessment of a specific prognosis, the scoring method was used with the following weights:

- K1 and K2 criteria – 10% each
- K3 and K4 criteria – 20% each
- K5 criterion – 40%

In forecasting the total accidents considered and the W_z indicator, one universal forecasting method cannot be found. A model of creeping trend – prognosis using the method of harmonic weights and autoregressive AR model work well. Annex 2 contains algorithms for 25 forecasting methods. After entering the data and making small adjustments to the parameters, you can find the models with the best fit goodness in the "Criteria summary" sheet.

The last chapter concerns the formulated conclusions on the basis of the absolute and ratio analysis as well as the developed accident forecasts in selected mines. There is no universal prognostic method in forecasting the considered accidents in total and the W_z ratio. Harmonic balance methods and autoregressive models work well. On the basis of the conducted research, they were recommended models with the best goodness of fit.

Załącznik 1

Zestawienie sumaryczne danych o wypadkowości dla załogi własnej i firm usługowych w rozważanych kopalniach (tablice: 8.1.3, 8.2.3 i 8.3.3)

Tablica 8.1.3. Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, KWK „Mysłowice-Wesoła” załoga własna i firmy usługowe (WUG 2007-2018)

<i>t</i>	Rok	Wypadki				Liczba zatrudnionych
		ogółem	śmiertelne	ciężkie	lekkie	
	<i>t</i>	<i>W</i>	<i>W_s</i>	<i>W_c</i>	<i>W_l</i>	<i>Z</i>
1	2007	130	2	0	128	6 462
2	2008	110	3	0	107	6 696
3	2009	128	3	1	124	6 453
4	2010	114	0	1	113	6 432
5	2011	105	0	0	105	6 780
6	2012	133	2	1	130	6 938
7	2013	125	3	1	121	6 731
8	2014	148	7	15	126	6 727
9	2015	114	1	0	113	6 232
10	2016	104	0	0	104	5 842
11	2017	128	2	0	126	5 092
12	2018	107	1	2	104	5 020

Tablica 8.2.3. Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości, KWK „Budryk” załoga własna i firmy usługowe (WUG 2007-2018)

<i>t</i>	Rok	Wypadki				Liczba zatrudnionych
		ogółem	śmiertelne	ciężkie	lekkie	
	<i>t</i>	<i>W</i>	<i>W_s</i>	<i>W_c</i>	<i>W_l</i>	<i>Z</i>
1	2007	108	1	1	106	3 421
2	2008	90	0	0	90	3 337
3	2009	116	0	0	116	3 241
4	2010	121	1	0	120	3 408
5	2011	125	1	1	123	3 985
6	2012	87	0	0	87	6 051
7	2013	81	1	1	79	4 711
8	2014	69	0	0	69	5 698
9	2015	68	0	0	68	4 803
10	2016	74	1	0	73	4 853
11	2017	79	1	1	77	5 408
12	2018	104	0	0	104	6 174

Tablica 8.3.3. Dane do analizy bezwzględnej wypadkowości,
ZG „Brzeszcze” załoga własna i firmy usługowe
(WUG 2007-2018)

<i>t</i>	Rok	Wypadki				Liczba zatrudnionych <i>Z</i>
		ogółem <i>W</i>	śmiertelne <i>W_s</i>	ciężkie <i>W_c</i>	lekkie <i>W_l</i>	
	<i>t</i>	<i>W</i>	<i>W_s</i>	<i>W_c</i>	<i>W_l</i>	<i>Z</i>
1	2007	92	0	1	91	4 250
2	2008	88	0	1	87	4 201
3	2009	106	0	0	106	4 308
4	2010	100	0	0	100	3 295
5	2011	63	0	0	63	3 355
6	2012	59	0	0	59	3 526
7	2013	51	0	0	51	2 715
8	2014	48	0	0	48	2 315
9	2015	42	0	0	42	1 658
10	2016	49	1	0	48	1 860
11	2017	75	0	0	75	2 877
12	2018	53	0	1	52	3 407

Załącznik 2

Pliki z wynikami modelowania w programie Excel

Spis plików (CD):

1. Wesola załoga Modele
2. Wesola firmy Modele
3. Wesola załoga Wskaźnik Wz
4. Budryk załoga Modele
5. Budryk firmy Modele
6. Budryk załoga Wskaźnik Wz
7. Brzeszcze załoga Modele
8. Brzeszcze firmy Modele
9. Brzeszcze załoga Wskaźnik Wz