

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

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 wydobywania 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 harmonicznycch 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 harmonicznycch i modele autoregresyjne. W pracy rekomendowano modele o najlepszej dobroci dopasowania.