ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: GÓRNICTWO z. 279 Nr kol. 1764

Zdeněk BOHÁČ, CSc., Vysoká Škola Báňská - Technická Univerzita Ostrava, Ostrava
Hana DOLEŽALOVÁ, Institute of Geonics of the AS CR, v.v.i., Ostrava
Marcin KRAUSE, Politechnika Śląska, Gliwice

ZASTOSOWANIE WSKAŹNIKÓW WYPADKOWOŚCI DO OCENY RYZYKA WYPADKOWEGO W GÓRNICTWIE

Streszczenie. Opracowanie podejmuje aktualną obecnie problematykę oceny ryzyka zawodowego, której istotnym elementem jest ryzyko wystąpienia wypadków przy pracy. Artykuł ten przedstawia podstawowe założenia statystycznej analizy wypadków przy pracy, kryteria analizy bezwzględnej, rodzajowej i wskaźnikowej, klasyfikację podstawowych miar i wskaźników, wskaźniki struktury i dynamiki, przegląd wskaźników natężenia dla potrzeb oceny ryzyka wypadkowego w górnictwie.

APPLICATION OF INDEXES OF RATE ACCIDENT FOR ACCIDENTAL RISK ASSESSMENT IN MINING

Summary. The elaboration presents current problems of occupational risk evaluation, which one of essential elements is risk of occurrence of accidents at work. The article presents main foundations of statistical analysis of accidents at work, criterions of absolute, relative and indexed analysis, classifications of main measures and indexes, indexes of structure and dynamics, review of indexes of intensity for need of accidental risk assessment in mining.

1. Wprowadzenie

Poziom stanu bezpieczeństwa i higieny pracy wyznaczany jest za pomocą różnych miar służących do określania wielkości i charakteru ryzyka związanego ze środowiskiem pracy, które mają generalnie postać wskaźników lub charakter probabilistyczny [3,4,5,6,11].

Do oceny ryzyka wykorzystuje się coraz częściej teorię podejmowania decyzji, dlatego do analizy stanu bezpieczeństwa i higieny pracy w przedsiębiorstwie, podobnie jak np. do dziedziny organizacji i zarządzania, stosowane są także ***metody eksperckie***, wykorzystujące

np. opinię grupowej oceny ekspertów do identyfikacji zagrożeń i szacowania ryzyka oraz ***metody taksonomiczne***, umożliwiające np. porównanie ocenianych obiektów i cech za pomocą jednej zmiennej zagregowanej, zwanej także zmienną syntetyczną [1,2,3,5,6,9,13].

Analizę wypadków można przeprowadzać w trzech podstawowych formach:

- ✓ ***analiza bezwzględna*** – oparta na porównaniu ilości określonych zdarzeń, np. według ciężkości skutków (wypadki śmiertelne, ciężkie, pozostałe);
- ✓ ***analiza rodzajowa*** – oparta na porównaniu zdarzeń według określonych kryteriów, np. przyczyn zdarzenia, miejsca zaistnienia, charakterystyki poszkodowanego;
- ✓ ***analiza wskaźnikowa*** – oparta na porównaniu zdarzeń według określonych wskaźników charakteryzujących badane zjawiska, np. wskaźniki struktury, natężenia, dynamiki.

Analiza bezwzględna wypadkowości obejmuje podział według:

- ✓ ilości poszkodowanych – wypadek indywidualny i zbiorowy;
- ✓ ciężkości skutków – wypadek śmiertelny, ciężki i powodujący czasową niezdolność do pracy, zwany często w praktyce jako wypadek pozostały lub lekki.

Analiza rodzajowa wypadkowości obejmuje następujące grupy kryteriów:

- ✓ opis miejsca wypadku, np. rodzaj miejsca powstania wypadku, komórka organizacyjna (np. dział, oddział) i stanowisko pracy, w których doszło do wypadku;
- ✓ opis czasu wypadku, np. dzień miesiąca, dzień tygodnia i godzina zaistnienia wypadku, przepracowane godziny od rozpoczęcia pracy do zaistnienia wypadku;
- ✓ opis przyczyn wypadku, np. przyczyny bezpośrednie i pośrednie zaistnienia wypadku (techniczne, organizacyjne, ludzkie), wydarzenie (zdarzenie niebezpieczne) powodujące wypadek, czynniki (zagrożenie) i źródła czynników powodujących wypadek;
- ✓ opis poszkodowanego, np. zawód wykonywany (kwalifikacje zawodowe), czynności wykonywane przez poszkodowanego, staż pracy i wiek poszkodowanego, umiejscowienie uszczerbku na zdrowiu (charakter i miejsce obrażeń poszkodowanego).

Analiza wskaźnikowa wypadkowości może być dokonywana według:

- ✓ wskaźników częstości (częstotliwości) wypadków, najczęściej w przeliczeniu na ilość zatrudnionych, roboczodniówek, roboczogodzin lub wielkość produkcji;
- ✓ wskaźnika ciężkości wypadków, najczęściej jako stosunku ilości dniówek straconych wskutek wypadków do ilości poszkodowanych wskutek wypadków;
- ✓ wskaźnika zagregowanego, najczęściej jako iloczynu wskaźnika częstości wypadków w przeliczeniu na ilość zatrudnionych i wskaźnika ciężkości wypadków.

Analizę wypadków można przeprowadzać przez obliczenie wskaźników dla wszystkich wypadków, dla określonych kategorii ciężkości wypadków lub dla poszczególnych grup wypadków podzielonych według różnych kryteriów analizy rodzajowej.

Określenie wypadkowości jako wysokiej, średniej lub niskiej może być dokonywane na podstawie analizy następujących informacji:

- ✓ analiza zmian wartości wskaźników w przyjętym okresie czasu odniesienia, m.in. miesiąc, kwartał, półrocze, rok lub większy okres (np. 3, 5 lub 10 lat);
- ✓ analiza zmian wartości wskaźników w stosunku do przyjętego obiektu odniesienia, m. in. określonej branży, sekcji działalności, rodzaju działalności, zgrupowania przedsiębiorstw, innego przedsiębiorstwa lub zakładu pracy.

W przypadku analizy bezwzględnej i rodzajowej wykorzystuje się niektóre kryteria analizy struktury i dynamiki wypadków przy pracy, a z kolei analiza wskaźnikowa obejmuje na ogół tylko kilka wybranych wskaźników natężenia wypadkowości, głównie wskaźnik częstości W_Z i wskaźnik ciężkości C [4,7,8,10,11,12].

2. Klasyfikacja miar i wskaźników

Punktem wyjścia analizy porównawczej jest opis statystyczny dokonany za pomocą ***miar,*** zwanych także ***charakterystykami***, które umożliwiają przeprowadzanie analizy struktury zjawisk masowych. Charakterystyki opisowe pozwalają w sposób syntetyczny określać własności badanych rozkładów oraz dokonać porównania określonych zbiorowości.

Klasyczny podział miar wyróżnia cztery charakterystyczne grupy:

- ✓ ***miary położenia (średnie, przeciętne)***, odpowiadające na pytanie, jaki przeciętny rozmiar przybiera wyróżniona cecha w zbiorowości, np. mediana, średnia arytmetyczna;
- ✓ ***miary zmienności (zróżnicowania, rozproszenia)***, służące do opisu stopnia zróżnicowania zbiorowości pod względem wyróżnionej cechy, np. rozstęp, odchylenie standardowe;
- ✓ ***miary asymetrii***, charakteryzujące równomierność położenia obserwacji po obu stronach szeregu w stosunku do miary położenia, np. klasyczny współczynnik asymetrii;
- ✓ ***miary koncentracji***, określające stopień nierównomierności rozłożenia pewnej własności na poszczególne jednostki badanej zbiorowości, np. współczynnik koncentracji.

Przykładem miar będących kombinacjami różnych cech charakteryzujących badane zjawiska są ***wskaźniki***, zwane także ***indeksami***, a w teorii statystyki spotyka się wiele różnych klasyfikacji miar wskaźnikowych.

Ze względu na budowę wskaźników wyróżnia się ich dwa podstawowe rodzaje:

- ✓ ***wskaźniki proste (indywidualne)*** oparte na prostej kombinacji pomiędzy dwiema cechami badanego zjawiska, najczęściej w postaci stosunku dwóch badanych wielkości;
- ✓ ***wskaźniki agregatowe (zespołowe)*** wykorzystujące różnego rodzaju kombinacje wskaźników prostych i funkcji agregujących, np. w postaci sumy lub iloczynu kilku cech charakteryzujących badane zjawisko.

Ze względu na analizę zjawisk w czasie można wyróżnić dwa rodzaje wskaźników:

- ✓ ***wskaźniki retrospektywne***, charakteryzujące badane zjawiska na podstawie zdarzeń zaistniałych w przeszłości; służą do odtwarzania uwarunkowań i przyczyn tego, co już się stało w określonych warunkach;
- ✓ ***wskaźniki prospektywne***, charakteryzujące badane zjawiska za pomocą prognozowania zdarzeń w przyszłości; służą do przewidywania uwarunkowań i przyczyn tego, co może się zdarzyć w określonych warunkach.

Najpopularniejszy podział wskaźników wyróżnia trzy podstawowe grupy:

- ✓ ***wskaźniki struktury*** określające za pomocą liczby względnej stosunek części zbiorowości do całej zbiorowości, wyrażone często w procentach lub promilach, np. wskaźnik struktury zdarzeń WS:

$$\mathbf{WS} = \frac{\mathbf{N_i}}{\mathbf{N}} \text{ lub } \mathbf{WS} = \frac{\mathbf{N_i}}{\mathbf{N}} \cdot \mathbf{100\%}, \tag{1}$$

gdzie: N_i – liczba zdarzeń określonego rodzaju,

N – liczba wszystkich zdarzeń;

- ✓ ***wskaźniki natężenia*** ilustrujące nasilenie badanego zjawiska przez utworzenie stosunku dwóch wielkości, które są logicznie ze sobą powiązane, czyli wyrażenie jednej wielkości w jednostkach innej wielkości, będącej dla pierwszej punktem odniesienia, np. wskaźnik częstości zdarzeń WN:

$$\mathbf{WN} = \frac{\mathbf{N_i}}{\mathbf{N_n}} \cdot \mathbf{10^n} \text{ lub } \mathbf{WN} = \frac{\mathbf{N_i}}{\mathbf{N_t}} \cdot \mathbf{10^n}, \tag{2}$$

gdzie: N_i – liczba zdarzeń określonego rodzaju,

N_n – wielkość populacji osób narażonych,

N_t – czas narażenia, np. godziny, dni, miesiące, lata,

n – współczynnik całkowity zależny od rodzaju wskaźnika, najczęściej od 1 do 6;

✓ ***wskaźniki dynamiki*** opisujące rozwój badanego zjawiska w czasie przez utworzenie stosunku pomiędzy wielkością określającą badane zjawisko w okresie badanym (sprawozdawczym) i w okresie odniesienia (podstawowym, bazowym), np. wskaźnik dynamiki zdarzeń WD:

$$WD = \frac{N_b - N_o}{N_o} \text{ lub } WD = \frac{N_b - N_o}{N_o} \cdot 100\%, \tag{3}$$

gdzie: N_b – liczba zdarzeń w okresie badanym,

N_o – liczba zdarzeń w okresie odniesienia.

3. Wskaźniki charakteryzujące ryzyko wypadkowe w górnictwie

W pierwszej kolejności do oceny ryzyka należy zastosować analizę struktury badanych zjawisk, którą opisują wskaźniki struktury odniesione do przyjętego kryterium analizy (np. kategorie ciężkości wypadków, przyczyny powstania, miejsca powstania, wykonywane czynności, kwalifikacje zawodowe, staż pracy poszkodowanych) w określonej jednostce czasu (najczęściej w okresie 1 roku), np. wskaźnik struktury wypadków WS_W:

$$WS_W = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^{W} W_i} \cdot 100\%, \tag{4}$$

gdzie: W_i – liczba osób poszkodowanych w wypadkach i-tego rodzaju,

W – liczba osób poszkodowanych we wszystkich wypadkach.

Następnym etapem oceny ryzyka jest analiza nasilenia badanych zjawisk. W tym celu można wykorzystać trzy grupy wskaźników natężenia, tj. wskaźniki częstości wypadków ogółem lub dla poszczególnych kategorii ciężkości wypadków (śmiertelne, ciężkie, lekkie), które są obliczane w odniesieniu do liczby osób zatrudnionych, czasu zatrudnienia (roboczodniówki, roboczogodziny) lub wielkości produkcji, wskaźnik ciężkości wypadków, który jest obliczany najczęściej bez uwzględnienia wypadków śmiertelnych i inwalidzkich oraz wskaźnik zagregowany, który jest iloczynem wskaźnika ciężkości i częstości wypadków.

Przykładowe wskaźniki natężenia wypadków w górnictwie [4,7,8,10,11]:

✓ ***wskaźnik częstości wypadków ogółem W_Z*** lub ***wypadków śmiertelnych W_{ZS} przypadający na liczbę zatrudnionych***, np. średnia liczba wypadków ogółem na 1000 osób zatrudnionych lub wypadków śmiertelnych na 100 tys. osób zatrudnionych:

$$W_Z = \frac{W}{Z} \cdot 10^3 \text{ lub } W_{ZS} = \frac{W_S}{Z} \cdot 10^5; \quad (5)$$

✓ ***wskaźnik częstości wypadków ogółem przypadający na liczbę roboczodniówek W_D*** lub ***liczbę roboczogodzin W_G*** albo ***wypadków śmiertelnych na liczbę roboczogodzin W_{FAFR}*** (fatal accidents frequency rate), np. średnia liczba wypadków ogółem na 100 tys. przepracowanych dniówek lub 1 milion przepracowanych godzin albo średnia liczba wypadków śmiertelnych przypadająca na 100 milionów przepracowanych godzin:

$$W_D = \frac{W}{D} \cdot 10^5, \; W_G = \frac{W}{G} \cdot 10^6 \text{ lub } W_{FAFR} = \frac{W_S}{G} \cdot 10^8; \quad (6)$$

✓ ***wskaźnik częstości wypadków ogółem W_T*** lub ***wypadków śmiertelnych W_{TS} przypadający na umowną jednostkę produkcji***, np. średnia liczba wypadków na tony wydobycia:

$$W_T = \frac{W}{T} \cdot 10^6 \text{ lub } W_{TS} = \frac{W_S}{T} \cdot 10^6; \quad (7)$$

✓ ***wskaźnik ciężkości wypadków C***, który jest średnią liczbą dni niezdolności do pracy wskutek wypadków przypadającą na czas narażenia, np. na 1000 roboczodniówek lub na ilość poszkodowanych w wypadkach, np. 1 wypadek ogółem, bez lub z uwzględnianiem poszkodowanych w wypadkach śmiertelnych:

$$C = \frac{D_S}{W - W_S}, \; C = \frac{D_S}{D} \cdot 10^3, \; C = \frac{D_S + A \cdot W_S}{W} \text{ lub } C = \frac{D_S + A \cdot W_S + B \cdot W_I}{W}; \quad (8)$$

✓ ***uogólniony wskaźnik strat W_{US}*** (znany także w literaturze pod nazwą ***uogólniony wskaźnik prewencyjny*** lub ***prewencyjny wskaźnik wypadkowości***), który jest średnią liczbą dni niezdolności do pracy wskutek wypadków przypadającą na 1 zatrudnionego:

$$W_{US} = W_Z \cdot C \cdot 10^{-3} = \frac{W}{Z} \cdot 10^3 \cdot \frac{D_S}{W - W_S} \cdot 10^{-3} = \frac{D_S}{Z} \cdot \frac{W}{W - W_S} \approx \frac{D_S}{Z}, \quad (9)$$

gdzie: W – liczba osób poszkodowanych w wypadkach ogółem,

W_S – liczba osób poszkodowanych w wypadkach śmiertelnych,

Z – średnia liczba osób zatrudnionych/pracujących,

D – liczba przepracowanych dniówek (roboczodniówek),

G – liczba przepracowanych godzin (roboczogodzin),

G – liczba przepracowanych godzin (roboczogodzin),

T – liczba ton wydobycia wzbogaconego urobku,

D_S – liczba dniówek straconych wskutek wypadków,

A – parametr określający umowną liczbę dni straconych wskutek wypadku śmiertelnego,

B – parametr określający umowną liczbę dni straconych wskutek wypadku inwalidzkiego.

Ostatnim etapem oceny ryzyka jest analiza dynamiki zmian badanych zjawisk w czasie. W tym celu można zastosować wskaźniki dynamiki odniesione do przyjętego kryterium analizy (wynikającego z zastosowanych wskaźników struktury i natężenia) w określonym czasie odniesienia (najczęściej 1 rok poprzedzający analizę), np. wskaźnik dynamiki zmian struktury wypadków WD_{SW} i dynamiki zmian natężenia wypadków WD_{NW}:

$$WD_{SW} = \frac{WS_b - WS_o}{WS_o} \cdot 100\%, \tag{10}$$

$$WD_{NW} = \frac{WN_b - WN_o}{WN_o} \cdot 100\%, \tag{11}$$

gdzie: WS_b – wskaźnik struktury wypadków w okresie badanym,

WS_o – wskaźnik struktury wypadków w okresie odniesienia,

WN_b – wskaźnik natężenia wypadków w okresie badanym,

WN_o – wskaźnik natężenia wypadków w okresie odniesienia.

4. Podsumowanie

W celu dokonania oceny zróżnicowania ryzyka wystąpienia wypadków przy pracy należy objąć badaniami nie tylko porównanie roku bieżącego z rokiem poprzednim, ale okresy kilkuletnie, np. 3÷5 lat, według kryteriów analizy bezwzględnej, rodzajowej i wskaźnikowej.

Badania powinny dotyczyć nie tylko poziomu kopalni czy zgrupowania kopalń, ale także należy ją pogłębić w stosunku do jednostek organizacyjnych kopalni, np. pionów, działów, oddziałów oraz w odniesieniu do miejsc wykonywania pracy, np. wyrobisk i stanowisk pracy.

W zależności od przyjętych kryteriów analizy wypadków przy pracy wyniki rankingów zakładów górniczych i ich jednostek organizacyjnych mogą wykazywać większe lub mniejsze zróżnicowanie, np. w zależności od zastosowania:

- ✓ dwóch podstawowych wielkości charakteryzujących skutki wypadków przy pracy (liczba poszkodowanych w wypadkach W i liczba dniówek straconych D_S);

- ✓ dwóch podstawowych wskaźników charakteryzujących nasilenie wypadków przy pracy (wskaźnik częstości wypadków na 1000 osób W_Z i wskaźnik ciężkości wypadków C);
- ✓ innych wskaźników charakteryzujących wypadki przy pracy (np. wskaźnik częstości wypadków na 100 tys. roboczodniówek W_D, wskaźnik częstości wypadków na milion ton wydobycia W_T, wskaźnik uogólnionych strat W_{US}).

LITERATURA

1. Kowalik S.: Podejmowanie decyzji w górnictwie w warunkach niepewności. Monografia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 228, Gliwice 1996.
2. Kozdrój M., Przybyła H.: Modele matematyczne w organizacji produkcji górniczej. Skrypty Uczelniane Politechniki Śląskiej, nr 1272, Gliwice 1986.
3. Krause M.: Określenie zróżnicowania ryzyka zagrożenia bezpieczeństwa pracowników dołowych w kopalni węgla kamiennego. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 2002.
4. Krause M.: Wykorzystanie statystycznej analizy wypadków przy pracy w ocenie ryzyka zawodowego w kopalni. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 2004, nr 3, s. 27-32.
5. Krzemień S.: Teoretyczne podstawy określania miar stanu zagrożenia bezpieczeństwa w wyrobiskach górniczych. Monografia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 204, Gliwice 1992.
6. Mocek P.: Ocena ryzyka powstawania chorób zawodowych u pracowników zatrudnionych w wyrobiskach podziemnych kopalni węgla. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 2002.
7. Parchański J.: Wskaźnikowa metoda oceny ryzyka wypadkowego [w:] Krajowa i międzynarodowa współpraca pomiędzy związkowcami i pracodawcami na rzecz bezpieczeństwa i higieny pracy oraz bezpieczeństwa środowiskowego. Polsko-Amerykańskie Stowarzyszenie na rzecz BHP, Sosnowiec, 19-20 luty 2001r.
8. Rydlewski J.: Uogólniony wskaźnik prewencyjny jako miernik stanu bezpieczeństwa pracy. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 2003, nr 7, s. 28-30.
9. Steczkowski J., Zeliaś A.: Metody statystyczne w badaniu zjawisk jakościowych. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Kraków 1997.
10. Studenski R.: Co mierzyć: wypadkowość czy bezpieczeństwo? Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 1992, nr 1, str. 18-22.
11. Studenski R.: Organizacja bezpiecznej pracy w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1996.
12. Zacharzewski J., Rydlewski J.: Wypadki przy pracy w polskich kopalniach węgla kamiennego w latach 1945-1995 i programowanie kierunków ich profilaktyki. Wydawnictwa AGH, Rozprawy, monografie, nr 53, Kraków 1996.
13. Zeliaś A. (red.): Statystyczne metody oceny ryzyka w działalności gospodarczej. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Kraków 1998.

Recenzent: Dr hab. inż. Stanisław Kowalik, prof. nzw. w Pol. Śl.