

Henryk PRZYBYŁA, Zygmunt KORBAN
Politechnika Śląska, Gliwice

WYBRANE METODY MATEMATYCZNE W ANALIZIE I OCENIE RYZYKA ZAWODOWEGO

Streszczenie. Niniejszy artykuł stanowi wprowadzenie do problematyki szerszego zastosowania modeli matematycznych do analizy i oceny ryzyka zawodowego poprzez wykorzystanie elementów rachunku prawdopodobieństwa (twierdzenie o prawdopodobieństwie hipotez - wzór Bayesa) oraz teorii grafów i sieci.

SELECTED MATHEMATICAL METHODS IN ANALYSIS AND EVALUATION OF OCCUPATIONAL HAZARD

Summary. This paper is introductory to broader application of mathematical models for analysis and evaluation of occupational hazard by using probability mathematics (Baye's Theorem) and graph and network theory.

1. Wprowadzenie do tematu

Współczesność ma to do siebie, że stawia coraz wyższe wymagania i to wszystkim, tzn. tym, którzy kierują i tym, którzy poddani są woli kierujących. W tej nowej sytuacji nie wystarczy być skutecznym i efektywnym – należy być przyjaznym względem innych, a to, co robimy musi być przyjazne dla otoczenia. W praktyce oznacza to, że tych, którym przekazujemy efekty naszej pracy, traktować należy jako odbiorców – klientów. Nasza praca, nasze zachowanie nie mogą nikogo narażać na ryzyko, a efekt naszej pracy musi być przyjazny dla środowiska. W teorii zarządzania podkreśla się, że to, co robimy musi uzyskać akceptację:

✓ ekonomisty (skuteczność, efektywność, bezpieczeństwo),

- ✓ ekologa (wpływ na otoczenie),
- ✓ socjologa (wpływ na współpracowników).

W tym aspekcie coraz częściej mówi się o zarządzaniu ryzykiem, które ma wymiary: ekonomiczny (koszty narażeń w sytuacjach ryzykownych, koszty ubezpieczeń itd.), społeczny (narażenia, inwalidztwo, zgon), psychologiczny (coraz niższy akceptowany poziom ryzyka).

Zarządzanie jako takie można definiować między innymi:

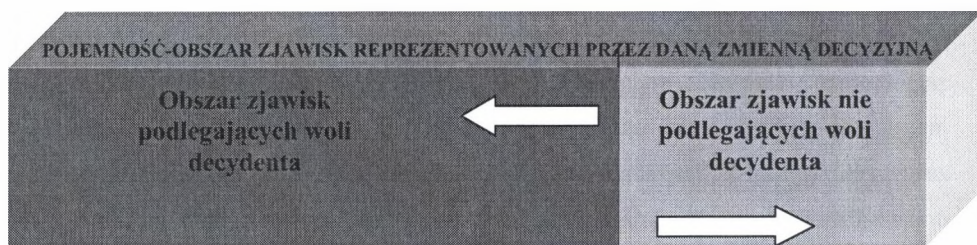
- ✓ poprzez jego funkcje – planowanie, organizowanie, motywowanie, kontrolę;
- ✓ jako sekwencyjny proces podejmowania decyzji – wybory najkorzystniejszych rozwiązań (wybór ze zbioru dopuszczalnych w danych warunkach rozwiązań przy wcześniej ustalonym kryterium wyboru);
- ✓ poprzez kierowanie, czyli powodowanie, aby kierowani zachowywali się zgodnie z wolą kierującego.

Autorzy opracowania nie negując innych definicji, ani nie umniejszając ich roli, w odniesieniu do ryzyka preferują zarządzanie wyrażane przez jego funkcje. Wynika to z faktu, że dwie pierwsze funkcje realizowane są tak naprawdę w umysłach planujących i organizujących pracę. Na tym etapie istnieją największy zakres swobody i największe możliwości efektywnego oddziaływania na prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzeń niekorzystnych, strat z tytułu uaktywnienia się tych zdarzeń, jak również rozwoju – projekcji zdarzeń niekorzystnych. Wiedza, doświadczenie, intuicja, wola i możliwości planujących to atuty, które decydują o wyniku gry z naturą, a taką grę prowadzą górnicy. W przekonaniu autorów planowanie scenariuszowe wzbogacone drzewami zdarzeń i metodami prognozowania prawdopodobieństw zdarzeń niekorzystnych (w tym szczególnie zdarzeń – zagrożeń skojarzonych), miejsca i intensywności ich występowania wymagają dalszych prac, analiz dla dobra górników i górnictwa. W prezentowanym referacie sygnalizujemy jedynie problemy i te metody, które mogą, a zdaniem autorów wzbogacają naszą wiedzę o ryzyku i jego możliwych skutkach.

Zobowiązani jesteśmy również do tego, ażeby dodać, iż teoretycy piszą i mówią, a ich wypowiedzi potwierdza praktyka, że zapobieganie jest trzykrotnie tańsze od usuwania skutków zagrożeń. Zapobiegać tak naprawdę możemy na etapie planowania i organizowania procesów. Nasza uwaga powinna skupić się na zbiorze zmiennych decyzyjnych*, a w szczególności tych, które posiadają największe obszary zmienności – obszar decyzyjny może stanowić pełny zakres zmienności lub być tylko jego częścią (miarę zmienności może

* Zmienne decyzyjne to te zmienne, na które ma wpływ osoba zarządzająca.

stanowiąc rozstęp, tj. różnica pomiędzy maksymalną i minimalną wartością w rozpatrywanej zbiorowości) – rys.1.



Rys. 1 Relacja pomiędzy pojemnością a obszarem decyzyjnym
Fig. 1. The relation between capacity and decision area

Przykład:

na etapie projektowania eksploatacji:

- w obszarze woli decydenta mieszczą się *m.in.*: dobór systemu eksploatacji, dobór sposobu kierowania stropem, dobór długości i wysokości wyrobiska eksploatacyjnego (wszystkie te parametry mogą być ograniczane w określonym zakresie), dobór systemu przewietrzania, dobór układu techniczno – organizacyjnego itp.;
- w obszarze nie podlegającym woli decydenta mieszczą się *m.in.*: rodzaj i natężenie występowania zagrożeń naturalnych (zagrożenie tąpnięciami, zagrożenie wyrzutu gazów i skał, zagrożenie wodne itd.).

2. Przykład zastosowania wybranych modeli matematycznych do analizy i oceny ryzyka zawodowego

Oddziaływanie pomiędzy zagrożeniami naturalnymi nie jest czymś nowym – prowadzone analizy przyczyn i okoliczności zaistniałych katastrof górniczych pokazują jednoznacznie, że na powstały stan miało niejednokrotnie wpływ więcej aniżeli jedno zagrożenie. Właściwe jest użycie w tego typu sytuacjach pojęcia „zagrożenia skojarzone” (współwystępujące), tzn. zagrożeń naturalnych, które współlistniejąc wzajemnie wpływają na inicjację, intensywność oraz przejawy swojego występowania [1]. Na podstawie analiz takich zdarzeń można stwierdzić, że oddziaływania między zagrożeniami mogą występować bezpośrednio lub też pośrednio, kiedy ich stany i formy występowania są kształtowane poprzez pośrednie związki przyczynowo – skutkowe. Z oddziaływaniami bezpośrednimi mamy do czynienia wówczas,

gdy określony parametr charakterystyczny dla danego zagrożenia wpływa na stan innego zagrożenia. Typową taką sytuacją jest np. inicjowanie wybuchu pyłu węglowego przez skutki wybuchu metanu lub inicjowanie wybuchu metanu przez skutki tupań. Z kolei oddziaływania pośrednie polegają na zmianie pewnych, czasem bezpośrednio nie związanych z zagrożeniami, własności środowiska pracy, które z kolei wpływają na parametry i stany innych zagrożeń. Związki takie występują np. podczas zawałów i tupań, kiedy ulegają zniszczeniu wyrobiska górnicze, zmieniając warunki wentylacji, co w konsekwencji może doprowadzić do zmian stanu zagrożenia pożarowego i metanowego [2].

W celu określenia zależności zachodzących pomiędzy elementami środowiska naturalnego w procesie aktywacji poszczególnych zagrożeń naturalnych można wykorzystać wzór Bayesa (wzór nr 1):

$$P(E_i/A) = \frac{P(E_i)P(A/E_i)}{\sum_{i=1}^n P(E_i)P(A/E_i)}, \quad (1)$$

gdzie $P(E_i)$ nazywamy prawdopodobieństwem *a priori* zdarzenia E_i , zaś prawdopodobieństwo $P(A/E_i)$ – prawdopodobieństwem *a posteriori* zdarzenia E_i .

Jako przykład do zilustrowania powyższej zależności może posłużyć wartość prawdopodobieństwa zaistnienia wypływu metanu pod warunkiem zajścia tąpnięcia w przedmiotowym rejonie.

Wydaje się, iż w przypadku omawianej problematyki zasadne będzie także wykorzystanie teorii grafów, sieci, w tym szczególnie drzew zdarzeń lub błędów [4]. Jakkolwiek teoria ta nie wnosi w zasadzie nic nowego, to jednak umożliwia wygodne modelowanie zjawisk i ułatwia ich interpretację. Jest to szczególnie pomocne w przypadku zagadnień, których nie można rozwiązywać metodami analizy matematycznej - do zagadnień tych zaliczamy te, w których przedmiotem analizy nie jest obiekt techniczny, lecz różne procesy działalności człowieka [3].


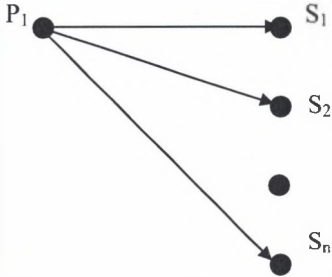
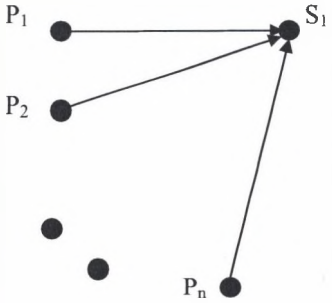
Możemy w sposób ogólny wyróżnić pięć sytuacji modelowych (tabl. 1):

- a) występuje jedno zdarzenie poprzedzające P i jedno zdarzenie następujące po nim S (będące konsekwencją wystąpienia zdarzenia P);
- b) występuje jedno zdarzenie poprzedzające P i zbiór zdarzeń S_j następujących po nim (gdzie: $j \in N$, $j \geq 2$), tj. zbiór zdarzeń będących konsekwencją wystąpienia zdarzenia P ;
- c) występuje zbiór zdarzeń P_i poprzedzających (gdzie: $i \in N$, $i \geq 2$) i jedno zdarzenie następujące po nim S (będące konsekwencją wystąpienia zdarzeń poprzedzających);

- d) występuje zbiór zdarzeń P_i poprzedzających (gdzie: $i \in N$, $i \geq 2$) i zbiór zdarzeń S_j następujących po nim (gdzie: $j \in N$, $j \geq 2$), przy czym j -ty skutek jest wypadkową i - tych przyczyn;
- e) występują dwa zdarzenia poprzedzające (P_1 i P_2) i dwa zdarzenia następujące (S_1 i S_2), przy czym zdarzenie poprzedzające P_2 jest jednocześnie skutkiem S_1

Tabela 1

Przykłady grafów wraz z ich interpretacją

Wariant		Interpretacja graficzna	Przykładowa interpretacja opisowa
UKŁAD STATYCZNY	a)		Np. zainicjowanie wybuchu metanu w wyniku tąpnięcia górotworu
	b)		Np. wyrzut dwutlenku węgla i wypływ metanu jako konsekwencja zaistniałego tąpnięcia
UKŁAD STATYCZNY	c)		Np. zainicjowanie wybuchu pyłu węglowego w wyniku zaistniałego tąpnięcia i wybuchu metanu

cd. tabl. 1

UKŁAD STATYCZNY	d)		
UKŁAD DYNAMICZNY	e)		Np. tąpnięcie górotworu inicjujące wpływ metanu, co z kolei może być (poprzez wybuch CH ₄) przyczyną wybuchu pyłu węglowego

Przykładowe relacje zachodzące pomiędzy elementami grafu c przedstawia tabl. 2

Tablica 2

Tablica relacji

x	P ₁	P ₂	P _n
u	a	b	...	n
y	S ₁	S ₁	...	S ₁

Dla przedmiotowego grafu można sporządzić macierz incydencji (tabl. 3)

Tablica 3

		Macierz incydencji grafy $A(G) [a_{ij}]_{n \times m}$			
		a	b	n
$A(G) =$	P ₁	ξ	0	...	0
	P ₂	0	ξ	...	0

	P _n	0	0	...	ξ
	S ₁	η	η	...	η

gdzie:

$a_{ij} = \varepsilon$, w przypadku gdy wierzchołek grafu jest początkiem łuku;

$a_{ij} = \eta$, w przypadku gdy wierzchołek grafu jest końcem łuku;

$a_{ij} = 0$, gdy wierzchołek nie jest incydentny z gałęzią.

W przypadku gdy nie jest konieczne różnicowanie rodzaju incydencji, graf można przedstawić w postaci tzw. binarnej macierzy incydencji $A^b(G) = [a^b_{ij}]_{n \times m}$ (tabl. 4):

Tablica 4

		Binarna macierz incydencji grafy $A^b(G) [a_{ij}]_{n \times m}$			n
		a	b	
$A^b(G) =$	P_1	1	0	...	0
	P_2	0	1	...	0

	P_n	0	0	...	1
	S_1	1	1	...	1

przy czym $a_{ij} = 1$, gdy wierzchołek grafu jest incydentny z gałęzią (w przeciwnym przypadku $a_{ij} = 0$).

3. Zakończenie

Zamierzeniem autorów nie było pokazanie konkretnych rozwiązań, lecz tylko wskazanie metod, które ich zdaniem czynią analizę i ocenę zagrożeń, z uwzględnieniem złożoności i współzależności, bardziej wiarygodne i oddające możliwie wiernie badaną rzeczywistość. Autorzy uważają bowiem, że konferencja i sala konferencyjna są miejscem, w którym powinna toczyć się dyskusja nad możliwymi, skutecznymi i efektywnymi metodami rozwiązywania problemów także górnictwa węgla kamiennego.

LITERATURA

1. Kabiesz J.: Charakterystyka skojarzonych zagrożeń górniczych w aspekcie ich oceny oraz doboru metod prewencji. Prace naukowe GIG. Nr 849. Katowice 2002.
2. Kabiesz J.: Zarządzanie bezpieczeństwem pracy w górnictwie – cz. 10 pt. „Zagrożenia skojarzone a ocena ryzyka zawodowego”. Wiadomości Górnicze nr 4, Katowice 2004.
3. Korzan B.: Elementy teorii grafów i sieci. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1978.
4. Krzemień S.: Teoretyczne podstawy określania miar stanu zagrożenia bezpieczeństwa w wyrobiskach górniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. s. Górnictwo, z. 204. Gliwice 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Roman Magda

Abstract

Changes that occur in human environment (also in natural environment) are very often the source of threat for individual entities as well for broadly viewing organizations. These changes may be treated as elements that are certain kind of determinants of occupational hazard. In order to make sure that in the area of conducted industrial activity effective decisions are taken it is necessary to take into consideration elements of Risk Theory. This paper is introductory to broader application of mathematical models for analysis and evaluation of occupational hazard by using probability mathematics (Baye's Theorem) and graph and network theory.