ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: GÓRNICTWO z. 270 Nr kol. 1698

Henryk PRZYBYŁA, Zygmunt KORBAN
Politechnika Śląska, Gliwice

WYBRANE ASPEKTY WYKORZYSTANIA METOD BADAŃ OPERACYJNYCH W PROCESIE SZACOWANIA RYZYKA ZAWODOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości wynikające z wykorzystania wybranych modeli matematycznych w procesie decyzyjnym. Na przykładach omówione zostały potencjalne zastosowania drzewa zdarzeń i drzewa decyzji w procesie rozwiązywania problemów o charakterze probabilistycznym.

THE SELECTECTED ASPECTS OF UTILIZATION OF OPERATION RESEARCH METHODS IN EVALUATION OF OCCUPATIONAL HAZARD

Summary. The paper presents some possibilities that result from ulitisation of selected methods in the decision process. On the basis of examples the potential applications of event tree and decision tree in resolving probabilistic problems have been discussed.

1. Wprowadzenie

W roku 1931 ukazała się książka H. W. Heinricha, w której autor stawia następującą tezę: *„najbardziej wartościowe metody w zapobieganiu wypadkom są analogiczne do metod stosowanych przy kontroli jakości, kosztów, ilości produkcji"* [1]. Stwierdzenie to, jakkolwiek ponadczasowe dopiero w dobie rozwoju nowych kierunków zarządzania (zarządzanie bezpieczeństwem pracy) i pomyślnych doświadczeń ze sterowaniem jakością (TQM) znalazło szersze zrozumienie, czego przykładem może być chociażby koncepcja safety managementu. D. Peterson uważa, iż wszystkie zjawiska i zdarzenia, takie jak: niebezpieczne czynności, niebezpieczne warunki, czy wypadki są przejawem zakłóceń w systemie zarządzania [5]. Innymi słowy niewłaściwe decyzje lub też zaniechania w zakresie wprowadzania w życie

stosownych decyzji może powodować powstawanie swoistego łańcucha błędów, co z kolei w krótszej lub dłuższej perspektywie czasu może doprowadzić do pojawienia się określonych zakłóceń przebiegów produkcyjnych, a w ostateczności – wypadków. Powstałe tą drogą straty należy postrzegać jako nieuzasadnioną, a zatem możliwą do uniknięcia część kosztów działania systemu C (operator) – T (urządzenia techniczne) – O (otoczenie, w tym także naturalne) w świetle znanych i dostępnych rozwiązań techniczno-organizacyjnych.

2. Rola i znaczenie modelu matematycznego w procesie decyzyjnym

Wg Howarda wyzwania (nie tylko o charakterze zawodowym) podejmowane przez człowieka mają w przeważającej mierze charakter zadań probabilistycznych (zadania deterministyczne stanowią znikomy procent). Tak wiec *każdy decydent musi mieć świadomość ryzyka, jakie jest związane określoną decyzją* – decyzje trafne przynoszą korzyści, decyzje błędne – straty. Zmniejszenie tego ryzyka wymaga:

- dysponowania informacją szybką, aktualną i dokładną;
- korzystania w coraz większym stopniu z informacji liczbowej;
- szerokiego zastosowania technik informatycznych dla potrzeb pozyskiwania i przetwarzania danych (metody symulacji procesów gospodarczych, metody aktywnego sterowania przebiegiem procesów, metody prognozowania itp.) [4].

Obserwowaną potrzebę powszechnego stosowania metod matematycznych w procesie zarządzania tłumaczyć należy głównie względami ekonomicznymi. Metody te umożliwiają globalne sterowanie procesami ujmowanymi w ramach jednego zintegrowanego systemu, co zapewnia koordynację działań w różnych płaszczyznach.

W literaturze podkreśla się fakt, iż metody matematyczne przydatne są zarządzającemu, gdy:

- umożliwiają przetwarzanie większej liczby informacji i wzbogacają zasób informacji o nowe, dodatkowe relacje porządkowe lub skojarzeniowe;
- usprawniają i przyśpieszają przetwarzanie informacji, a dzięki temu ułatwiają zarządzającemu aktywne operowanie informacjami zawartymi w pamięci;
- wzbogacają zasób reguł, za pomocą których zarządzający przetwarza informacje w kompleksowe programy działania [2, 3].

3. Proces decyzyjny w ujęciu modelowym

W odniesieniu do każdego procesu decyzyjnego (w tym także procesu z obszaru bezpieczeństwa pracy) możliwe jest wyróżnienie pięciu cech charakterystycznych (rys. 1):

1	W każdym procesie decyzyjnym musi występować podmiot podejmujący decyzję.
2	W każdym procesie decyzyjnym jest określony zbiór dopuszczalnych decyzji $\{D_i\}$, gdzie $i = 1, 2, ...n$.
3	W procesie decyzyjnym występuje zbiór stanów świata zewnętrznego (natury), $\{Z_j\}$, gdzie $j = 1, 2, ...m$, który nie jest kontrolowany przez podmiot podejmujący decyzję
4	Cechą charakterystyczną każdego procesu decyzyjnego jest funkcja korzyści $K_{ij} = f(D_i, Z_j)$, gdzie $i = 1, 2,...n$, $j = 1, 2,...m$.
5	Cechą, która charakteryzuje każdy proces decyzyjny jest niepewność co do świata zewnętrznego

Rys. 1. Systematyka cech charakterystycznych procesów decyzyjnych [8]
Fig. 1. The systematic of characteristic features of the decision processes [8]

W przypadku działań o charakterze probabilistycznym szczególnego znaczenia nabiera element niepewności – w momencie podejmowania decyzji decydent najczęściej nie zna stanu świata zewnętrznego, a prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych stanów świata zewnętrznego może oszacować opierając się na opiniach ekspertów lub badaniach statystycznych [2, 3].

4. Możliwości wynikające z wykorzystania drzewa zdarzeń i drzewa decyzyjnego w procesie szacowania ryzyka zawodowego

Jedną z możliwych do zastosowania w procesie decyzyjnym jest metoda drzewa zdarzeń należąca do grupy metod badań operacyjnych. Metoda ta służąca ilustrowaniu pośrednich i końcowych zdarzeń zachodzących w następstwie wystąpienia określonego zdarzenia

inicjującego (początkowego), mimo że powstała w latach 70. XX wieku jest aktualnie szeroko stosowana m.in. w energetyce jądrowej w ramach probabilistycznej analizy bezpieczeństwa/ryzyka. *Istotną cechą i zarazem zaletą metody jest możliwość analizowania rozwoju zdarzeń wypadkowych (zdarzeń inicjujących) względem funkcjonowania systemów bezpieczeństwa znajdujących się w danym systemie technicznym i/lub oddziaływania warunków zewnętrznych.* To funkcjonowanie zachodzi zawsze wg dwóch stanów logicznych: sukces (TAK) i niepowodzenie (NIE).

Samą konstrukcję drzewa zdarzeń rozpoczynamy od wytypowania zdarzenia inicjującego (np. wybuch metanu, wybuch pyłu węglowego itp.) oraz zdefiniowania dostępnych funkcji bezpieczeństwa (np. będących w dyspozycji systemów zabezpieczeń) i określenia ich prawdopodobieństw aktywacji (tj. sukcesu). Rozwój zdarzenia rozpatrywany jest kolejno względem określonych funkcji bezpieczeństwa, tak by w efekcie końcowym otrzymać tzw. zdarzenia wyjściowe (ZWY), które mogą wystąpić w badanym systemie. Określenie prawdopodobieństwa występowania zdarzeń ZWY (tzw. ilościowa analiza drzewa zdarzeń) następuje poprzez przemnożenie częstości zdarzenia inicjującego przez prawdopodobieństwa wystąpienia warunków opisujących daną gałąź drzewa: dla gałęzi opisującej sukces (TAK) przyjmuje się prawdopodobieństwo sukcesu P_s, natomiast dla gałęzi opisującej niepowodzenie (NIE) $-P_n = 1-P_s$ [7]. Wartości liczbowe prawdopodobieństw funkcji bezpieczeństwa określa się na podstawie danych statystycznych, bądź opinii ekspertów.

Przykład 1

Przykład zastosowania drzewa zdarzeń dla wyrobiska górniczego zagrożonego wybuchem/zapaleniem metanu.

Zdarzenie inicjujące A, to wzrost procentowej zawartości CH_4 w wyrobisku górniczym (niebezpieczeństwo zapalenia/wybuchu CH_4).

Dostępne **funkcje bezpieczeństwa** to:

- **funkcja B** – niedopuszczenie do powstania niebezpiecznych stężeń CH_4:
  - ✓ rzetelna klasyfikacja pól i pokładów pod względem zagrożenia metanowego – pomiary ciśnienia gazu w otworach, badanie właściwości fizykomechanicznych skał oraz określanie poziomu metanonośności,
  - ✓ odgazowywanie złoża,

- ✓ dostosowanie schematów przewietrzania i metod wentylacji do warunków lokalnych,
- ✓ pomiary wydatku i prędkości przepływającego powietrza,
- ✓ monitorowanie procentowej zawartości CH_4 w atmosferze (pobieranie próbek powietrza do analizy chemicznej, pomiary ręczne stężenia CH_4 w trakcie trwania zmiany roboczej, zabezpieczenie rejonu(-ów) czujnikami metanometrii automatycznej;

- **funkcja C** – niedopuszczenie do zapalenia CH_4:
  - ✓ stosowanie bezpiecznych materiałów wybuchowych,
  - ✓ prawidłowe wykonywanie robót strzałowych,
  - ✓ stosowanie wyposażenia elektrycznego o odpowiednim stopniu ochrony,
  - ✓ eliminowanie powstawania iskier w procesach technologicznych,
  - ✓ izolacja i zabezpieczanie istniejących ognisk pożarowych;

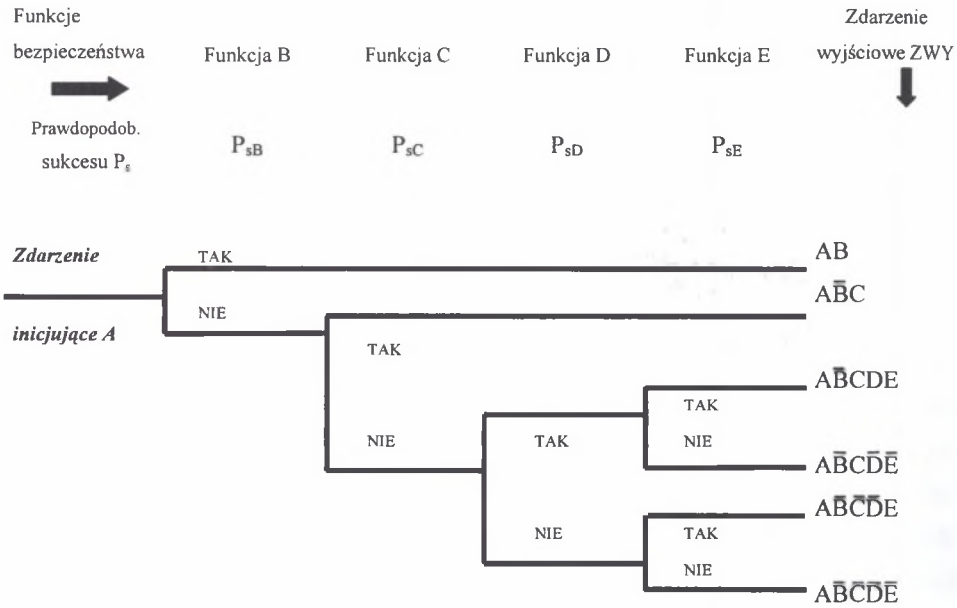
- **funkcja D** – ograniczenie obszaru rozprzestrzeniania się wybuchu CH_4 (systemy tam);

- **funkcja E** – ochrona zatrudnionej załogi od następstw wybuchu CH_4:
  - ✓ wprowadzanie systemów wczesnego ostrzegania i sygnalizacji,
  - ✓ wyposażanie załóg w indywidualne środki ochrony dróg oddechowych.

Dysponując zbiorem scenariuszy rozwoju wydarzeń, przed podjęciem decyzji decydent winien ustalić hierarchię celów oraz priorytety ich realizacji. Ważne jest określenie, który z możliwych wariantów jest dla niego najbardziej ryzykowny i najmniej „wygodny", tzn. opłacalny[1]. Jednym z narzędzi wykorzystywanym w przedmiotowym obszarze jest drzewo decyzyjne będące graficznym odzwierciedleniem etapów oceny i wyboru w procesie rozwiązywania problemu decyzyjnego. Metoda ta pokazuje, w jaki sposób każde alternatywne rozwiązanie rozwidla się w różne, możliwe rezultaty. Drzewo decyzyjne jest szczególnie użyteczne w przypadku podejmowania decyzji sekwencyjnych i kiedy podjęciu określonej decyzji mogą towarzyszyć różne zdarzenia z różnym prawdopodobieństwem [6].

---

[1] możemy tak powiedzieć, mimo że przepisy prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych regulują w sposób szczegółowy także działania podejmowane w zakresie prac o charakterze profilaktycznym



gdzie:

AB – sytuacja normalna;

$A\bar{B}C$ – stan zagrożenia;

$A\bar{B}CDE$ – wybuch / zapalenie metanu;

$A\bar{B}C\bar{D}\bar{E}$ – wybuch / zapalenie metanu;

$A\bar{B}\bar{C}\bar{D}E$ – wybuch / zapalenie metanu;

$A\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E}$ – wybuch / zapalenie metanu.

Rys. 2. Drzewo zdarzeń dla wyrobiska górniczego zagrożonego wybuchem metanu
Fig. 2. The event tree for excavation that is at risk from methane explosion

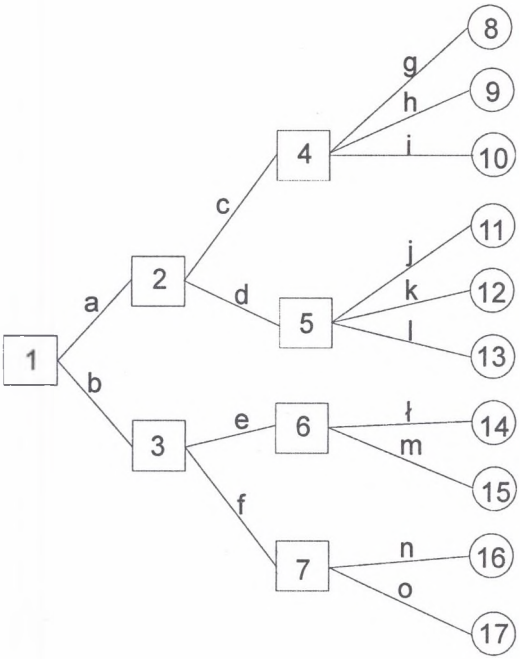
Przykład 2

Załóżmy, iż rozcinka złoża i przygotowanie pokładów do eksploatacji z uwagi na zagrożenie metanowe występujące w rejonie wymaga ciągłego monitorowania warunków wentylacyjnych. W związku z tym celowe byłoby podjęcie jednej z decyzji:

- zakup nowej aparatury umożliwiającej zdalny i ciągły pomiar (prędkości i wydatku powietrza, składu atmosfery kopalnianej, w tym i CH_4, itp.),
- wykorzystanie w tym zakresie środków będących już w posiadaniu zakładu.

Z każdym z przedstawionych wariantów wiąże się realizacja określonego przedsięwzięcia, a co za tym idzie – podjęcie określonych decyzji.

Drzewo decyzyjne dla omawianego przykładu przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Drzewo decyzyjne dla przykładu 2
Fig. 3. The decision tree for example numer 2

Nowa inwestycja (*1 – uruchomienie monitoringu warunków wentylacyjnych w rejonie*) pozwala przewidzieć następujące możliwości:

1 – uruchomienie monitoringu warunków wentylacyjnych w rejonie	*2 – inwestycja nowa polegająca na nabyciu nowych urządzeń*	4 – zakup urządzeń za gotówkę	8 – firma oferująca sprzęt o interesujących parametrach (w porównywalnych przedziałach cenowych) nie startuje w przetargu
			9 – w momencie zamknięcia oferty przetargowej pojawiają się nowe rozwiązania techniczne na rynku stanowiące istotny przełom w dziedzinie bhp
			10 – pojawia się konieczność wstrzymania robót i otamowania rejonu
		5 – nabycie urządzeń poprzez zaciągnięcie kredytu	11 – okres spłaty x lat
			12 – okres spłaty x - 1 lat
			13 – pojawia się konieczność wstrzymania robót i otamowania rejonu
	3 – wykorzystanie środków własnych będących już w posiadaniu zakładu	6 – wykorzystanie urządzeń już zainstalowanych w innych rejonach	14 – wartość przeprowadzonych remontów i rozbudowy jest porównywalna z kosztem zakupu nowej aparatury
			15 – brak technicznych możliwości rozbudowy posiadanych urządzeń
		7 – wprowadzenie zmian o charakterze organizacyjnym (stała obsada przodka)	16 – obłożenie rejonu realizowane jest kosztem innych rejonów
			17 – konieczne jest dokonanie przesunięć załogi w ramach zgrupowania kopalń

Każda z decyzji (symbole literowe od „a" do „o") jest dodatkowo opisana wartością prawdopodobieństwa zaistnienia (np. dla decyzji „a" prawdopodobieństwo to wynosi P_a) – prawdopodobieństwa te można oszacować opierając się na opiniach ekspertów lub badaniach statystycznych. Tym samym prawdopodobieństwa zaistnienia stanów końcowych (nr 8–17) określane jest poprzez wyznaczenie iloczynu prawdopodobieństw decyzji cząstkowych, np. dla stanu o numerze 1 poprzez decyzje a, c g aż do stanu 8 prawdopodobieństwo wynosi $P_a \cdot P_c \cdot P_g$.

5. Zakończenie

Potrzeba stosowania modeli matematycznych wynika z faktu, że rzeczywistość jest z reguły szczególnie złożona i do jej opisania potrzeba bardzo dużej liczby parametrów – w modelu matematycznym, który przedstawia w uproszczeniu badany układ można zmieniać poszczególne wielkości, panować nad jego parametrami i przewidywać skutki alternatywnych rozwiązań. Aby jednak symulacja spełniła swój cel, model musi odzwierciedlać istotne aspekty badanej rzeczywistości. Obserwowane w praktyce odchodzenie od optymalnych decyzji (decyzji najkorzystniejszych ze względu na kryterium optymalizacji) na rzecz tzw. decyzji poprawnych (wynikających z poziomu aspiracji decydenta) tłumaczyć należy bardzo często brakiem wiedzy decydenta co do wszystkich możliwych wariantów, czy też brakiem informacji w zakresie potencjalnych skutków podjętych decyzji. Należy więc mieć świadomość tego, iż integralnym elementem szeroko rozumianego zarządzania (w tym także i zarządzania bezpieczeństwem pracy) jest ryzyko (zarządzanie ryzykiem), ale także zarządzanie zmianami i zarządzanie projektami, których uwzględnienie jest konieczne na drodze od pojawienia się problemu, aż do momentu wdrożenia określonych rozwiązań. Zastosowanie badań operacyjnych (drzewa zdarzeń i drzewa decyzji) stanowi niewątpliwie nowoczesne i mimo wszystko nie w pełni wykorzystane narzędzie w tym procesie.

LITERATURA

1. Heinrich H. W.: Industrial Accident Prevention. A Scientific Approach by... Third Edition, New York, Toronto, London 1950.

2. Korban Z., Przybyła H.: Wykorzystanie sondażu opinii ekspertów w procesie zarządzania bezpieczeństwem pracy. Konferencja naukowa: „Górnictwo zrównoważonego rozwoju 2003". Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej (Zeszyt nr 1600), Gliwice 2003.
3. Korban Z., Przybyła H: Wybrane metody matematyczne w analizie i ocenie ryzyka zawodowego. Konferencja naukowa: „Górnictwo zrównoważonego rozwoju 2004". Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej (seria Górnictwo zeszyt nr 281). Gliwice 2004.
4. Kozdrój M., Przybyła H.: Teoria organizacji i zarządzania. Cz. III Modele matematyczne w organizacji produkcji górniczej. Skrypty uczelniane Politechniki Śląskiej (nr 1272), Gliwice 1986.
5. Peterson D.: Techniques of Safety Management. Mc Grow-Hill Book Company, New York 1971.
6. Praca zbiorowa pod redakcją Lipiec-Zajchowskiej M.: Wspomaganie procesów decyzyjnych. Badania operacyjne. Wydawnictwo C. H. Beck, Warszawa 2003.
7. Praca zbiorowa pod redakcja Markowskiego A. S.: Zapobieganie stratom w przemyśle. Cz. III zarządzanie bezpieczeństwem procesowym. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2000.
8. Sadowski W.: Decyzje i prognozy. PWE, Warszawa 1981.

Recenzent: Prof dr hab. inż. Roman Magda