

RYSZARD SNOPKOWSKI
MARTA SUKIENNIK
ANETA NAPIERAJ

Podejmowanie decyzji w kopalniach węgla kamiennego ze wsparciem wybranych metod stochastycznych

W artykule przedstawiono wybrane metody modelowania procesów stochastycznych, które mogą wspierać decydentów w polskich kopalniach węgla kamiennego. Przedstawiono klasyfikację determinant, które mają istotny wpływ na procesy realizowane w kopalniach. W opracowaniu rozróżniono również decyzje programowane i nieprogramowane podejmowane przez kadry zarządzające w kopalniach. Następnie omówiono trzy wybrane metody, które umożliwiają decydentom podejmowanie skutecznych decyzji, które mogą mieć kluczowe znaczenie dla procesów realizowanych w kopalniach węgla kamiennego.

Słowa kluczowe: kopalnie węgla kamiennego, podejmowanie decyzji, metody stochastyczne

1. WPROWADZENIE

Podejmowanie decyzji nieustannie powinno być wspierane jak najbardziej rzetelną analizą zarówno danych dostępnych o procesie, jak też warunków otaczających proces. Wpływa to na prawidłowo zaplanowaną organizację procesu i pozwala na odpowiednie reagowanie w przypadku wystąpienia zmian.

Każda działalność człowieka, aby była skuteczna, powinna być odpowiednio zorganizowana. Jest to podstawowe założenie, które stanowi punkt wyjścia do realizacji procesu produkcyjnego [1]. Organizacja pracy w górnictwie nie była od jego początków odpowiednio wdrażana z dwóch powodów. Pierwszym były złożone warunki naturalne, związane z procesem produkcyjnym w górnictwie, co przez wiele lat dawało przekonanie, że doświadczenie oraz praktyka górnicza są bardziej odpowiednie niż naukowe metody organizacji. Drugim powodem był fakt, że próbowano przenosić naukowe teorie organizacji pracy bezpośrednio do górnictwa bez żadnej modyfikacji czy dostosowania [2–3]. Z czasem jednak przekonano się, że odpowiednio modyfikując ogólne zasady, można z po-

wodzeniem usprawnić pracę pod ziemią. Zasługi na tym polu przypisywane są Karolowi Adamieckiemu, który dowodząc, że „metody, którymi posiłkuje się naukowa organizacja, doprowadzają do ekonomii sił i środków”, przekonał górników do podejmowania prac nad ustaleniem warunków zastosowania i wprowadzenia naukowej organizacji do górnictwa [2].

2. CZYNNIKI DETERMINUJĄCE PROCESY REALIZOWANE W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

W przypadku kopalń węgla kamiennego wyróżnia się dwie grupy czynników determinujących proces: warunki górniczo-geologiczne oraz warunki techniczno-organizacyjne.

Do warunków górniczo-geologicznych zalicza się:

- rodzaj stropu,
- rodzaj spągu,
- urabialność węgla,
- grubość i nachylenie pokładu,
- zagrożenia naturalne.

Warunki techniczno-organizacyjne, mające istotny wpływ na przebieg procesu produkcyjnego, to między innymi:

- układ mechanizacyjny,
- parametry techniczne maszyn,
- awaryjność urządzeń,
- organizacja cyklu produkcyjnego, na którą składają się: forma organizacji robót, forma organizacji pracy oraz system pracy,
- wyszkolenie i doświadczenie pracowników.

Występowanie tych czynników powoduje, że cykl produkcyjny zachodzący w przodku ścianowym może być destabilizowany. W literaturze spotyka się metody określające wpływ tych czynników na czas realizacji czynności w przodku ścianowym. Metody te wykorzystują np. rachunek regresji i korelacji [4–5].

Ze względu na zróżnicowaną budowę geologiczną i hydrogeologiczną górotworu zjawiska w nim zachodzące są skomplikowane i trudne do ścisłego określenia. Prowadzenie eksploatacji w sposób niewłaściwy może przyczynić się do wystąpienia stref dużych ciśnień, nagłych załamań się warstw stropowych, tąpnięć czy innych zagrożeń. Nawet prawidłowe prowadzenie eksploatacji wiąże się z ryzykiem wystąpienia zagrożeń naturalnych [6]. Dlatego w celu zachowania najwyższego poziomu bezpieczeństwa oraz zminimalizowania zakłóceń w cyklu produkcyjnym w przodku ścianowym dąży się do maksymalnego poznania warunków górniczo-geologicznych występujących w urabianym złożu.

3. DECYZJE PROGRAMOWE I NIEPROGRAMOWE

Podejmowanie decyzji stanowi proceduralno-technologiczną cechę procesu zarządzania o wielorakich uwarunkowaniach ekonomicznych i psychosocjologicznych. Podejmowanie decyzji można rozpatrywać w dwóch znaczeniach [7].

Wyróżnia się wiele klasyfikacji i podziałów na typy decyzji w zależności do przyjętego kryterium. Ale w procesie decyzyjnym, zwłaszcza realizowanym w kopalniach węgla kamiennego, kluczowy jest m.in. podział na decyzje programowe i nieprogramowe. Duża liczba czynników determinujących proces wydobywania węgla powoduje, że zarówno programowe, jak i nieprogramowe decyzje powinny być wspomagane jak najdokładniejszym rozeznaniem i dostępnymi metodami matematycznymi.

Decyzje programowe z definicji dotyczą rutynowych problemów, zazwyczaj są określone przez zasady, procedury lub wytyczne. Decyzje nieprogramowe dotyczą nierutynowych problemów w procesie, a także często o nieokreślonej strukturze.

Witold Kieżun uważa, że istota procesu decyzyjnego polega na przetwarzaniu informacji wejściowych oraz posiadanej wiedzy i doświadczenia w informację wyjściową, co stanowi podłoże dokonywania nielosowego wyboru działania [8]. Zatem wykorzystanie dostępnych metod stochastycznych przy podejmowaniu decyzji w kopalniach węgla kamiennego może przybliżyć decydenta do sukcesu. W dalszej części zostaną wskazane i omówione wybrane metody wspierające decydentów w górnictwie.

4. PRZYKŁADY WYKORZYSTANIA METOD STOCHASTYCZNYCH DO WSPOMAGANIA PROCESÓW DECYZYJNYCH W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

4.1. Sposób doboru załogi przodku ścianowego ze względu na stochastyczny charakter procesu produkcyjnego

Organizacja pracy w kopalni węgla kamiennego jest trudnym zadaniem ze względu na dużą nieprzewidywalność warunków wydobywania. Badania geologiczne złożeń pozwalają na oszacowanie parametrów produkcji, jednak przybliżenia te nie zawsze muszą być podstawą precyzyjnych obliczeń na etapie organizacji produkcji. Występowanie niejednorodności w budowie geologicznej złożeń, zagrożenia naturalne czy awarie maszyn to tylko niektóre z czynników mogących powodować stochastyczny charakter procesu produkcyjnego prowadzonego w kopalniach. Jednym z najważniejszych aspektów organizacji pracy jest obsada stanowisk. Efektywność produkcji zależy w dużej mierze od racjonalnego przydzielania pracowników do stanowisk. Bardzo wysokie koszty zakupu maszyn i urządzeń zainstalowanych w przodku górniczym, a także energii i robocizny sprawiają, że każdy przestój powoduje znaczne straty ekonomiczne. Przestoje mogą wynikać ze zdarzeń losowych, takich jak awarie maszyn. W takim przypadku można zastosować jedynie środki prewencyjne związane z ich naprawami i konserwacją. Jednak przestoje wynikające ze złej organizacji

pracy powinny zostać zdecydowanie wyeliminowane. Jedną z głównych przyczyn tego typu przestojów może być zły dobór liczby pracowników do wykonywanych czynności. Zastosowanie odpowiedniej aparatury matematycznej w połączeniu z danymi uzyskanymi w wyniku wielokrotnych obserwacji rzeczywistych czasów wykonywania czynności pozwala na zidentyfikowanie charakteru zjawisk losowych oraz określenie obsady stanowisk z uwzględnieniem stochastycznego charakteru procesu produkcyjnego. Zastosowanie tej metody składa się z następujących etapów:

- identyfikacja kluczowych działań w procesie produkcyjnym,
- podział procesu produkcyjnego na charakterystyczne moduły ze względu na jednoczesność działań,
- identyfikacja funkcji gęstości czasów trwania aktywności w oddzielnych modułach,
- przyjęcie wstępnych wariantów odlewu dla poszczególnych modułów,
- optymalizacja obsadzania stanowisk w modułach z uwzględnieniem prawdopodobieństwa wykonywania czynności przy założonej obsadzie oraz charakterystyki modułów.

Szczegółowy opis postępowania zawarty jest w artykułach [9–10].

Jak wspomniano, procesy decyzyjne w kopalniach węgla kamiennego determinowane są wieloma czynnikami. Zaproponowana metoda wsparcia decydenta może być przydatna zarówno w programowym procesie podejmowania decyzji, jak i w sytuacjach awaryjnych, gdzie konieczne jest szybkie działanie ze względu na występujące nagle czynniki ryzyka.

Można sformułować następujące wnioski i stwierdzenia, wynikające z możliwości stosowania metody:

- Zastąpienie zmiennych deterministycznych zmiennymi losowymi pozwoliło na jednoczesne uwzględnienie w postaci funkcji gęstości prawdopodobieństwa wielu czynników wpływających na czas realizacji czynności.
- Każdy proces produkcyjny można podzielić na skończoną liczbę modułów różniących się jednoczesnością realizacji czynności.
- Wyodrębnianie modułów z procesu produkcyjnego pozwala na łatwiejszą analizę procesu produkcyjnego, a co za tym idzie ułatwia dobór obsady.
- Użyte w metodzie kryterium prawdopodobieństwa osiągnięcia założonego czasu trwania realizacji modułu pozwala na racjonalny dobór obsady, gdyż ukończenie modułu jako całości ma wyższy priorytet niż realizacja poszczególnych czynności wchodzących w jego skład.

- Wyniki przeprowadzonych obliczeń pozwalają przyjąć prawdziwość postawionej na początku pracy tezy, że wykorzystanie kryterium prawdopodobieństwa w metodzie wyznaczania obsady przodka ścianowego kopalń węgla kamiennego pozwala na uwzględnienie stochastycznego charakteru procesu produkcyjnego, realizowanego w tym przodku.

4.2. Metoda probabilistycznego modelowania czasu trwania czynności w cyklu produkcyjnym w przodkach ścianowych kopalń węgla kamiennego

Proces produkcyjny realizowany w przodkach ścianowych kopalń węgla kamiennego charakteryzuje się wpływem czynników, które zostały wymienione w rozdziale 2. Cykl produkcyjny w przodku ścianowym kopalni węgla kamiennego definiuje się jako zespół operacji powtarzanych w określonej kolejności i czasie, niezbędnych do przesunięcia przodka ścianowego na odległość jednego zabioru [11]. Proces produkcyjny polega na konsekwentnym powtarzaniu takich cykli, aż do końca możliwości produkcyjnych (decyzje programowe) lub wystąpienia jakiegoś zdarzenia uniemożliwiającego realizację procesu (decyzje nieprogramowe).

Realizacja cyklu produkcyjnego obejmuje wykonanie szeregu czynności bezpośrednio związanych z eksploatacją węgla, a także zagospodarowaniem przestrzeni przodkowej przy odpowiednim utrzymaniu skrzyżowań wyrobisk, tj. chodnika z przodkiem. Wszystkie prace są konieczne ze względu na zastosowaną technologię, jednak nie wszystkie z nich wpływają bezpośrednio na czas trwania cyklu produkcyjnego. W proponowanej metodzie wspomagającej podejmowanie decyzji w pierwszej kolejności wybrano działania mające bezpośredni wpływ na czas trwania cyklu produkcyjnego, zdefiniowano czynniki wpływające na niestabilność czasu trwania czynności oraz ustalono zestaw funkcji gęstości, które najlepiej opisują wybrane czynności cyklu produkcyjnego [12].

Schemat modelowania i symulacji stochastycznej czasu trwania czynności w cyklu produkcyjnym prowadzonym w przodku ścianowym składa się z sześciu etapów, a szczegółowo procedurę opisali Napieraj i Snopkowski [13]:

- 1) Definiowanie funkcji gęstości czasów trwania czynności cyklu produkcyjnego w warunkach danego przodka ścianowego.

- 2) Generowanie czasów trwania czynności cyklu produkcyjnego na podstawie zdefiniowanych funkcji gęstości prawdopodobieństwa.
- 3) Wyznaczenie czasu trwania cyklu produkcyjnego na podstawie wygenerowanych wartości.
- 4) Wyznaczanie wydobywania zmianowego przodka ścianowego.
- 5) Sprawdzenie spełnienia warunku zakończenia modelowania probabilistycznego (jeśli warunek nie jest spełniony, należy wrócić do etapu 2).
- 6) Analiza wyników symulacji stochastycznej czasu trwania czynności w cyklu produkcyjnym.

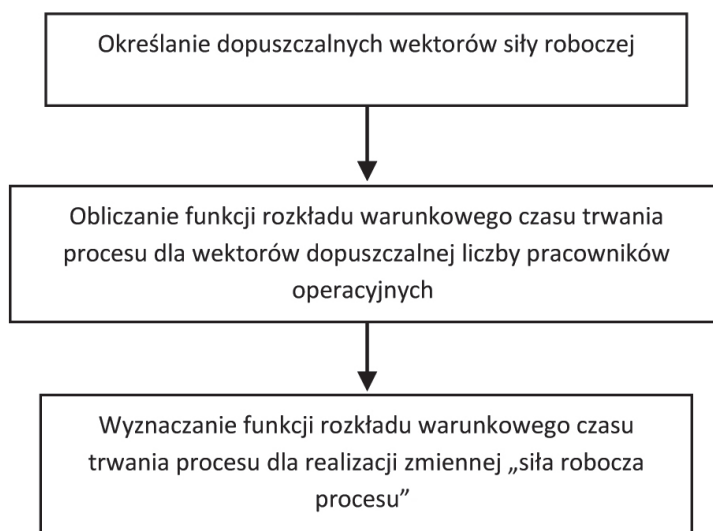
Pojawia się pytanie o korzyści, jakie może przynieść decydentowi wykorzystanie tej metody w podejmowaniu decyzji (zarówno programowych, jak i nieprogramowych). Praktyczną korzyścią płynącą z omawianego modelu jest możliwość określenia:

- prawdopodobieństwa, że wydobywanie z wybranej ściany przekroczy ustalony z góry poziom podczas zmiany roboczej,
- prawdopodobieństwa, że urobek z wybranej ściany wydobywczej będzie się zmieniał w przyjętym zakresie,
- poziomu wydobywania zmianowego, którego przekroczenie i nieprzekroczenie jest tak samo prawdopodobne i wynosi 0,5.

4.3. Wykorzystanie dystrybucyj brzegowej do oceny czasu trwania procesów stochastycznych w kopalniach podziemnych

Metoda zaproponowana w artykule może być również wykorzystana do analizy procesów, na przykład wydobywczych, w których zasoby (takie jak siła robocza i maszyny) przeznaczone do ich wykonania nie są determinowane ilościowo. Załóżmy, że mamy do czynienia z procesem, w którym liczba pracowników (czyli siły roboczej procesu) przydzielonych do przeprowadzenia procesu jest nieokreślona. Przykład ten może również odnosić się do różnej liczby maszyn, urządzeń itp.

Z matematycznego punktu widzenia „zespoł procesowy” w tym przypadku jest zmienną losową, co oznacza, że nie mamy 100% pewności, ilu pracowników będzie dostępnych do przeprowadzenia procesu, być może z powodu nieobecności lub innych przyczyn. Możemy traktować charakterystykę „zespołu procesowego” jako rozkład prawdopodobieństwa, w którym prawdopodobieństwo reprezentuje szansę realizacji procesu przez określoną liczbę pracowników. Warunkowy rozkład czasu trwania procesu jest określony dla każdej realizacji zmiennej losowej „zespoł procesowy” zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1.



Rys. 1. Etapy dystrybucyj brzegowej wykorzystywanej do oceny czasu trwania procesów stochastycznych

Dokładny opis wykorzystania tej metody jest przedmiotem odrębnego artykułu (w języku polskim i angielskim, złożony do druku), w którym krok po kroku przedstawiono wybrany przykład.

Metoda wykorzystania dystrybucyj brzegowej do oceny czasu trwania procesów stochastycznych w ko-

palniach podziemnych może być wykorzystana jako uzupełnienie innych metod analizy i optymalizacji procesu. Ocena przebiegu procesów stochastycznych jest istotna z perspektywy zarządzających tymi procesami lub inwestorów, którzy alokują swoje zasoby (np. w przypadku procesu inwestycyjnego). Należy

również podkreślić, że zastosowanie metody opisanej w tej pracy skutkuje uzyskaniem wyników, które są podawane wraz z wartościami prawdopodobieństwa. Dlatego ostateczna ocena tych wyników zawsze należy do strony przeprowadzającej analizę procesu.

5. PODSUMOWANIE

Proces podejmowania decyzji nie jest łatwy, szczególnie wtedy, kiedy determinowany jest wieloma czynnikami zarówno od strony organizacyjnej, jak i środowiska naturalnego, co często ma miejsce w górnictwie węgla kamiennego. Wsparcie takiego procesu metodami stochastycznymi, które w założeniu mają uwzględniać losowy charakter analizowanego zjawiska może się okazać pomocne i efektywne. Zarówno decydenci programowych decyzji, jak i tych nieprogramowych mogą wykorzystywać tego typu metody. W artykule wskazano tylko wybrane z nich, które przez autorów zostały dogłębnie przeanalizowane i są przedmiotem odrębnych publikacji.

Nie wyczerpuje to jednak pełnego zakresu metod, które mogą wspierać przemysł wydobywczy.

References

- [1] Bendkowski J.: *Ekonomika i zarządzanie przemysłem*. Politechnika Śląska, Gliwice 1990
- [2] Zając E.: *Organizacja produkcji w kopalni węgla kamiennego*. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
- [3] Karolczak Z., Trzaska K.: *Automatyzacja transportu przenośnikowego i kołowego*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1978, 6.
- [4] Snopkowski R.: *Metoda identyfikacji rozkładu prawdopodobieństwa wydobywania uzyskiwanego z przodków ścianowych kopalń węgla kamiennego*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2000.
- [5] Magda R., Woźny T., Kowalczyk B., Głodzik S., Gryglik D.: *Racjonalizacja modelu i wielkości kopalni węgla kamiennego w warunkach gospodarczych początku XXI wieku*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2002.
- [6] Krzemień S.: *Zagrożenia litosferyczne w ujęciu teorii procesów losowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo nr 159, Gliwice 1987.
- [7] Targalski J., *Podjęmowanie decyzji*. W: *Organizacja i zarządzanie*, red. A. Stabryła, J. Trzcieniecki, Warszawa 1986.
- [8] Kieżun W.: *Sprawne zarządzanie organizacją*. Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 1997.
- [9] Snopkowski R., Sukiennik M.: *Selection of the longwall face crew with respect to stochastic character of the production process – part 1 – procedural description*. Archives of Mining Sciences 2012, 57, 4, <https://doi.org/10.2478/v10267-012-0071-9>.
- [10] Snopkowski R., Sukiennik M.: *Longwall face crew selection with respect to stochastic character of the production process – part 2 – calculation example*. Archives of Mining Sciences 2013, 58, 1, <https://doi.org/10.2478/amsc-2013-0016>.
- [11] Kozdrój M., Kozdrój-Weigel M.: *Teoria i praktyka organizowania produkcji górniczej*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1993.
- [12] Napieraj A.: *Metoda probabilistycznego modelowania czasu trwania czynności cyklu produkcyjnego realizowanego w przodkach ścianowych kopalń węgla kamiennego*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2012.
- [13] Napieraj A., Snopkowski R.: *Method of the production cycle duration time modeling within hard coal longwall faces*. Archives of Mining Science 2012, 57, 1, 3, <https://doi.org/10.2478/v10267-012-0009-2>.

prof. dr hab. inż. RYSZARD SNOBKOWSKI
snopkows@agh.edu.pl

dr hab. inż. MARTA SUKIENNIK, prof. AGH
marta.sukiennik@agh.edu.pl

dr inż. ANETA NAPIERAJ
aneta.napieraj@agh.edu.pl

Wydział Inżynierii Łądowej
i Gospodarki Zasobami AGH
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków