

dr hab. inż. HENRYK PRZYBYŁA, prof. nzw. w Pol. Śl.  
dr inż. ZYGMUNT KORBAN  
Politechnika Śląska  
Katedra Zarządzania i Inżynierii Bezpieczeństwa

## Wielokryterialna ocena rozwiązań T – T – O wzbogacona o analizę wrażliwości

*Wybór układu techniczno-organizacyjnego, będącego szczególnym przypadkiem procesu decyzyjnego, to w istocie wyznaczenie alternatywnych sposobów realizacji zakładanych celów, sprecyzowanie kryteriów oceny (wyboru) oraz dokonanie wyboru wariantu działania. W artykule proces ten został przedstawiony na przykładzie doboru wyposażenia technicznego dla wyrobiska eksploatacyjnego. Zastosowana wielokryterialna ocena rozwiązań T-T-O uzupełniona została o analizę wrażliwości umożliwiającą zobrazowanie wpływu zmiennej sytuacji na rynku na wynik końcowy procesu podejmowania decyzji.*

### 1. WPROWADZENIE

---

Współczesność ma to do siebie, że jest trudno przewidywalna, a nasza wiedza o przyszłości jest niepewna i niepełna. Dla tej nie w pełni rozpoznanej przyszłości należy dzisiaj podejmować takie decyzje, aby jutro ich skutki były korzystne dla decydenta i interesariuszy, których reprezentuje tenże decydent. W kopalniach węgla kamiennego do takich typowych decyzji należy dobór uzbrojenia do projektowanych wyrobisk wybierkowych. Są to decyzje o lokalizacji maszyn i urządzeń o sumarycznej wartości kilkudziesięciu milionów złotych i o dobowej wartości wydobycia około miliona złotych. Zobowiązani jesteśmy również dodać, że dobieramy układy techniczne dla nie w pełni rozpoznanych warunków górniczo-geologicznych. W rachunku efektywności inwestycji do klasycznych już metod należy zaliczyć metody NPV, IRR itd. W metodach tych istotną rolę odgrywa czas i zmiana wartości w czasie (w latach). W przypadku uzbrojenia wyrobiska wybierkowego mamy taką sytuację, że czas istnienia tegoż wyrobiska  $T_w$  jest ograniczony wybiegiem ściany  $L$  i postępowaniem frontu wybierania  $p$  ( $T_w = L/p$ ) [1], [2].

W warunkach górnictwa węgla kamiennego wybiegi ścian rzadko przekraczają 1000 m (wyjątek stanowi KWK Bogdanka) a czas ich „życia” równy jest od kilku do kilkunastu miesięcy. Maszyny i urządzenia stanowiące uzbrojenie techniczne wyprowadzone są z likwidowanego wyrobiska i przemieszczane zgodnie z harmonogramem biegu ścian do innych wyrobisk. Procesy demontażu, transportu, przeglądu (oceny stopnia zużycia i koniecznej naprawy) oraz montażu w nowym wyrobisku trwają kilka miesięcy i są to miesiące bezproduktywne. W czasie tym generowane są tylko koszty amortyzacji i obsługi tych procesów. Prezentacja problemu jest zdaniem autorów zasadna i ma związek z prezentowaną metodą oceny, w której istotne znaczenie ma analiza wrażliwości, przy czym analizę wrażliwości uzasadniają obserwowane zmiany na rynku węglowym, w których wyróżnić można koniunkturę, dekoniunkturę i w miarę ustabilizowane warunki sprzedaży. Dla pełnego uzasadnienia stosowanej metody pragniemy również dodać, że istotą problemu nie jest to czy wybierać węgiel z projektowanego wyrobiska, tylko który z rozpatrywanych typów uzbrojenia jest korzystniejszy.

**Tabela 1**  
**Macierz wyników dla typów uzbrojenia „A”, „B”, „C”**

Lp.	Rodzaj ocen	Jednostka miary	Wyniki oczekiwane			Znaczenia 0 - 10
			„A”	„B”	„C”	
1	Nakłady	mln zł	37	42	55	8
2	Koszt jednostkowy	zł/t	270	265	255	9
3	Cena jednostkowa	zł/t	290	290	320	8
4	Wydobycie	t/doba	3000	4000	2600	7
5	Obłożenie	osoba/doba	72	72	34	6
6	BHP	j.b.	75	80	90	10
7	Komfort pracy	j.b.	80	85	90	7

**Tabela 2**  
**Macierz wyników unormowanych**  
wraz z normalizacją znaczeń ( $z_{ui} = \frac{z_i}{z_{i \max}}$ )

Lp.	Rodzaj ocen	Wyniki			Znaczenia
		„A”	„B”	„C”	
1	Nakłady	1,00	0,88	0,67	0,8
2	Koszt jednostkowy	0,94	0,96	1,00	0,9
3	Cena jednostkowa	0,91	0,91	1,00	0,8
4	Wydobycie	0,75	1,00	0,65	0,7
5	Obłożenie	0,47	0,47	1,00	0,6
6	BHP	0,83	0,89	1,00	1,0
7	Komfort pracy	0,89	0,94	1,00	0,7

## 2. WIELOWYMIAROWA ANALIZA PORÓWNAWCZA

Pierwszym zadaniem analityka problemu (osoby odpowiedzialnej za prawidłowość obliczeń) jest przygotowanie macierzy wyników (ocen), które będą stanowić podstawę wielowymiarowej oceny. Przy ustale-

niu zbioru wyników osoba ta korzysta z wiedzy znawców problemu (ekspertów) wskazujących, które wyniki należy uwzględnić w ocenie i jakie należy im przypisywać znaczenia. W badaniach tych najczęściej wytypowanym ekspertom proponuje się wstępny zestaw wyników uzgodniony z kadrą kierowniczą kopalni oraz proponuje się przedział zmienności znaczeń im przypisywanych. Każdy z ekspertów ma prawo wprowadzić nową ocenę lub też eliminować ze zbioru tę ocenę, dla której przypisał znaczenie „0”. Procedurę tę powtarzamy do momentu gdy uzyskamy zgodność ekspertów co do zbioru ocen i wystarczającą zgodność co do ich znaczeń (za zgodne opinie uważa się te, dla których wskaźnik zmienności  $Wz$  jest niższy lub równy od przyjętego  $Wz = \text{odchylenie standardowe/wartość średnia}$ ). Zgodnie z tą procedurą i przy założeniu, że nie występuje ani koniunktura, ani dekoniunktura dla trzech znacząco ważnych typów uzbrojenia technicznego („A”, „B”, „C”) opracowana została macierz wyników (tabela 1). Odczucia bezpieczeństwa pracy oraz komfortu pracy zostały wyznaczone na podstawie sondażu opinii pracowników, którzy pracowali z tymi kompleksami ścianowymi.

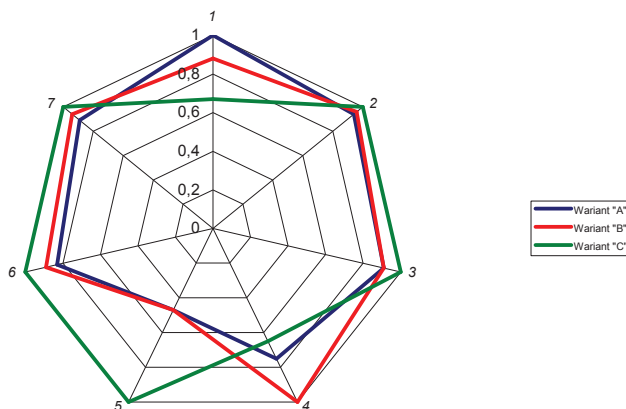
Na potrzeby dalszych obliczeń należy wśród ocen wyróżnić tzw. stymulanty „S” i destymulanty „D”. Do zbioru stymulant zaliczamy te oceny, których przyrosty wielkości oceniamy pozytywnie, a destymulanty to te oceny, których przyrosty wielkości oceniamy negatywnie.

Dla unormowania ocen przekształcamy je wg formuł [1], [2]:

$$\text{stymulanty } o_{usi} = \frac{o_{si}}{o_{s \max}} \quad (1);$$

$$\text{destymulanty } o_{udi} = \frac{o_{d \min}}{o_{di}} \quad (2)$$

Interpretację graficzną wyników dla unormowanej sytuacji na rynku węglowym przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Interpretacja graficzna wyników dla unormowanej sytuacji na rynku węglowym

Na podstawie macierzy wyników unormowanych liczymy dystans jaki dzieli rozpatrywany kompleks od rozwiązania idealnego, które tworzą „jedyńki” w siedmiowymiarowej przestrzeni:

$$D_i = \left[ \sum_{i=1}^n z_i (1 - o_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$D_A = [0,8 (1-1)^2 + 0,9 (1-0,94)^2 + 0,8 (1-0,91)^2 + 0,7 (1-0,75)^2 + 0,6 (1-0,47)^2 + 1,0 (1-0,83)^2 + 0,7 (1-0,89)^2]^{1/2} = 0,5093$$

$$D_B = [0,8 (1-0,88)^2 + 0,9 (1-0,96)^2 + 0,8 (1-0,91)^2 + 0,7 (1-1)^2 + 0,6 (1-0,47)^2 + 1,0 (1-0,89)^2 + 0,7 (1-0,94)^2]^{1/2} = 0,4746$$

$$D_C = [0,8 (1-0,67)^2 + 0,9 (1-1)^2 + 0,8 (1-1)^2 + 0,7 (1-0,65)^2 + 0,6 (1-1)^2 + 1,0 (1-1)^2 + 0,7 (1-1)^2]^{1/2} = 0,4158$$

Na podstawie obliczonych dystansów względem rozwiązania idealnego obliczone zostały mierniki „dobroci” rozwiązań wg formuły:

$$Md_A = 1 - \frac{D_A}{D_{i\max}} = 0,000 \quad (4)$$

$$Md_B = 1 - \frac{D_B}{D_{i\max}} = 0,068 \quad (5)$$

$$Md_C = 1 - \frac{D_C}{D_{i\max}} = 0,1836 \quad (6)$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że projektowane wyrobisko najkorzystniej uzbroić w kompleks C”.

Na podstawie sondażu ekspertów wyznaczone zostały również znaczenia dla okresu, w którym występuje koniunktura na węgiel oraz znaczenie dla okresu z dekoniunkturą (tabela 3). W prezentowanych obliczeniach nie zamieściliśmy cen, które na etapie obliczeń trudno prognozować – w przypadku znanych cen należy je uwzględnić w obliczeniach.

**Tabela 3**

**Znaczenia ocen w okresie koniunktury i dekoniunktury na węgiel**

Lp.	Rodzaj ocen	Znaczenia	
		koniunktura	dekoniunktura
1	Nakłady	0,8	1,0
2	Koszt jednostkowy	0,8	1,0
3	Cena jednostkowa	1,0	1,0
4	Wydobycie	1,0	0,6
5	Obłożenie	0,6	0,7
6	BHP	1,0	1,0
7	Komfort pracy	0,7	0,8

Dla okresu tzw. koniunktury na węgiel, tj. sytuacji gdy wzrasta zapotrzebowanie na węgiel i wzrasta jego cena zmianie ulegają znaczenia, a to powoduje zmiany w dystansie do rozwiązania idealnego. I tak:

$$D_A = 0,5935; \quad D_B = 0,4540; \quad D_C = 0,4578$$

$$Md_A = 0,0; \quad Md_B = 0,235; \quad Md_C = 0,229$$

W takiej sytuacji najkorzystniej jest uzbroić wyrobisko ścianowe w kompleks „B”.

Dla okresu tzw. dekoniunktury, gdy maleje zapotrzebowanie na węgiel, maleją jego ceny, zmieniają się również znaczenia, a to powoduje zmiany w dystansie do rozwiązania idealnego. I tak:

$$D_A = 0,5293; \quad D_B = 0,4795; \quad D_C = 0,4271$$

$$Md_A = 0,0; \quad Md_B = 0,0094; \quad Md_C = 0,193$$

Dla tej sytuacji najkorzystniej uzbroić jest wyrobisko ścianowe w kompleks „C”.

Oceniając kompleksy i uzyskiwane z ich eksploatacji wyniki można zdaniem autorów preferować kompleks „C”, który również w okresie koniunktury uzyskiwał wyniki zbliżone do wyników z eksploatacji kompleksu „B”.

W przypadkach gdy koniunkturze bądź dekoniunkturze towarzyszy prócz znaczeń zmiana cen sytuacja decyzyjna ulega znaczącej zmianie. Na potrzeby artykułu zakładamy, że w okresie koniunktury układ cen będzie jak poniżej:

- kompleks „A”  $c_j = 340$  zł/t,
- kompleks „B”  $c_j = 340$  zł/t,
- kompleks „C”  $c_j = 350$  zł/t.

co po unormowaniu oznacza, że dla kompleksów „A” i „B”  $c_{juA} = c_{juB} = 0,97$ , a dla kompleksu „C”  $c_{juC} = 1,0$ . Dla tej sytuacji obliczone odległości od rozwiązania idealnego wynoszą:

$$D_A = 0,5633; \quad D_B = 0,4437; \quad D_C = 0,4578$$

i odpowiednio:

$$Md_A = 0,0; \quad Md_B = 0,2123; \quad Md_C = 0,1873.$$

Dla okresu dekoniunktury ceny jednostkowe wynoszą odpowiednio:

$$c_{jA} = 250 \text{ zł/t}, \quad c_{jB} = 250 \text{ zł/t}, \quad c_{jC} = 270 \text{ zł/t},$$

co po unormowaniu oznacza, że:

$$c_{juA} = c_{juB} = 0,9259, \quad c_{juC} = 1,0.$$

Obliczone dystanse do rozwiązania idealnego wynoszą odpowiednio:

$$D_A = 0,5029, \quad D_B = 0,4855, \quad D_C = 0,4271,$$

a mierniki dobroci:

$$Md_A = 0,0, \quad Md_B = 0,0346, \quad Md_C = 0,1507.$$

Zaprezentowaną ocenę opartą o wiele kryteriów i zróżnicowanym znaczeniom jakie są przypisane do każdego z kryteriów uzupełniono oceną jednokryteriową, w której uzyskuje się odpowiedź na pytanie po

ilu dniach zwracają się różnice nakładów na droższe uzbrojenie techniczne. Obliczenia prowadzono wg formuły:

$$T_{gr} = \frac{\Delta N}{\Delta Z} \quad (7)$$

gdzie:

$\Delta N$  – różnica nakładów =  $N_i - N_{i-1}$ , przy założeniu, że  $N_i > N_{i-1}$ ;

$\Delta Z$  – różnica zysków;

$\Delta Z = Q_i(c_{ji} - k_{ji}) - Q_{i-1}(c_{ji-1} - k_{ji-1})$ ;

gdzie:

$k_j$  – koszt jednostkowy,

$c_j$  – cena jednostkowa.

I tak:

$$T_{gr CB} = \frac{55000000 - 42000000}{2600(320 - 255) - 4000(290 - 265)} = \frac{13000000}{69000} \approx 185 \text{ dni}$$

$$T_{gr CA} = \frac{55000000 - 37000000}{2600(320 - 255) - 3000(290 - 270)} = \frac{18000000}{109000} \approx 166 \text{ dni}$$

Z obliczeń wynika, że najkorzystniejszy jest wariant „C” pod warunkiem, że wybieranie tej ściany jest dłuższe niż 185 dni.

Wyniki analiz i obliczeń kończy macierz przeddecyzyjna, w której zaprezentowano najkorzystniejsze wyniki przypisane do konkretnego kompleksu (tabela 4).

**Tabela 4**

**Macierz przeddecyzyjna – najkorzystniejsze wyniki przypisane do konkretnego kompleksu**

Lp.	Rodzaj ocen	Jednostka miary	Najkorzystniejszy wynik	Kompleksy ścianowe
1	Nakłady	mln zł	37	„A”
2	Koszt jednostkowy	zł/t	255	„C”
3	Cena jednostkowa	zł/t	320	„C”
4	Wydobycie	t/doba	4000	„B”
5	Obłożenie	osoba/doba	34	„C”
6	BHP	j.b.	90	„C”
7	Komfort pracy	j.b.	90	„C”
8	Miernik rozwoju		0,1836	„C”
9	Graniczny czas zwrotu nakładów	dni	185	„C”

Podjmujący decyzję bierze odpowiedzialność ekonomiczną i prawną za skutki tych decyzji, a dysponując szerszym niż analityk zbiorem informacji (np. dostępność środków finansowych, w tym ilości zasobów własnych, zdolność kredytowa itp.) ma prawo do wyboru tego kompleksu, który uzna za najkorzystniejszy.

### 3. ZAKOŃCZENIE

Zaprezentowane w uproszczonej formie procedury obliczeniowe umożliwiają dokonanie wyboru takiego rozwiązania, które jest skuteczne i efektywne ze względu na przyjęte kolejne oceny oraz ich znaczenia. Zaprezentowane najkorzystniejsze wyniki wraz ze wskazaniem kompleksu ułatwiają decydom własną ocenę opartą o doświadczenie, konkretne potrzeby i uwarunkowania (ograniczenia) kopalni.

#### Literatura

1. Przybyła H., Chmiela A.: Projektowanie rozwiązań techniczno – organizacyjnych stosowanych w wyrobiskach ścianowych. Skrypt 2063 Gliwice Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 1997.
2. Przybyła H., Chmiela A.: Organizacja i ekonomika w projektowaniu wybierania węgla. Gliwice Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2007.

Recenzent: dr hab. inż. Stanisław Duży, prof. nzw. w Pol. Śl.