

Henryk PRZYBYŁA, Andrzej CHMIELA,
Pedro RIESGO FERNANDEZ

ZASTOSOWANIE OCENY WIELOKRYTERIALNEJ DO WYBORU KOMPLEKSÓW ŚCIANOWYCH

Część 1

Streszczenie. Ocena kompleksu ścianowego w oparciu o tylko jedno kryterium może promować wariant nie zawsze optymalny. Przy ocenie wielokryterialnej konieczne jest wyznaczenie ocen cząstkowych i nadanie każdej z nich wagi, z jaką wpływa na ocenę globalną. W artykule przedstawiono wyniki sondażu opinii ekspertów (pracownicy naukowi oraz dozór wyższy kopalń i spółek), dotyczącego wyznaczania ocen cząstkowych dla porównywania kompleksów ścianowych i związanego z nimi układu organizacyjnego wydobycia węgla w oddziale wydobywczym.

APPLICATION OF MULTI-CRITERIA ASSESSMENT IN THE SELECTION OF LONG WALL COMPLEXES

Part 1

Summary. Proper selection of technical equipment for a new wall is one of the most difficult and responsible decisions to be taken. With multi-criteria assessment, it is necessary to define partial assessments and ascribe each of them respective significance and share in the overall assessment. The paper presents the results of opinion survey provided by experts (research staff and management members of coal mines or cooperatives) concerning the partial assessments undertaken to compare wall complexes and organization systems for mining process in a mining unit. Having completed the survey, subjective opinions of the experts were verified using mathematical methods.

1. Wstęp

Dobór odpowiedniego wyposażenia technicznego i zaprojektowanie optymalnej organizacji produkcji w nowym przodku eksploatacyjnym jest zadaniem trudnym, złożonym i odpowiedzialnym. Od prawidłowości odnowy frontu eksploatacyjnego może zależeć istnienie kopalni, gdyż w grę wchodzi olbrzymie nakłady inwestycyjne [1,4,6,7]. Dostępność maszyn o różnych parametrach i różnych cenach wymusza wieloaspektowe i wielowariantowe rozpatrywanie wyposażenia [2,5].

Ponieważ do porównania kompleksów ścianowych stosuje się wiele kryteriów technicznych, produkcyjnych i ekonomicznych, należy zatem poznać preferencje, jakimi się kierują decydenci i projektanci przy ich doborze. Poznanie ich umożliwi dobranie takich ocen częściowych, które w pełni oddadzą główne parametry kompleksu ścianowego, a znając dodatkowo znaczenie, jakie nadawane jest poszczególnym ocenom częściowym, możliwe będzie zastosowanie do wyboru konkretnego wyposażenia procedur oceny wielokryterialnej [2,3,7].

2. Ustalenie ocen częściowych i ich wag

Pierwszym etapem oceny wielokryterialnej jest ustalenie zbioru ocen częściowych oraz nadanie każdej z nich wagi odzwierciedlającej jej wpływ na oceniany kompleks ścianowy (ocena globalna) [4,5,6].

Układ ocen częściowych winien spełniać własności:

1. kompletność - układ kryteriów jest kompletny, jeżeli może w pełni odzwierciedlić badane zjawisko,
2. rozkładalność - układ jest rozkładalny, jeżeli da się go podzielić na części, ułatwiając w ten sposób proces oceny,
3. minimalne rozmiary - należy oceniać minimalną ilość kryteriów z zachowaniem kompletności oceny,
4. niepowtarzalność - oceny częściowe powinny być tak dobrane, aby nie zaistniało zjawisko kilkakrotnego oceniania tej samej cechy,

5. przejrzystość - osoba oceniająca powinna łatwo zrozumieć znaczenie merytoryczne poszczególnych ocen cząstkowych (kryteriów).

Waga oceny cząstkowej jest to znaczenie, jakie ekspert, decydent czy projektant przypisuje tej ocenie i ma ona odzwierciedlać jej wpływ na ocenę ogólną. Im większa jest waga oceny, tym większy jest wpływ tej oceny na ocenę globalną.

W celu ustalenia zbioru ocen cząstkowych i znaczeń nadawanych im przez eksperta wykorzystuje się często sondaż opinii ekspertów. W trakcie badań ankietowych należy każdego z ekspertów dokładnie zapoznać z celem badania i dla ułatwienia przedstawić mu wstępną listę ocen cząstkowych (kryteriów oceny). Jeżeli według eksperta lista ocen cząstkowych jest niepełna lub zbyt liczna, może on odpowiednio dopisać nowe kryteria lub przypisując zbędnej ocenie znaczenie zerowe ograniczyć listę ocen cząstkowych. Po przeprowadzeniu pierwszego sondażu opinii ekspertów sporządza się zbiorczą listę ocen cząstkowych i przedstawia ją ponownie ekspertom z prośbą o zweryfikowanie swoich ocen poprzez przypisanie znaczeń dla ocen cząstkowych [4,5,6]. W rezultacie przeprowadzonego sondażu opinii ekspertów otrzymuje się pełną listę ocen cząstkowych wraz z przypisanymi im znaczeniami. Wyniki te przedstawia się we Wstępnej Tabeli Ocen. Dla sytuacji aplikacyjnych procedurę tę powtarza się przynajmniej dwa razy.

Po zakończeniu sondażu i sporządzeniu Wstępnej Tabeli Ocen z całej grupy ekspertów wyodrębnia się grupę ekspertów o zbliżonych (w sensie statystycznym) opiniach - rys. 1. Do tego celu wykorzystuje się metody taksonometryczne, a w nich współczynnik zgodności zwany także współczynnikiem konkordacji wyznaczony wzorem:

$$W = \frac{S(d^2)}{S_n(d^2)} = \frac{12 S(d^2)}{m^2(n^3 - n)}$$

gdzie: n - liczba ocen cząstkowych,

m - liczba ekspertów.

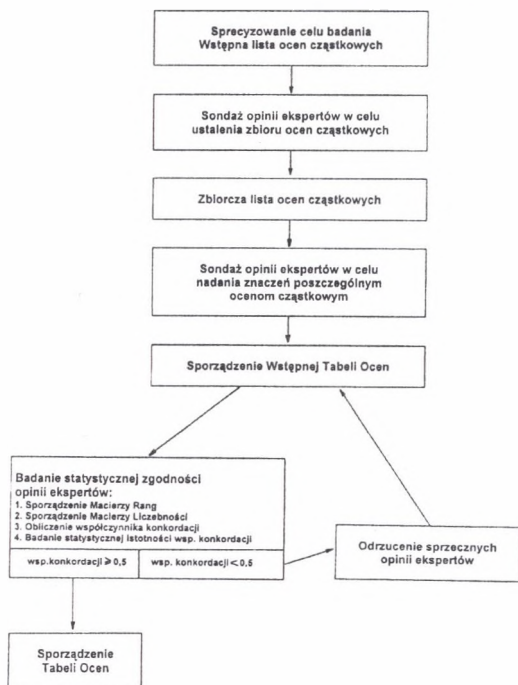
$$S(d^2) = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r})^2 \right] \cdot 1$$

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m r_{ij}$$

$\bar{r}$ - średnia suma rang dla kryteriów.

r_{ij} - ranga j-tego kryterium nadana przez i-tego eksperta.

Współczynnik konkordacji zmienia się w przedziale $0 \leq W \leq 1$ i przyjmuje wartość 1, gdy stanowiska ekspertów są zgodne oraz 0, gdy stanowiska te są różne. Jeżeli obliczona wartość współczynnika konkordacji dla grupy ekspertów będzie mniejsza od 0.5 i będzie ona istotna w sensie statystycznym, to ze Wstępnej Tabeli Ocen eliminuje się ekspertów o skrajnych opiniach. Obliczanie współczynnika konkordacji powtarza się do momentu uzyskania wartości większej niż 0.5.



Rys. 1. Schemat blokowy przeprowadzania badań ankietowych

Fig. 1. Block diagram presenting the survey procedures

W wyniku przeprowadzonych obliczeń i ewentualnym odrzuceniu skrajnych opinii sporządza się Tabelę Ocen będącą modyfikacją Wstępnej Tabeli Ocen. Jeżeli nie jest konieczne odrzucenie skrajnych opinii ekspertów, Wstępna Tabela Ocen staje się Tabelą Ocen [2,3].

Przy ocenie mocy poszczególnych kryteriów porównania oblicza się współczynniki względnej ważności w_j , gdzie $j = (1 \text{ do } n)$, n - ilość ocen częściowych. Im większa jest wartość tego współczynnika dla danego kryterium, tym

jego wpływ na ocenę ogólną jest większy. W procesie obliczania współczynnika względnej ważności danego kryterium nie można porównywać

ze sobą ocen częściowych wpisywanych przez eksperta do tabeli ocen. Porównanie takie mija się z celem, gdyż każdy z ekspertów ma inny sposób oceny, tzn., że np. jeden z nich może oceniać kryteria, używając ocen z górnego przedziału wartości, a inny z dolnego. Aby tego uniknąć, sporządza się Macierz Ocen Unormowanych w ten sposób, że oceny wpisane przez eksperta dzielimy przez sumę wszystkich ocen nadanych przez niego.

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$$

gdzie:

z_{ij} - ocena unormowana nadana i-tej cenie przez j-tego eksperta.

Otrzymuje się w ten sposób macierz, której elementami są wielkości nadające się do porównania między sobą [145,148,152]. Cechą charakterystyczną każdej kolumny jest to, że suma wszystkich jej elementów jest równa "1".

$$\sum_{i=1}^n z_{ij} = 1 \quad \text{dla} \quad j = \text{const}$$

Współczynnik względnej ważności dla danego kryterium oblicza się jako wartość średnią wszystkich ocen częściowych nadawanych przez ekspertów dla tej cechy wg wzoru:

$$w_j = \frac{z_{ij}}{\sum_{j=1}^n z_{ij}} \quad \text{dla} \quad i = \text{const}.$$

Wartości współczynników w_j mieszczą się w przedziale $0 \leq w_j \leq 1$, a ich suma jest równa jedności.

3. Przeprowadzenie ankiety

Badania ankietowe preferencji projektowych przeprowadzono dwuetapowo. W pierwszym etapie ankietowano grono 20 pracowników Politechniki Śląskiej i pracowników Działów Przygotowania Produkcji

kopalń: Andalużja, Bolesław Śmiały, Makoszowy, Sośnica. Ankietowanym przedstawiono wstępną listę kryteriów oceny kompleksów ścianowych z prośbą o nadanie im wagi oraz o uzupełnienie brakujących zdaniem ankietowanych ocen cząstkowych. Ankietowani mieli ocenić wagę ocen cząstkowych w skali 0 do 100, przy czym waga kryterium rosła wraz z ilością nadanych punktów. W ankiecie poproszono o przeanalizowanie sytuacji kopalni rozpoczynającej wydobywanie (nowo uruchamianej), kopalni o ustabilizowanym wydobywaniu i kopalni kończącej eksploatację. Eksperci mieli dodatkowo przeanalizować trzy sytuacje na rynku węgla: popyt przewyższa podaż, rynek ustabilizowany i podaż przewyższa popyt (nadprodukcja). Sumarycznie daje to 9 sytuacji decyzyjnych. Wstępna lista ocen cząstkowych zawierała 11 kryteriów oceny: wydobywanie dobowe, wysokość ściany, nachylenie ściany, wartość uzbrojenia, żywotność, okres gwarancji, wydajność oddziałowa, graniczny czas zwrotu nakładów, bezpieczeństwo pracy, komfort pracy, niezawodność.

Większość ankietowanych w pierwszym etapie zwróciła uwagę na brak kryteriów: elastyczność względem kąta nachylenia, elastyczność względem wysokości urabiania, czas potrzebny na zbrojenie, pracochłonność zbrojenia, forma płatności, które to umieszczono w ankietach rozdawanych w drugim etapie. Ponadto ankietowani z kopalń zaproponowali dodatkowe kryterium oceny "Dopuszczenie WUG" - to kryterium nie zostało wprowadzone do następnych ankiet, gdyż każde urządzenie użytkowane w kopalniach węgla kamiennego musi mieć dopuszczenie WUG. Po uzupełnieniu w ankietach dodatkowych kryteriów ponownie poproszono ankietowanych o uzupełnienie wag nowym ocenom cząstkowym.

W drugim etapie przeprowadzenia ankiety rozesłano druki z 16 kryteriami oceny do wszystkich kopalń węgla kamiennego i spółek węglowych oraz do instytucji naukowo-badawczych, takich jak: Politechnika Śląska, AGH, GIG, KOMAG. W ankietach poproszono ekspertów (pracowników naukowych oraz dozór wyższy kopalń i spółek węglowych) o nadanie wag kryteriom oceny wypisanych w ankiecie oraz o dopisanie brakujących kryteriów oceny wraz z ich wagą w skali 0 do 100. W tym etapie ankiety eksperci generalnie nie dodawali nowych kryteriów, jednakże jednostkowo pojawiały się takie kryteria oceny, jak: sposób kierowania stropem, wybieg ściany, znajomość identycznych lub podobnych systemów, kwalifikacje, zawartość skały płonnej, nowoczesność rozwiązań konstrukcyjnych i technicznych.

Ze względu na to, że kryteria te pojawiały się tylko jeden raz, nie wzięto ich pod uwagę w dalszej analizie.

4. Uzyskane wyniki

Po przeanalizowaniu i unormowaniu 88 opinii ekspertów wyliczono wartości średnie dla współczynników względnej ważności. Uzyskane wyniki zamieszczono w tabeli 1. W tabeli znajdują się wartości współczynników wyliczone dla całej grupy ekspertów oraz dla dodatkowych dwu podgrup kontrolnych. Jedną podgrupę stanowili pracownicy kopalń i spółek węglowych, a drugą pracownicy instytucji naukowo - badawczych.

Tabela 1

Wartości współczynników względnej ważności

KRYTERIA OCENY	ŚREDNIO	KOPALNIE	INST.NAUK.-BAD.
Wydobycie dobowe	0.062114	0.061893	0.068382
Wysokość ściany	0.054664	0.054719	0.053111
Nachylenie ściany	0.043106	0.043216	0.039997
Wartość uzbrojenia	0.065885	0.065964	0.063642
Żywotność	0.064963	0.064946	0.06545
Okres gwarancji	0.05927	0.059361	0.0567
Wydajność oddziałowa	0.061906	0.061035	0.086603
Graniczny czas zwrotu nakładów	0.065485	0.066458	0.037923
Bezpieczeństwo	0.09439	0.094303	0.096842
Komfort pracy	0.075047	0.075393	0.065261
Niezawodność	0.080042	0.080008	0.080994
Elastyczność wzgl. kąta nachyl.	0.053783	0.054331	0.038238
Elastyczność wzgl. wysok. urab.	0.056982	0.057724	0.035969
Czas potrzebny na zbrojenie	0.053353	0.05363	0.045494
Pracochłonność zbrojenia	0.050075	0.049889	0.055364
Forma płatności	0.058934	0.05713	0.110028

Tabela 2

Wartości współczynników względnej ważności dla poszczególnych sytuacji decyzyjnych po unormowaniu

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Średnio
Wydobycie dobowe	0.042	0.062	0.085	0.048	0.074	0.087	0.038	0.055	0.078	0.064
Wysokość ściany	0.042	0.048	0.055	0.051	0.055	0.068	0.049	0.050	0.059	0.053
Nachylenie ściany	0.039	0.036	0.033	0.037	0.033	0.034	0.043	0.045	0.039	0.038
Wartość uzbrojenia	0.061	0.057	0.047	0.073	0.065	0.056	0.083	0.077	0.066	0.065
Żywotność	0.083	0.083	0.077	0.070	0.073	0.073	0.045	0.047	0.052	0.067
Okres gwarancji	0.077	0.068	0.063	0.064	0.061	0.057	0.051	0.044	0.044	0.059
Wydajność oddziałowa	0.066	0.054	0.052	0.074	0.060	0.051	0.080	0.074	0.065	0.066
Graniczny czas zwrotu nakład.	0.079	0.071	0.067	0.067	0.056	0.051	0.074	0.066	0.059	0.063
Bezpieczeństwo	0.101	0.103	0.099	0.103	0.101	0.098	0.111	0.113	0.108	0.103
Komfort pracy	0.079	0.078	0.073	0.083	0.083	0.080	0.081	0.082	0.082	0.079
Niezawodność	0.081	0.087	0.092	0.084	0.095	0.095	0.082	0.085	0.088	0.087
Elastyczność wzgl. kąta nach.	0.052	0.050	0.051	0.047	0.044	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047
Elastyczność wzgl. wys. urab.	0.055	0.057	0.055	0.055	0.053	0.057	0.052	0.051	0.053	0.052
Czas potrzebny na zbrojenie	0.039	0.047	0.056	0.039	0.055	0.055	0.045	0.048	0.055	0.049
Pracochłonność zbrojenia	0.040	0.047	0.045	0.037	0.043	0.045	0.046	0.051	0.048	0.046
Forma płatności	0.065	0.052	0.050	0.066	0.050	0.046	0.073	0.065	0.060	0.064
Współczynnik konkordacji	0.249	0.218	0.233	0.241	0.236	0.244	0.278	0.240	0.217	

Tabela 3

Wartości współczynników względnej ważności po unormowaniu, dla 7 parametrów oceny

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Średnio
Wydobycie dobowe	0.101	0.133	0.194	0.064	0.102	0.178	0.060	0.080	0.164	0.11956
Żywność	0.210	0.223	0.144	0.108	0.153	0.109	0.087	0.044	0.088	0.12956
Wydajność oddziałowa	0.040	0.001	0.025	0.177	0.106	0.133	0.194	0.197	0.181	0.11711
Nakłady na wyposażenie techn.	0.144	0.101	0.098	0.061	0.086	0.079	0.196	0.146	0.143	0.11977
Bezpieczeństwo pracy	0.254	0.269	0.273	0.300	0.209	0.229	0.249	0.307	0.255	0.26056
Odczucie komfortu pracy	0.154	0.203	0.138	0.249	0.223	0.194	0.166	0.186	0.144	0.18411
Elastyczność wzgl. warunków góm.-geol.	0.096	0.068	0.127	0.040	0.101	0.079	0.047	0.040	0.026	0.06933
Współczynnik konkordacji	0.536	0.532	0.546	0.573	0.592	0.534	0.569	0.559	0.587	
Ilość ekspertów	16	15	28	18	16	20	18	20	21	

Następnym etapem było zbadanie zgodności opinii ekspertów za pomocą współczynnika konkordacji. Po wyeliminowaniu z grupy ekspertów tych opinii, które skrajnie odbiegały od opinii reszty, uzyskane wyniki uległy pewnej zmianie, co przedstawiono w tabeli 2. Ze względu na dużą liczbę parametrów i ekspertów współczynniki konkordacji były bardzo niskie (tabela 2). Wartości te nie są satysfakcjonujące, wobec czego ograniczono ilość parametrów do 7. Było to spowodowane kilkoma przyczynami. Po pierwsze, jak wynika z literatury [2,3], decydent będący w pełni sił może się skupić efektywnie najwyżej na 7 różnych parametrach przy ocenie wielokryterialnej, a w przypadku dużego zmęczenia liczba ta spada do 2. Drugim powodem ograniczenia była sytuacja dublowania się niektórych ocen cząstkowych, co jest niezgodne z własnością niepowtarzalności dla zbioru parametrów oceny [4, 6, 7]. Ponadto przy dużej ilości ekspertów i dużej ilości parametrów oceny następuje niekorzystne zjawisko wyrównania ocen. Czynniki te były głównymi powodami ograniczenia liczby parametrów do 7 i wzięto pod uwagę parametry: wydobywanie dobowe, żywotność, wydajność oddziałowa, nakłady na wyposażenie techniczne, bezpieczeństwo pracy, odczucie komfortu pracy, elastyczność względem warunków górniczo-geologicznych.

Po przeanalizowaniu całej grupy 88 ekspertów ze względu na tych 7 parametrów uzyskano nowe wartości współczynników względnej ważności zawarte w tabeli 3. Uzyskane współczynniki konkordacji są znacznie wyższe niż w pierwszym przypadku i te wartości są już zadowalające.

5. Wnioski

1. Z doświadczeń górnictwa w Polsce i na świecie wynika, że w najbliższej przyszłości nie należy oczekiwać rewolucyjnych zmian w technologii wybierania węgla. W realiach polskiego górnictwa węglowego system ścianowy pozostanie systemem podstawowym, lecz jego wydajność będzie podlegać zmianom.
2. Dobór wyposażenia technicznego dla nowego wyrobiska ścianowego jest operacją trudną, odpowiedzialną i zależną od wielu czynników, w tym również psychicznych i psychologicznych. Ocena jednokryterialna kompleksu ścianowego może promować wariant nie zawsze optymalny,

toteż dobór układu techniczno-organizacyjnego należy przeprowadzić w oparciu o analizę wielokryterialną.

3. W analizie wielokryterialnej decydent może oceniać tylko niewielką liczbę ocen cząstkowych - max 7. Oceny muszą w pełni charakteryzować badany kompleks, uwzględniając cechy istotne dla analizy i należy unikać kilkakrotnego oceniania tej samej cechy.

Literatura

1. Galas Z.: "Programowanie wielokryterialne." PWE, Warszawa 1987.
2. Korban Z., Kowalik S., Wagner W.: "Komputerowe wspomaganie procesu doboru wyposażenia technicznego dla wyrobisk eksploatacyjnych." ZNPŚ 218, Gliwice 1994.
3. Kowalik S.: "Dobór zmechanizowanych obudów w zależności od warunków górniczo-geologicznych oraz na podstawie parametrów technicznych." ZNPŚ 218, Gliwice 1994.
4. Przybyła H.: "Metody heurystyczne w zarządzaniu." Wiadomości Górnicze 1/96. Katowice 1996.
5. Przybyła H.: "Wielowymiarowa analiza porównawcza i jej zastosowania w badaniach wielocechowych rozwiązań techniczno-organizacyjnych." ZNPŚ, Gliwice 1987.
6. Przybyła H.: "Sformalizowane metody odnowy frontu eksploatacyjnego w kopalniach węgla kamiennego." ZNPŚ nr 153, Gliwice 1988.
7. Przybyła H., Chmiela A.: "Komputerowe wspomaganie projektowania układów techniczno-organizacyjnych." ZNPŚ nr 218, Gliwice 1994.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Wiktor Krawczyk

Wpłynęło do Redakcji 1.10.1997 r.

Abstract

Proper selection of technical equipment for a new wall is one of the most difficult and responsible decisions to be taken. The assessment of a wall complex based solely on one criterion may sometimes promote a solution which is not necessarily the best. With multi-criteria assessment, it is

necessary to define partial assessments and ascribe each of them respective significance and share in the overall assessment. The paper presents the results of opinion survey provided by experts (research staff and management members of coal mines or cooperatives) concerning the partial assessments undertaken to compare wall complexes and organization systems for mining process in a mining unit. Having completed the survey, subjective opinions of the experts were verified using mathematical methods.