ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 246 Nr kol. 1480

Zygmunt KORBAN
Politechnika Śląska, Gliwice

SZACUNKOWY MIERNIK OCENY BEZPIECZEŃSTWA PRACY

Streszczenie. Miary syntetyczne wyznaczone poprzez zastosowanie metod statystyki wielowymiarowej umożliwiają zastąpienie całego zbioru cech opisujących sprawność (ocen cząstkowych) obiektu jedną zmienną będącą wielkością zagregowaną (syntetyczną). Zastosowanie takiego rozwiązania umożliwia dokonanie ocen jednokryterialnych, oceny wielokryterialnej oraz na uporządkowanie podmiotów poddanych ocenie wg dobroci rozwiązań (ranking).

ESTIMATED MEASUREMENT OF EVALUATION WORK SAFETY

Summary. The synthetic measures, which were determined by multidimensional statistical methods enable, the replacement of the whole collection of features that describe object's efficiency (partial marks) for one aggregated variable (synthetic). Application of such solution enables to accomplish single-criteria evaluation, multi-criteria evaluation and the arrangement of subjects that are evaluated according to the quality factor of solution (ranking).

Opis metody

Procedury wyznaczania miernika syntetycznego podzielić można na dwie zasadnicze grupy [3]:

- metody bezwzorcowe, sprowadzające się do wyznaczenia zmiennej syntetycznej będącej funkcją zmiennych zbioru wyjściowego;
- metody zakładające istnienie hipotetycznego wzorca – obiektu modelowego (wzorca), w stosunku do którego wyznacza się odległości taksonomiczne badanych obiektów

(momentów), przy czym współrzędne obiektu wzorcowego można określić na podstawie oceny ekspertów, ogólnie przyjętych norm lub na podstawie danych empirycznych.

Proponowane w literaturze przedmiotu miary syntetyczne różnią się określeniem punktu odniesienia, czyli współrzędnych wzorca, sposobem normowania cech oraz określeniem funkcji agregującej. Najczęściej wartości zmiennej syntetycznej otrzymuje się przez obliczenie odległości poszczególnych obiektów od wzorca. Sam pomiar odległości sprowadza się do wyboru jednej z metryk, np. metryki absolutnej lub metryki euklidesowej, dla której to parametr p jest równy 2:

$$d_{rs} = \sqrt[p]{\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}\left|x'_{rj} - x'_{sj}\right|^{p}}, \qquad (r, s = 1,\ldots, n), \qquad (1.1)$$

gdzie: n – liczba obiektów;

m – liczba cech;

x'_{rj}, x'_{sj} – znormalizowane w dowolny sposób wartości j-tej zmiennej dla r-tego i s-tego obiektu będącego obiektem wzorcowym.

Zależność powyższa należy do najczęściej stosowanych w praktyce, obok takich mierników odległości, jak te podane przez Jeffreysa i Matusitę, Braya–Curtisa, Mahalanobisa czy też Clarka [2].

Konstrukcja miary syntetycznej wymaga określenia wartości cech obiektu będącego przedmiotem oceny oraz cech samego wzorca, to jednak warunkiem podstawowym umożliwiającym wyznaczenie miary syntetycznej jest unormowanie zmiennych wyjściowych. Normalizacja ma na celu doprowadzenie zmiennych posiadających różne miana do porównywalności oraz ujednolicenie charakteru cech. Na potrzeby normalizacji konieczne jest wyróżnienie cech będących stymulantami, destymulantami bądź nominantami [1, 2]. Dla cech – nominant należy wskazać przedziały, w których zachowują się one jak stymulanty oraz przedziały, w których zachowują się jak destymulanty. W procesie normalizacji wykorzystuje się standaryzację zmiennych, przekształcenia ilorazowe lub też unitaryzację. W artykule skorzystano z przekształcenia ilorazowego gdyż tylko taki sposób normalizacji umożliwia uporządkowanie analizowanych obiektów ze względu na poziom j-tej cechy - wartości znormalizowanych cech mieszczą się w przedziale [0; 1]. Tym samym, im wartości unormowane są bliżej wartości 1, tym bliżej wzorca znajduje się dany obiekt ze względu na rozpatrywaną cechę. Ponadto wartości wyznaczonej miary syntetycznej także są unormowane

w przedziale [0; 1], co stwarza dogodne warunki prowadzenia analiz porównawczych. Im bliższą jedności wartość miary syntetycznej uzyskuje dany obiekt, tym jego kondycja w zakresie stanu bezpieczeństwa pracy jest lepsza. Właściwości tej miary pozwalają na uporządkowanie analizowanych obiektów (ranking), bez dokonywania jakichkolwiek przekształceń.

Omówienie wyników badań

Analizą empiryczną objętych zostało sześć jednostek organizacyjnych (oddziałów) wydzielonych w strukturze organizacyjnej KWK „Budryk" SA. Podstawą analizy były dane uzyskane z raportów dyspozytorskich oraz sprawozdań bhp i zestawień finansowych za lata 1996 i 1997. Zbiorcze zestawienie zmiennych wyjściowych (wartości cech wyjściowych) zawiera tabela 1.

Tabela 1

Zbiorowe zestawienie zmiennych wyjściowych

	1996 r.							
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8
G 1	0	3	11	3	16302	1733628	106	81
G 2	0	3	7	3	21606	1696032	101	81
G 3	0	3	3	3	3042	394290	86	68
GR 2	0	3	14	3	26598	2356926	146	139
GR 3	0	3	11	3	18330	1031160	70	51
GZŁ	0	3	3	3	24024	1425996	98	83
	1997 r.							
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8
G 1	0	3	8	3	38824	1795380	95	70
G 2	0	3	10	3	26220	2003484	112	81
G 3	0	3	15	3	51152	2052612	127	109
GR 2	0	3	14	3	32936	2673796	155	137
GR 3	0	3	3	4	4692	1040428	52	32
GZŁ	0	3	7	3	24104	2127592	90	75

gdzie: Z_1 – liczba stwierdzonych zachorowań na choroby zawodowe w oddziale;

Z_2 – liczba stwierdzonych narażeń w oddziale;

Z_3 – liczba zaistniałych wypadków w oddziale;

Z_4 – liczba stwierdzonych zagrożeń w oddziale;

Z_5 – koszt dniówek straconych w skutek wypadków w oddziale;

Z_6 – koszt wszystkich dniówek w oddziale;

Z_7 – liczba osób (nominalna) przewidziana do pracy w oddziale w ciągu doby;

Z_8 – rzeczywista liczba osób zatrudnionych w oddziale w trakcie doby.

Zaznaczyć należy, iż wśród zbioru zmiennych{Z}, których wartości zamieszczone zostały w tablicy, dwie (Z_7 i Z_8) uznano za nominanty, pozostałych sześć (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 i Z_6) za destymulanty.

Przetworzenie wartości ww. cech wyjściowych umożliwiło wyznaczenie sześciu wskaźników opisujących stan bezpieczeństwa pracy w oddziałach. Wskaźniki te zawiera tabela 2.

Tabela 2

Wskaźnik stanu bezpieczeństwa pracy w oddziałach

	1996 r.					
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6
G 1	0	37,037	135,802	37,037	201259,26	21402815,00
G 2	0	37,037	86,420	37,037	266740,74	20938667,00
G 3	0	44,118	44,118	44,118	44735,294	5798382,400
GR 2	0	21,583	100,719	21,583	191352,52	16956302,00
GR 3	0	58,824	215,686	58,824	359411,76	20218824,00
GZL	0	36,145	36,145	36,145	289445,78	17180675,00
	1997 r.					
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6
G 1	0	42,857	114,286	42,857	554628,57	25648286,00
G 2	0	37,037	123,457	37,037	323703,70	24734370,00
G 3	0	27,523	137,615	27,523	469284,40	18831303,00
GR 2	0	21,898	102,190	21,898	240408,76	19516759,00
GR 3	0	93,75	93,750	125,000	146625,00	32513375,00
GZL	0	40,000	93,333	40,000	321386,67	28367893,00

gdzie: W_1 – wskaźnik zachorowań na choroby zawodowe w przeliczeniu na 1000 zatrudnionych w oddziale;

W_2 – wskaźnik częstości występujących narażeń w przeliczeniu na 1000 zatrudnionych w oddziale;

W_3 – wskaźnik częstości wypadków przypadających na 1000 zatrudnionych w oddziale;

W_4 – wskaźnik liczby zagrożeń przypadających na 1000 zatrudnionych w oddziale;

W_4 – wskaźnik kosztów dniówek straconych wskutek wypadków w przeliczeniu na 1000 zatrudnionych w oddziale [zł];

W_6 – wskaźnik kosztów dniówek poniesionych w oddziale przypadających na 1000 zatrudnionych [zł].

Wszystkie wymienione wskaźniki ocenowe uznano za destymulanty, w związku z czym normalizacja wskaźników przeprowadzona została wg zasady:

$$w'_{ij} = \frac{\min\{w_{ij}\}}{w_{ij}} \qquad \text{dla } j \in D \quad \text{i} \quad w_{ij} \neq 0; \tag{1.2}$$

Znormalizowane wartości wskaźników ocenowych przedstawia tabela 3.

Tabela 3

Znormalizowane wartości wskaźników ocenowych

	1996 r.					
	W'_1	W'_2	W'_3	W'_4	W'_5	W'_6
G 1	-	0,583	0,266	0,583	0,222	0,271
G 2	-	0,583	0,418	0,583	0,168	0,277
G 3	-	0,489	0,819	0,489	1	1
GR 2	-	1	0,359	1	0,234	0,342
GR 3	-	0,367	0,168	0,367	0,124	0,287
GZL	-	0,597	1	0,597	0,155	0,337
W. ŚREDNIA	-	**0,603**	**0,505**	**0,603**	**0,317**	**0,419**
	1997 r.					
	W'_1	W'_2	W'_3	W'_4	W'_5	W'_6
G 1	-	0,511	0,817	0,511	0,264	0,734
G 2	-	0,591	0,756	0,591	0,453	0,761
G 3	-	0,796	0,678	0,796	0,312	1
GR 2	-	1	0,913	1	0,610	0,965
GR 3	-	0,233	0,996	0,175	1	0,579
GZL	-	0,547	1	0,547	0,456	0,664
W. ŚREDNIA	-	**0,613**	**0,860**	**0,603**	**0,516**	**0,784**

Następnie przystąpiono do wyznaczenia syntetycznej miary odległości zdefiniowanej wzorem Euklidesa – wartości mierników odległości zestawione na zasadzie rankingu zawiera tabela 4.

Tabela 4

Wartości mierników odległości

	ODDZIAŁ	WARTOŚĆ SYNTETYCZNEGO MIERNIKA ODLEGŁOŚCI	RANKING OBSZARÓW
1996 r.	G 3	0,794	1
	GR 2	0,678	2
	GZL	0,608	3
	G 2	0,438	4
	G 1	0,418	5
	GR 3	0,281	6
1997 r.	GR 2	0,910	1
	G 3	0,752	2
	GR 3	0,695	3
	GZL	0,670	4
	G 2	0,641	5
	G 1	0,600	6

Znając syntetyczną miarę odległości określającą dystans dzielący przedmiot obserwacji od obiektu idealnego (wzorcowego) oraz dysponując wartościami wskaźników ocenowych można różnicować oddziały w zakresie poziomu bezpieczeństwa pracy oraz określać dla każdego z nich niezbędne działania korekcyjne m. in. poprzez wyznaczanie optymalnej ścieżki realizacji działań profilaktycznych.

Wnioski

Uzyskane wyniki badań wskazują, iż w latach 1996 i 1997 w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy najbliżej rozwiązań wzorcowych znalazły się dwa oddziały:

- oddział G 3, którego wartości odległość od „ideału" wyniosła 0,794 w roku 1996 i 0,910 w roku 1997;
- oddział GR 2, którego odległości od wzorca wyniosły odpowiednio 0,678 i 0,910.

Oddział GR 3, który w roku 1996 z wartością syntetycznej miary odległości 0,281 był z kolei oddziałem najbardziej oddalonym od wspomnianego wzorca, w roku następnym, tj. 1997, wykazał największą progresję wyniku (0, 414), co pozwoliło mu jednocześnie na przesunięcie się w rankingu oddziałów z miejsca szóstego (ostatniego) w roku 1996 na miejsce trzecie w 1997 r.

Wartości wskaźników ocenowych wskazują na mocne i słabe „ogniwa" w łańcuchu ocen cząstkowych – elementów składowych syntetycznej miary odległości. Tym samym wartości te mogą być pomocne dla osób kierownictwa i dozoru ruchu zakładu górniczego w procesie identyfikacji obszarów wymagających niezbędnych działań korekcyjnych i naprawczych zarówno w odniesieniu do samych jednostek organizacyjnych wydzielonych w strukturze organizacyjnej kopalni, jak i całych działów (pionów). Przykładowo: uzyskane przez oddziały G2 i GZL wartości wskaźników ocenowych w roku 1996 (sygnalizowane strzałkami czarnymi), wskazują na konieczność minimalizacji poziomu kosztów ponoszonych zarówno wskutek wypadków, jak i kosztów ogółem. Tylko nieznacznie lepszy rezultat osiągnął wskaźnik częstości wypadków, który w przypadku oddziału G 2 wyniósł 0,418. Mając na uwadze powyższe uwagi można wnioskować potrzebę weryfikacji istniejących warunków pracy, tak by w parze z działaniami zmierzającymi do minimalizacji ogólnej liczby wypadków eliminować przede wszystkim te zaliczane do najcięższych kategorii. Chcąc ustalić szczegółowe przyczyny wysokich kosztów ogółem należałoby przeprowadzić badania dodatkowe - uzupełniające, które umożliwiłyby uzyskanie odpowiedzi na pytania dotyczące m. in. takich zagadnień, jak wpływ wielkości zatrudnienia i bodźców motywacyjnych (o charakterze finansowym) promujących odpowiednie postawy pracowników w procesie pracy na wielkość kosztów poniesionych w oddziale, czy też problemu wyposażenia oddziału i załogi w niezbędny sprzęt i urządzenia - pytanie to należałoby odnieść zarówno do ilości i jakości (stanu technicznego wyposażenia), ale również w stosunku do jego dostępności.

Na analogicznych zasadach można przeprowadzić przykładową analizę dotychczasowych dokonań wszystkich badanych oddziałów w zakresie poziomu kosztów i to zarówno tych poniesionych wskutek samych wypadków, jak i kosztów ogółem. Wskazane strzałkami szarymi kolumny przedstawiające obliczone wartości ww. wskaźników ocenowych wyraźnie pokazują, iż problem ten dotyczy większości badanych oddziałów. Stąd najniższe w obu latach wartości średniej odległości względem rozwiązania idealnego –wyniosły one odpowiednio 0,317 w 1996 r. i 0,516 w 1997 r.

Określenie tzw. optymalnej ścieżki rozwoju dla poszczególnych oddziałów stwarza możliwość opracowania scenariuszy decyzyjnych, a tym samym dokonanie symulacji w zakresie wpływu poszczególnych działań korekcyjnych na końcową wartość syntetycznej miary odległości obiektu będącego przedmiotem badań od wzorca idealnego. Przykładowo więc dla oddziału G 3 w roku 1996 wartości wskaźników częstości występowania narażeń środowiskowych oraz zagrożeń środowiskowych były zdecydowanie najgorsze w zbiorze sześciu analizowanych wskaźników ocenowych. Można zatem wnioskować, iż tym samym działania osób kierownictwa i dozoru powinny być przede wszystkim skoncentrowane na weryfikacji istniejących rozwiązań techniczno-organizacyjnych, co przyczyniłoby się do eliminowania wspomnianych narażeń i zagrożeń środowiskowych. Jakkolwiek nie zarejestrowano przypadków zachorowań na choroby zawodowe ($Z_1 = 0$), to jednak potencjalne zagrożenie z tytułu oddziaływania narażeń i zagrożeń środowiskowych było duże i zaliczyć je należy do najwyższych w gronie badanych oddziałów. Ewentualna poprawa wartości wskaźnika częstości narażeń środowiskowych z 0,489 na 0,796, podobnie jak i wskaźnika częstości liczby zagrożeń środowiskowych (co zresztą nastąpiło w 1997 roku) przy jednoczesnym przyjęciu, iż pozostałe wartości wskaźników (z roku 1996) utrzymane pozostałyby na nie zmienionym poziomie spowodowałoby wzrost wartości syntetycznego miernika odległości z 0,794 do 0,842.

Poglądowy proces określania optymalnej ścieżki rozwoju dla jednej z badanych jednostek organizacyjnych (oddziału G 3) można przedstawić w układzie XYZ. Zakładając, że mamy do czynienia z przestrzenią maksymalnie trójwymiarową, oddalenia od wzorca idealnego w kolejnych etapach wyznaczone zostały zgodnie z następującymi argumentami:

- wskaźnik częstości występowania narażeń środowiskowych (współrzędna X);
- wskaźnik częstości wypadków (współrzędna Y);
- wskaźnik częstości występowania zagrożeń środowiskowych (współrzędna Z).

Jednocześnie przyjęto, iż stan idealny (rozwiązanie idealne) obrazuje punkt w przestrzeni o współrzędnych $X_0 = 1{,}0$ $Y_0 = 1{,}0$ $Z_0 = 1{,}0$ natomiast stan wyjściowy (początkowy) - punkt o współrzędnych $X_1 = 0{,}489$ $Y_1 = 0{,}819$ $Z_1 = 0{,}489$, którego wektor obrazujący dobroć rozwiązania wynosi 0,619.

Rozwiązanie 1

Zakładamy, iż w rezultacie działań prowadzonych przez osoby kierownictwa i dozoru ruchu następuje zmiana wartości jednego z argumentów - redukcji ulega liczba występujących

narażeń środowiskowych w oddziale, w konsekwencji czego następuje wzrost argumentu X z wartości $X_1 = 0,489$ do wartości $X_2 = 0,589$, przy Y_1 = const., Z_1 = const.

Tym samym dystans dzielący rozwiązanie nr 1 od rozwiązania idealnego zmniejszył się z 0,381 do 0,353, tj. uległ redukcji o 0,028.

Rozwiązanie 2

Zakładamy, iż w rezultacie działań prowadzonych przez osoby kierownictwa i dozoru ruchu następuje zmiana wartości dwu argumentów - redukcji ulega liczba występujących narażeń środowiskowych w oddziale oraz liczba występujących zagrożeń środowiskowych, w konsekwencji czego następuje:

- wzrost argumentu X z wartości $X_1 = 0,489$ do wartości $X_2 = 0,589$;
- wzrost argumentu Y z wartości $Y_1 = 0,819$ do wartości $Y_2 = 0.830$

przy Z_1 = const.

Tym samym dystans dzielący rozwiązanie nr 2 od rozwiązania idealnego zmniejszył się z 0,381 do 0,256, tj. uległ redukcji o 0,125 (w porównaniu do działań zaproponowanych w rozwiązaniu nr 1 dystans ten zmniejszył się o 0,096).

Rozwiązanie 3

Zakładamy, iż w rezultacie działań prowadzonych przez osoby kierownictwa i dozoru ruchu następuje zmiana wartości trzech argumentów - redukcji ulega liczba występujących narażeń środowiskowych w oddziale, liczba występujących zagrożeń środowiskowych oraz liczba wypadków, w konsekwencji czego następuje:

- wzrost argumentu X z wartości $X_1 = 0,489$ do wartości $X_2 = 0,589$;
- wzrost argumentu Y z wartości $Y_1 = 0,819$ do wartości $Y_2 = 0.830$;
- wzrost argumentu Z z wartości $Z_1 = 0,489$ do wartości $Z_2 = 0,987$.

Tym samym dystans dzielący rozwiązanie nr 3 od rozwiązania idealnego zmniejszył się z 0,381 do 0,181, tj. uległ redukcji o 0,200 (w porównaniu do działań zaproponowanych w rozwiązaniu nr 1 dystans ten zmniejszył się o 0,172, a w porównaniu do działań zaproponowanych w rozwiązaniu nr 2 – o 0,075).

Kontynuując powyższy proces w postaci kolejnych etapów decydent stara się uzyskać wartość odległości liczoną od rozwiązania idealnego równą 1,0. Łącząc uzyskane w ten sposób punkty, możliwe staje się przedstawienie w sposób poglądowy (graficzny) optymalnej ścieżki rozwoju dla dowolnego obiektu będącego przedmiotem analizy, która obrazuje

rzeczywiste lub planowane działania i dokonania osób kierownictwa oraz dozoru ruchu zmierzające do poprawy stanu bezpieczeństwa i higieny pracy.

LITERATURA

1. Krzemień S.: Wartościowanie identyfikatorów zagrożeń i podział obiektów górniczych na kategorie bezpieczeństwa. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Górnictwo z. 205, Gliwice 1992, s. 138-149.
2. Praca zbiorowa pod red. Mynarskiego S.: Badania przestrzennego rynku i konsumpcji. Przewodnik metodyczny. PWN, Warszawa 1992.
3. Siedlecka U.: Taksonomiczna metoda wyboru zmiennych. Praca naukowa Akademii Ekonomicznej nr 84, Wrocław 1992.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Zygmunt Niczyporuk

Abstract

The synthetic methods are based on the indication of the mean distances measured between the normalised values of features that describe the objects and the values of the model (ideal) solution's features. The model (ideal) solution is created on the ground of the most advantageous features from all the objects. The construction of the synthetic measure requires the determination of the value of an object's features which is evaluated and the one of the model itself, but the main condition which makes possible the indication of any synthetic measures is the normalisation of output variables. The normalisation process that is used aims at the comparability of the variables that have different denominations and the unification of the features' character. For the normalisation uses, it is necessary to distinguish the features that are stimulants, destimulants or nominants. For these features which are nominants, the intervals where they behave as stimulants or destimulants should be shown. During the normalisation process, the variables' standardisation, quotient transformations or unitarization are used. In the paper it is the quotient transformation that is used, as it is the only way of

normalisation that makes possible the organisation of the analysed objects according to the j-level feature – the normalised features' values are included in the interval [0, 1].

Thus, the closer the values are to 1, the closer to the model the object is according to the analysed feature.

In the paper, there are six organisation units (divisions), which are isolated in the organisation structure of the pit-coal mine "Budryk" (Inc.), that are subjected to the empirical analysis. The bases for this analysis are the data acquired from the dispatchers' reports, work safety reports and financial sheets in 19996 and 1997. Having processed those input data made possible the indication of six ratios that describe the state of work safety in the mentioned divisions. The values of evaluation ratios indicate strong and weak "links" of the partial evaluation chain – constitutional elements of the synthetic distance measure. Thereby, those values can help the management and mining inspection during the process of the identification of any areas which require necessary corrective and repairing actions as well as for the organisation units isolated in the organisation structure of a coal mine as for the entire divisions (departments).