

Katarzyna Jakowska-Suwalska

Maciej Wolny

Politechnika Śląska w Gliwicach

PROCEDURA WSPOMAGANIA USTALENIA WIELKOŚCI ZAPOTRZEBOWANIA NA MATERIAŁY W KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO*

Wprowadzenie

Produkcyjną działalność przedsiębiorstwa górniczego wyróżnia w znacznej mierze niezdeterminowany charakter wielkości potrzeb materiałowych. Wynika to przede wszystkim z geologicznych warunków wydobywania węgla kamiennego. Praktycznie nie jest możliwe dokładne zaplanowanie przyszłego zapotrzebowania na większość materiałów na podstawie planów produkcji.

Podstawą do budowy planu potrzeb materiałowych jest plan techniczno-ekonomiczny, w którym określone są: budżet, wielkości wydobywania i postęp robót przygotowawczych na kolejny rok, z podziałem na miesiące. Wielkości zapotrzebowania na poszczególne materiały zwykle ustalane są na podstawie wiedzy eksperckiej, która z kolei opiera się na doświadczeniu i wiedzy historycznej. Planowanie rozpoczyna się z około rocznym wyprzedzeniem (na kolejny rok, prace nad planami rozpoczynają się najpóźniej z pierwszej połowie roku poprzedniego). Aspekty procesu planowania potrzeb materiałowych w przedsiębiorstwie górniczym wskazują na jego relatywnie długoterminowy charakter. Ponadto, eksperci podejmujący decyzję dotyczące planowanych wielkości zapotrzebowania działają zwykle w warunkach niepewności i ryzyka. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie propozycji procedury wspomaganie decydena w planowaniu przyszłych potrzeb materiałowych w ramach istniejącego systemu.

* Praca została zrealizowana w ramach projektu badawczego 5520/B/T02/2010/38 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

1. Postać modelu

W planowaniu wielkości zapotrzebowania na materiały w kopalni uwzględnia się plany wydobywania i związane z nim planowane metry robót przygotowawczych, planowane liczby zbrojonych i likwidowanych ścian, ponieważ potrzeby materiałowe reprezentują popyt zależny (od wielkości produkcji). W związku z tym, w dalszej części pracy wielkości zapotrzebowania na każdy materiał związane będą z odpowiednim typem produkcji (wydobywanie, zbrojenie, likwidacja ścian, roboty przygotowawcze), dla której jest on przeznaczony. Jako jednostkę produkcji przyjęto jednostki odpowiednie dla typów produkcji, np. dla wydobywania – tony, dla robót przygotowawczych – metry bieżące, dla zbrojenia i likwidacji ścian ich liczbę lub metry. Przyjęto, że wielkości z_i zapotrzebowania jednostkowego na materiał M_i wyrażone będą w jednostkach naturalnych dla materiału M_i na jednostkę produkcji, w której jest on zużywany. Jeśli jeden materiał zużywany jest w różnych typach produkcji, w modelu będzie on występował jako różne materiały (będzie ich tyle, ile razy występuje on w różnych typach produkcji). Wielkość zapotrzebowania łącznego Z_i na materiał M_i będzie wyznaczana ze wzoru $Z_i = W_i z_i$, gdzie W_i to planowana wielkość produkcji, na którą przeznaczony jest materiał M_i .

W celu konstrukcji modelu wspomagającego planowanie wielkości zapotrzebowania na materiały $M_1, M_2, \dots, M_l$, podzielono na pięć grup, wynikających z możliwości wykorzystania danych historycznych, składowych szeregów czasowych oraz występowania współzależności między wielkościami zużycia materiałów.

Grupa pierwsza to materiały M_i ($i = 1, 2, \dots, r$), których zużycie na jednostkę produkcji (zapotrzebowanie jednostkowe) jest zmienną losową X_i o znanej dystrybucji F_i i decydent uważa, że przyszła wielkość zapotrzebowania jednostkowego może być planowana na podstawie danych historycznych. Należy przyjąć takie wielkości zapotrzebowania na materiały M_i , aby z jak największym prawdopodobieństwem pokryły one popyt na te materiały. Planowane wielkości z_i powinny być dodatkowo odpowiednio niskie oraz nie powinny odchyłać się zbyt wiele od przeszłych wartości. Założono, że wielkości $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ zużycia jednostkowego materiału M_i ($i = 1, 2, \dots, r$) w n poprzednich historycznych okresach nie wykazują trendu, ani wahań okresowych.

Grupa druga to materiały M_i ($i = r + 1, r + 2, \dots, w$), których zapotrzebowanie wykazuje trend lub trend i/lub wahania okresowe, a decydent przyjął, że ta tendencja zostanie utrzymana w planowanym okresie. Można zatem

znanyymi metodami prognostycznymi (np. trend liniowy, modele adaptacyjne) wyznaczyć prognozę z_i^* zapotrzebowania jednostkowego na materiał M_i w planowanym okresie. Należy przyjąć więc taką wielkość zapotrzebowania jednostkowego z_i na materiał M_i , aby w możliwe niewielkim stopniu odchyłała się od wyznaczonej prognozy z_i^* .

Grupa trzecia to materiały M_i ($i = w + 1, w + 2, \dots, s$), których plan zużycia nie może się opierać na danych historycznych (np. w związku ze zmianą technologii, materiały nowe). Decydent powinien więc sam lub przy pomocy ekspertów wyznaczyć prognozę z_i^* wielkości zapotrzebowania jednostkowego na materiał M_i w planowanym okresie. Należy zamówić zatem taką ilość Z_i materiału M_i , aby wielkości zapotrzebowania jednostkowego z_i w możliwe niewielkim stopniu odchyłały się od wyznaczonej prognozy z_i^* .

Grupa czwarta to materiały M_j ($j = s + 1, s + 2, \dots, q$), dla których istnieją materiały $M_{j_1}, M_{j_2}, \dots, M_{j_h}$ z grupy pierwszej, drugiej lub trzeciej, że zachodzi dokładna zależność funkcyjna

$$x_{jt} = f_j(x_{j_1t}, x_{j_2t}, \dots, x_{j_h t}), t = 1, 2, \dots, n$$

gdzie:

x_{jt} – zużycie jednostkowe materiału M_j w okresie t ,

$x_{j_u t}$ – zużycie jednostkowe materiału M_{j_u} w okresie t .

Zależność ta zostanie utrzymana w okresie, na który sporządzany jest plan zakupów.

Zatem wielkość zapotrzebowania z_j na materiał M_j będzie równa $z_j = f_j(z_{j_1}, z_{j_2}, \dots, z_{j_h})$, gdzie z_{j_u} to planowana wielkość zapotrzebowania na materiał M_{j_u} ($u = 1, 2, \dots, h$).

Grupa piąta to materiały M_j ($j = q + 1, q + 2, \dots, l$), dla których istnieją materiały $M_{j_1}, M_{j_2}, \dots, M_{j_v}$ z grupy pierwszej, drugiej lub trzeciej, dla których zachodzi zależność funkcyjna

$$x_{jt} = f_j(x_{j_1t}, x_{j_2t}, \dots, x_{j_v t}, \varepsilon_t), t = 1, 2, \dots, n$$

gdzie:

x_{jt} – zużycie jednostkowe materiału M_j w okresie t ,

$x_{j_u t}$ – zużycie jednostkowe materiału M_{j_u} ($u = 1, 2, \dots, v$) w okresie t ,

ε_t – czynnik losowy.

Zależność ta zostanie utrzymana w okresie, na który sporządzany jest plan zakupów.

W tym przypadku metodami ekonometrycznymi można oszacować nieznane parametry modelu i zbudować model oszacowany w postaci

$$\hat{x}_j = \hat{f}_j(x_{j_1 t}, x_{j_2}, \dots, x_{j_v})$$

gdzie: $\hat{x}_j$ to teoretyczne wartości modelu.

Wielkość zapotrzebowania z_j na materiał M_j nie powinna się zbytnio odchyłać od wielkości $\hat{f}_j(z_{j_1}, z_{j_2}, \dots, z_{j_v})$, gdzie z_{j_u} to planowana wielkość zapotrzebowania jednostkowego na materiał M_{j_u} ($u = 1, 2, \dots, v$).

W ogólnym modelu ustalania wielkości zapotrzebowania, jako kryteria oceniające wielkości zapotrzebowania przyjęto:

(a) prawdopodobieństwo pokrycia zapotrzebowania z_i na materiały grupy pierwszej,

(b) odchylenia wielkości zapotrzebowania z_i od wyznaczonej prognozy z_i^* dla materiałów grupy drugiej i trzeciej,

(c) wielkość zapotrzebowania z_i dla materiałów grupy pierwszej,

(d) odchylenia wielkości zapotrzebowania z_j od wartości

$$\hat{f}_j(z_{j_1}, z_{j_2}, \dots, z_{j_v})$$

dla materiałów M_j grupy piątej.

(e) odchylenia wielkości zapotrzebowania z_i od rzeczywistych wielkości zapotrzebowania $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ materiału M_i w ostatnich n okresach dla materiałów z grupy pierwszej.

Dodatkowo zakłada się, że koszty zakupu wszystkich materiałów: $M_1, M_2, \dots, M_l$ nie mogą przekroczyć pewnej zadanej kwoty K .

Model można zapisać w postaci

$$\begin{cases}
 F_i(z_i) \rightarrow \max, i = 1, 2, \dots, r & (a) \\
 |z_i^* - z_i| \rightarrow \min, i = r + 1, r + 2, \dots, s & (b) \\
 z_i \rightarrow \min, i = 1, 2, \dots, r & (c) \\
 |z_j - \hat{f}_j(z_{j_1}, z_{j_2}, \dots, z_{j_n})| \rightarrow \min, j = q + 1, q + 2, \dots, l & (d) \\
 |x_{it} - z_i| \rightarrow \min, i = 1, 2, \dots, r, t = 1, 2, \dots, n & (e) \\
 z_j = f_j(z_{j_1}, z_{j_2}, \dots, z_{j_n}) j = s + 1, s + 2, \dots, q \\
 \sum_{i=1}^l c_i W_i z_i \leq K \\
 z_i^{lower} \leq z_i \leq z_i^{upper} \\
 W_i z_i \in S_i \\
 i = 1, 2, \dots, s, q + 1, q + 2, \dots, l
 \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

c_i – cena jednostki materiału M_i ,

z_i – wielkość zapotrzebowania jednostkowego na materiał M_i ,

W_i – planowana wielkość produkcji, na którą przeznaczony jest materiał M_i ,

S_i – zbiór wyznaczony na podstawie dodatkowych warunków na wielkość zapotrzebowania łącznego $Z_i = W_i z_i$ materiału M_i (np. S_i to zbiór liczb naturalnych),

z_i^* – prognozowana wielkość zapotrzebowania na materiał M_i dla materiałów grupy drugiej i trzeciej,

$$\begin{aligned}
 z_i^{lower} &\leq \begin{cases} \min(z_i^*, \min(x_{it}; t = 1, 2, \dots, n)), i = r + 1, r + 2, \dots, s, \\ \min(x_{it}; t = 1, 2, \dots, n), i = 1, 2, \dots, r, \\ \min(\hat{f}_i(x_{i_1t}, x_{i_2t}, \dots, x_{i_nt}), t = 1, 2, \dots, n), i = q + 1, q + 2, \dots, l, \end{cases} \\
 z_i^{upper} &\geq \begin{cases} \max(z_i^*, \max(x_{it}; t = 1, 2, \dots, n)), i = r + 1, r + 2, \dots, s, \\ \max(x_{it}; t = 1, 2, \dots, n), i = 1, 2, \dots, r \\ \max(\hat{f}_i(x_{i_1t}, x_{i_2t}, \dots, x_{i_nt}), t = 1, 2, \dots, n), i = q + 1, q + 2, \dots, l, \end{cases}
 \end{aligned}$$

x_{it} – zużycie jednostkowe materiału M_i w okresie t ($t = 1, 2, \dots, n$).

Wartości z_i^{lower} , z_i^{upper} mogą być wyznaczone przez decydenta na podstawie doświadczenia.

Jeśli decydent dodatkowo założy dla materiału M_i maksymalny poziom (poziom aspiracji) F_i^a prawdopodobieństwa pokrycia zapotrzebowania na materiał, to w modelu dodatkowo pojawi się ograniczenie

$$F_i(z_i) \leq F_i^a$$

W celu możliwości porównania wyników wartości funkcji celów w grupach (b), (c), (d) należy przeprowadzić unitaryzację¹. Zaproponowano unitaryzację w postaci

$$z_i^u = \frac{z_i - z_i^{lower}}{A_i}, \quad z_i^{*u} = \frac{z_i^* - z_i^{lower}}{A_i}, \quad x_{it}^u = \frac{x_{it} - z_i^{lower}}{A_i} \quad (2)$$

gdzie $A_i = z_i^{upper} - z_i^{lower}$.

Do wyznaczenia wielkości zapotrzebowania zaproponowano skalaryzację poprzez wprowadzenie ważonych funkcji celu i leksykograficzne programowanie celowe.

Przyjęto oznaczenia:

$u_1, u_2, \dots, u_l$ – wagi nadane przez decydenta poszczególnym materiałom,

$w_1, w_2, \dots, w_n$ – wagi nadane poszczególnym okresom historycznym,

$v_i^{F+}, v_{it}^{Q-}, v_{it}^{Q+}, v_i^{z*+}, v_i^{z*-}, v_i^{z+}, v_j^{f_j+}, v_j^{f_j-}$ – zmienne celowe.

¹ K. Miettinen: Nonlinear Multiobjective Optimization. Kluwer Academic Publishers, Boston 1998; K. Kukula: Metoda unitaryzacji zerowej. PWN, Warszawa 2000; Branke, K. Deb, K. Miettinen, R. Słowiński: Multiobjective Optimization – Interactive and Evolutionary Approaches. Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2008.

Model może przyjąć wtedy postać

$$\begin{cases}
 \sum_{i=1}^r u_i v_i^{F+} \rightarrow \min, & (a) \\
 \sum_{i=r+1}^s u_i (v_i^{z*-} + v_i^{z*+}) \rightarrow \min, & (b) \\
 \sum_{i=1}^r u_i v_i^{z+} \rightarrow \min, & (c) \\
 \sum_{j=q+1}^l u_j (v_j^{fj+} + v_j^{fj-}) \rightarrow \min, & (d) \\
 \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^r u_i w_t (v_{it}^{Q-} + v_{it}^{Q+}) \rightarrow \min, & (e) \\
 F_i(z_i) + v_i^{F+} = F_i^a, \quad i = 1, 2, \dots, r, \\
 x_{it}^u - z_i^u - v_{it}^{Q-} + v_{it}^{Q+} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, r, \\
 z_i^{*u} - z_i^u - v_i^{z*-} + v_i^{z*+} = 0, \quad i = r+1, r+2, \dots, s, \\
 z_j - \hat{f}_j(z_{i_1}, z_{i_2}, \dots, z_{i_w}) + v_j^{fj+} - v_j^{fj-} = 0, \quad j = q+1, q+2, \dots, l \\
 z_i^{lower} \leq z_i \leq z_i^{upper}, \quad i = 1, 2, \dots, s, \\
 v_i^{z+}, v_i^{F+}, v_{it}^{Q-}, v_{it}^{Q+}, v_i^{z*-}, v_i^{z*+}, v_j^{fj+}, v_j^{fj-} \geq 0, \\
 \sum_{i=1}^s c_i z_i W_i \leq K, \\
 Z_i = z_i W \in S_i, \\
 t = 1, 2, \dots, n.
 \end{cases} \quad (3)$$

Zaproponowany model jest modelem o liniowych funkcjach celu oraz liniowymi i nieliniowymi ograniczeniami.

2. Procedura wyznaczania wielkości zapotrzebowania

Procedurę wyznaczania wielkości zapotrzebowania przedstawiono w postaci schematu na rys. 1.

Etap 1. Wybór przez decydenta materiałów $M_1, M_2, \dots, M_l$, które będą podlegać procedurze ustalenia wielkości zapotrzebowania.

Etap 2. Ustalenie przez decydenta wag u_i dla materiałów wybranych w etapie E1 na podstawie ich ważności w procesie produkcyjnym.

Etap 3. Podanie przez decydenta prognoz zapotrzebowania na materiały z grupy trzeciej wyznaczonych dzięki wiedzy o przyszłych działaniach kopalni.

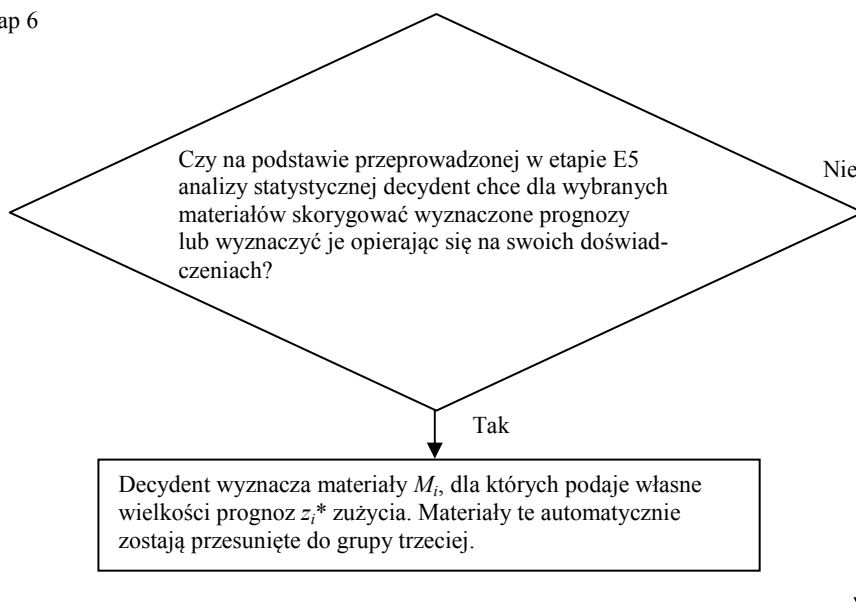
Etap 4. Podanie przez decydenta

- prognozowanej wielkości W_i produkcji w której zużywany jest materiał M_i – prognozowanych cen jednostkowych materiałów $M_1, M_2, \dots, M_l$,
- kwoty K całkowitych wydatków na materiały $M_1, M_2, \dots, M_l$.

Etap 5. Analiza statystyczna zapotrzebowania na materiały na podstawie danych z poprzednich okresów:

- wyznaczenie postaci rozkładu dla materiałów grupy pierwszej,
- wyznaczenie prognoz na podstawie modeli prognostycznych dla materiałów grupy drugiej,
- wyznaczenie ekonometrycznych modeli wielkości zapotrzebowania dla materiałów z grupy piątej,
- wyznaczenie zależności funkcyjnych dla materiałów z grupy czwartej,
- wyznaczenie wartości z_i^{upper}, z_i^{lower} dla materiałów $M_1, M_2, \dots, M_l$.

Etap 6



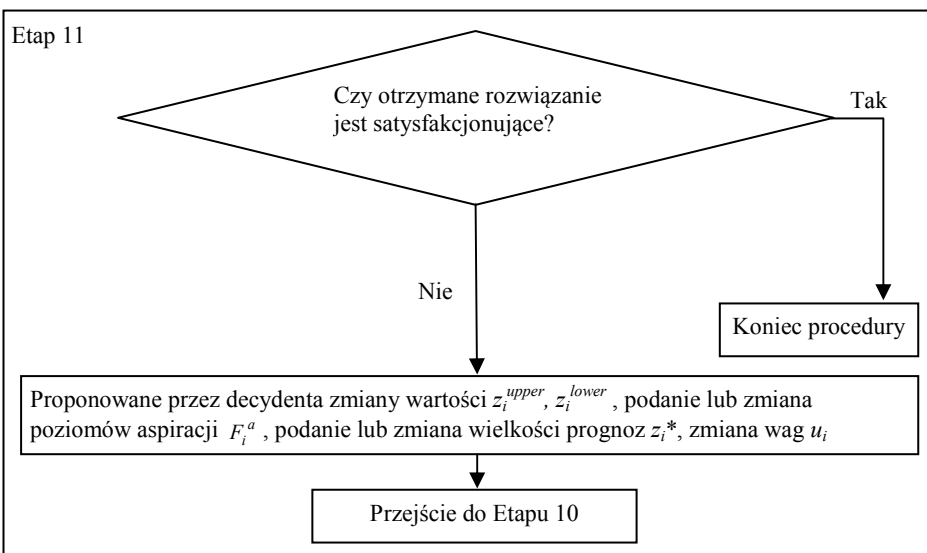
Etap 7. Podanie przez decydenta dla materiałów $M_1, M_2, \dots, M_l$ pożądaných maksymalnych wartości F_i^a (poziomów aspiracji) prawdopodobieństw F_i .

W przypadku braku propozycji zostaną przyjęte wartości $F_i^a = 1$.

Etap 8. Proponowane przez decydenta zmiany wartości z_i^{upper}, z_i^{lower} dla materiałów $M_1, M_2, \dots, M_s$ (w wypadku braku propozycji zmian zachowane zostaną wartości wyznaczone w etapie E5).

Etap 9. Podanie przez decydenta hierarchii (priorytetów) ważności grup funkcji celów (a), (b), (c), (d), (e). W przypadku braku propozycji wyznaczone będzie kilka rozwiązań przy różnych priorytetach ustalonych przez system.

Etap 10. Wyznaczenie wielkości zapotrzebowania na materiały.



Rys. 1. Schemat systemu wspomagającego planowanie wielkości zapotrzebowania

3. Przykład zastosowania procedury wyznaczania wielkości zapotrzebowania na wybrane materiały

Na przykładzie pokazano zastosowanie opisanej procedury do wspomagania ustalenia wielkości zapotrzebowania na kilka materiałów w jednej z kopalń będących oddziałem Kompanii Węglowej S.A.

Etap 1. Do analizy wybrano:

M_1 – drewno kopalniane (używane do obudowy chodników),

M_2 – klej poliuretanowy (używany do uszczelniania wyrobisk),

M_3 – stojaki stalowe cierne (używane do obudowy chodników),

M_4 – krążniki stalowe gładkie M_4 (jeden z elementów przenośników taśmowych).

Etap 2. Przyjęto, że wszystkie rozważane materiały są tak samo ważne w procesie wydobywania, zatem wagi przyporządkowane materiałom M_1, M_2, M_3, M_4 to $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = 0,25$.

Etap 3. Założono, że wielkości zapotrzebowania będą wyznaczone na podstawie danych historycznych (miesięczne dane z dwóch lat 2009-2010 ($t = 1, 2, \dots, 24$)) zużycia materiałów: M_1, M_2, M_3, M_4 . Żaden z tych materiałów nie należy zatem do trzeciej grupy.

Etap 4. Materiały M_1, M_2, M_3 używane są w czasie robót przygotowawczych, a więc ich zużycie (zapotrzebowanie) będzie wyrażone w jednostkach naturalnych na metr robót przygotowawczych. Materiał M_4 – krążnik, jako element przenośników taśmowych jest materiałem uczestniczący bezpośrednio w procesie wydobywania, stąd jego zapotrzebowanie wyrażone będzie w sztukach na tonę wydobywania. Zapotrzebowanie analizowanych materiałów wyrażone będzie w następujących jednostkach:

M_1 – drewno kopalniane w m^3 na metr robót przygotowawczych,

M_2 – klej poliuretanowy w kg na metr robót przygotowawczych,

M_3 – stojaki stalowe cierne w sztukach na metr robót przygotowawczych,

M_4 – krążniki w sztukach na tonę wydobywania.

W tabeli 1 podano planowane wielkości wydobywania, liczby metrów robót przygotowawczych, prognozowane ceny jednostkowe zakupu materiałów M_1, M_2, M_3, M_4 oraz kwotę przeznaczoną na realizację zapotrzebowania w planowanym okresie.

Tabela 1

Ceny jednostkowe materiałów M_1, M_2, M_3, M_4 , planowane roczne wydobywanie, planowana liczba metrów robót przygotowawczych, roczna kwota wydatków na zamawiane materiały

Prognozowana średnia cena kg kleju – c_1	13,75 zł
Prognozowana średnia cena za m^3 drewna – c_2	296 zł
Prognozowana średnia cena za stojak stalowy cierny – c_3	490 zł

cd. tabeli 1

Prognozowana średnia cena za krążnik – c_4	16,96 zł
Planowane wydobycie – W_4	3972000 t
Planowana liczba metrów robót przygotowawczych – W_1, W_2, W_3	14000
Maksymalna kwota przeznaczona na zakup materiałów – K	9 500 000 zł

Źródło: Dane kopalni.

Etap 5. Na podstawie medianowego testu serii na poziomie istotności 0,05 stwierdzono, że wielkości zużycia drewna kopalnianego, kleju poliuretanowego, stojaków oraz krążników wykazują losowość.

W tabeli 2 podano wartości współczynników korelacji pomiędzy zapotrzebowaniem jednostkowym (zużyciem jednostkowym) na materiały: M_1, M_2, M_3, M_4 .

Tabela 2

Współczynniki korelacji pomiędzy zapotrzebowaniem jednostkowym na analizowane materiały

	Zapotrzebowanie na klej	Zapotrzebowanie na drewno	Zapotrzebowanie na stojaki	Zapotrzebowanie na krążniki
Zapotrzebowanie na klej	1			
Zapotrzebowanie na drewno	0,396	1		
Zapotrzebowanie na stojaki	0,262	2	1	
Zapotrzebowanie na krążniki	-0,229	-0,001	0,199	1

Na poziomie istotności 0,05 nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, że wszystkie współczynniki korelacji są statystycznie nieistotne. Można zatem przyjąć, że nie istnieją zależności liniowe pomiędzy historycznymi zapotrzebowaniami jednostkowymi na materiały M_1, M_2, M_3, M_4 . Na poziomie istotności 0,05 testem Kołmogorowa-Smirnowa wykazano, że nie można odrzucić hipotezy o rozkładzie normalnym wielkości zapotrzebowania na drewno kopalniane, klej poliuretanowy, stojaki oraz krążniki. Na podstawie wielkości zużycia zostały wyznaczone wartości z_i^{upper}, z_i^{lower} dla materiałów M_1, M_2, M_3, M_4 .

Tabela 3

Wartości z_i^{upper} , z_i^{lower} dla materiałów M_1, M_2, M_3, M_4

	z_i^{lower}	z_i^{upper}
Klej	4,6790	55,9392
Drewno	0,3313	1,5432
Stojaki	0,1473	0,2826
Krażniki	0,0021	0,0082

Wielkości zużycia materiałów M_1, M_2, M_3, M_4 zostały zunitaryzowane za pomocą wzoru (2). W tabeli 4 podano wartości średniej, odchylenia standardowego oraz postać rozkładu dla zunitaryzowanych wartości zużycia materiałów M_1, M_2, M_3, M_4 .

Tabela 4

Wartości średnie, odchylenia standardowe oraz postaci rozkładu

	Średnia	Odchylenie standardowe	Rozkład
Klej	0,457	0,253	$N(0,457; 0,253)$
Drewno	0,449	0,220	$N(0,449; 0,220)$
Stojaki	0,422	0,264	$N(0,422; 0,264)$
Krażniki	0,446	0,293	$N(0,446; 0,293)$

Na podstawie przeprowadzonej analizy można przyjąć, że wszystkie rozważane materiały należą do grupy pierwszej.

Etap 6. Decydent nie wprowadził żadnych zmian w wyznaczonych wartościach.

Etap 7. Przyjęto wartości z_i^{upper} , z_i^{lower} ($i = 1, 2, 3, 4$) wyznaczone w etapie 5.

Etap 8. Decydent nie podał poziomów aspiracji dla prawdopodobieństw.

Etap 9. Decydent stwierdził, że wszystkie kryteria są jednakowo ważne.

Etap 10. Wielkości zapotrzebowania na materiały M_1, M_2, M_3, M_4 wyznaczone zostaną metodą programowania leksykograficznego przy użyciu modelu (3) z kryteriami (a), (c), (e) przy założeniu, $S_i = N$ ($i = 1, 2, 3, 4$) i wagami harmonicznymi

$$w_t = w_{t-1} + \frac{1}{24(25-t)} \quad (4)$$

w celu postarzania obserwacji.

$$\begin{cases}
 \sum_{i=1}^4 v_i^{F+} \rightarrow \min, & (a) \\
 \sum_{i=1}^4 v_i^{z-} \rightarrow \min, & (c) \\
 \sum_{i=1}^4 \sum_{t=1}^{24} w_t (v_{it}^{Q-} + v_{it}^{Q+}) \rightarrow \min, & (e) \\
 F_i(z_i) + v_i^{F+} = 1, \\
 x_{it}^u - z_i^u - v_{it}^{Q-} + v_{it}^{Q+} = 0, \\
 z_i^u + v_i^{z+} = 0, \\
 0 \leq z_i^u \leq 1, \\
 v_i^{F+}, v_{it}^{Q-}, v_{it}^{Q+}, v_i^{z+} \geq 0, \\
 i = 1, 2, 3, 4, t = 1, 2, \dots, 24, \\
 \sum_{i=1}^4 c_i z_i W_i \leq K.
 \end{cases} \quad (5)$$

Przyjęto, że poszczególne funkcje celu (a), (c), (e) mają nadane następujące priorytety

- P1 – (a), P2 – (c), P3 – (e) (rozwiązanie 1),
- P1 – (a), P2 – (e), P3 – (c) (rozwiązanie 2),
- P1 – (c), P2 – (a), P3 – (e) (rozwiązanie 3),
- P1 – (e), P2 – (a), P3 – (c) (rozwiązanie 4),
- P1 – (e), P2 – (c), P3 – (a) (rozwiązanie 5).

Zagadnienie rozwiązano w arkuszu kalkulacyjnym EXCEL 2010 wykorzystując narzędzie Solver, stosując dostępne metody rozwiązania – nieliniową oraz ewolucyjną. Przy zastosowaniu obu metod otrzymano takie same rozwiązania. Rozwiązania te zapisano w tabeli 5.

Tabela 5

Rozwiązania zagadnienia z wykorzystaniem modelu (5)

	Wielkości zapotrzebowania				Wartości prawdopodobieństwa				Koszt
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	F_1	F_2	F_3	F_4	
1	165719	18939	3997	38731	0,1030	0,9632	0,9872	0,9972	10 499 988,01
2	166111	18921	3997	38728	0,1035	0,9628	0,9872	0,9971	10 499 999,13
3	381356	13162	2077	19683	0,4739	0,5961	0,5459	0,5323	10 491 150,68
4	346665	13436	2482	31835	0,3986	0,6243	0,7130	0,9630	10 499 801,35
5	346202	13436	2495	31835	0,3976	0,6243	0,7178	0,9630	10 499 805,10

Gdy decydent nie wskaże jednego wariantu, do wyboru rozwiązania można wykorzystać jedną z metod wieloatrybutowego wspomaganie decyzji w sytuacji braku informacji o preferencjach². Jak można zauważyć, całkowity koszt nie różnicuje w istotny sposób otrzymanych rozwiązań (maksymalna różnica kosztu wariantów rozwiązań stanowi ok. 0,08% średniego kosztu wszystkich rozwiązań, a współczynnik zmienności kosztu rozwiązań nie przekracza 0,04%). Ponadto koszt każdego z rozwiązań zgodnie z otrzymanym rozwiązaniem spełnia warunek budżetowy. Istotnymi kryteriami są więc prawdopodobieństwa pokrycia zapotrzebowania na poszczególne materiały.

Biorąc pod uwagę przesłanki, że żadne z rozwiązań nie jest zdominowane oraz istotą zagadnienia jest maksymalne pokrycie przez plan przyszłego zapotrzebowania, do wyboru można wykorzystać metodę maximin³

$$R^* = \max_h \min_i F_{hi} \quad (7)$$

gdzie: R^* oznacza wybrane rozwiązanie, F_{hi} to prawdopodobieństwo pokrycia zapotrzebowania na i -ty materiał dla h -tego rozwiązania.

Metoda ta, realizując ideę wyrównywania, wskazuje rozwiązanie maksymalizujące minimalne pokrycie zapotrzebowania na materiały. W sytuacji, gdy formuła (7) wskaże więcej niż jedno rozwiązanie, rekomenduje się ponowne jej zastosowanie dla kolejnych minimów.

W rozpatrywanym przykładzie rozwiązanie 3 gwarantuje maksymalizację minimalnego prawdopodobieństwa pokrycia zapotrzebowania (jednostkowego) na materiały (prawdopodobieństwo to wynosi 0,4739).

Podsumowanie

W pracy przedstawiono propozycję procedury ustalenia wielkości zapotrzebowania na materiały w przedsiębiorstwie górniczym, która ma na celu wspomaganie decydenta przy planowaniu potrzeb materiałowych. Za podstawę budowy procedury przyjęto maksymalizację prawdopodobieństwa pokrycia popytu na materiały opierając się na analizie danych historycznych. Kluczową rolę w procedurze pełni przypisanie materiałów do odpowiednich grup. Grupy materiałów wyróżniono na podstawie:

² Ch.-L. Hwang, K. Yoon: Multiple Attribute Decision Making. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1981.

³ J. Neumann, O. Morgenstern: Theory of Games and Economic Behavior. Princeton University Press, Princeton, New York 1944.

- możliwości bazowania na danych historycznych przy ich planowaniu (grupa trzeci – przy braku takiej możliwości),
- składowych szeregu czasowego wielkości ich historycznego zużycia (grupa pierwsza, grupa druga),
- współzależności wielkości zużycia względem innych materiałów (grupa czwarta, grupa piąta).

W zależności od przynależności do grup przyjęto następujące grupy kryteriów oceny planowanej wielkości zapotrzebowania na materiały:

- prawdopodobieństwo pokrycia zapotrzebowania na materiały (grupa pierwsza),
- wielkość potrzeb materiałowych (grupa pierwsza),
- odchylenia wielkości zapotrzebowania od wartości prognozowanych lub wynikających z zależności (wszystkie grupy).

Przedstawiony przykład wykorzystania procedury dotyczy materiałów związanych bezpośrednio z procesem wydobywania węgla kamiennego. Materiały te przypisano do pierwszej grupy materiałów. Przy wyznaczeniu rozwiązania wykorzystano metodę leksykograficznego programowania celowego z wykorzystaniem interakcji z decydem przy określaniu priorytetów materiałów, funkcji celu oraz poziomów aspiracji. W przypadku braku decyzji decydenta o priorytetach funkcji celu zaproponowano wykorzystanie metody maximin.

Literatura

- Branke J., Deb K., Miettinen K., Słowiński R.: *Multiobjective Optimization – Interactive and Evolutionary Approaches*. Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2008.
- Hwang Ch.-L., Yoon K.: *Multiple Attribute Decision Making*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1981.
- Kukuła K.: *Metoda unitaryzacji zerowej*. PWN, Warszawa 2000.
- Miettinen K.: *Nonlinear Multiobjective Optimization*. Kluwer Academic Publishers, Boston 1998.
- Multiple Criteria Decision Analysis. State of the art Surveys. Eds. J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott. „Springer Science” 2005.
- Neumann J., Morgenstern O.: *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press, Princeton, New York 1944.

A SUPPORTING PROCEDURE FOR ESTABLISHING DEMAND VOLUMES FOR MATERIALS IN HARD COAL MINE

Summary

The paper presents a facilitating procedure of the material planning requirements for a coal mining company. To determine the size of the materials are used the multi-criteria model, the lexicographic goal programming and the maximin method. The main criteria in the site procedure are probabilities of covering the future demand for materials. The Application of the procedure is shown in the example of fixing a contract for mining wood, polyurethane adhesive, steel racks and smooth steel idlers.