

Katarzyna JAKOWSKA-SUWALSKA, Adam SOJDA, Maciej WOLNY
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Ekonomii i Informatyki

WSPOMAGANIE PLANOWANIA WIELKOŚCI ZAPOTRZEBOWANIA NA KLEJ POLIURETANOWY W KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO¹

Streszczenie. Artykuł przedstawia propozycję metody wspomaganie planowania zapotrzebowania na klej poliuretanowy, która bazuje na metodach prognozowania szeregów czasowych oraz na modelu ekonometrycznym. Jako finalny model prognostyczny, wspomagający planowanie wielkości zapotrzebowania, zaproponowano kombinowany model agregujący prognozy postawione za pomocą wybranych modeli. Agregacja polega na zastosowaniu sumy ważonej, przy czym wagi ustalono na podstawie kryterium minimalnego błędu prognoz wygaśłych.

DEMAND PLANNING SUPPORT FOR POLYURETHANE ADHESIVE IN COAL MINE¹

Summary. In this paper proposal of method for polyurethane adhesive demand planning support is presented. The method is based on models of time series forecasting and econometric model. The proposal is to combine the forecasts through application of weighted sum. The weight factors are determined by the minimal mean error of extinct forecasts criterion.

¹ Artykuł powstał w ramach realizacji projektu badawczego nr N N524 552038 „Wielokryterialne wspomaganie planowania i kontrolowania potrzeb materiałowych w przedsiębiorstwie górniczym”, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

1. Wprowadzenie

Planowanie potrzeb materiałowych w kopalni węgla kamiennego wynika bezpośrednio z planowanej wielkości wydobycia. Specyfika działalności wydobywczej obejmuje działanie w sytuacji ryzyka, które wynika między innymi z warunków geologiczno-górnictwowych. Klej poliuretanowy jest jedną z podstawowych pozycji asortymentowych niezbędnych do produkcji i służy do uszczelniania wyrobisk (wzmacniania górotworu w sytuacji rozluźnionych skał i pokładów węgla kamiennego) [2, 5]. Wielkość zapotrzebowania na klej jest uwarunkowana czynnikami geologicznymi oraz wielkością produkcji, zatem planowanie tej wielkości powinno uwzględniać ryzyko wynikające z warunków geologicznych oraz planowaną wielkość wydobycia.

2. Wstępna analiza statystyczna

W przeprowadzonej analizie uwzględniono dane z wybranej kopalni z dwóch lat w ujęciu miesięcznym. Rozważano następujące wielkości: planowane wydobycie [t], rzeczywiste wydobycie [t], dostawy kleju poliuretanowego [kg] oraz zużycie kleju poliuretanowego [kg].

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe statystyki opisowe dotyczące badanych wielkości.

Tabela 1

Podstawowe statystyki opisowe dotyczące badanych wielkości

	Średnia	Mediana	Dolny Kwartyl	Górny Kwartyl	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności [%]
Plan wydobycia [t]	156647,9	159500,0	150000,0	165975,0	14733,73	9,40564
Wydobycie [t]	152466,7	156000,5	144400,0	167800,0	21989,10	14,42224
Dostawy kleju [kg]	19265,6	17240,0	13207,5	23791,0	12203,22	63,34205
Zużycie kleju [kg]	19265,6	16365,5	11898,2	27038,7	13571,19	70,44269

Źródło: opracowanie własne.

Należy zwrócić szczególną uwagę na to, że zużycie kleju poliuretanowego (podobnie dostawy) cechuje silna zmienność, zdecydowanie większa niż wielkość produkcji (wydobycie).

Badanie zależności korelacyjnej potwierdza istotną zależność między wielkościami, między którymi zachodzą związki przyczynowo-skutkowe (wartości współczynników korelacji Pearsona przedstawia tabela 2, istotne wartości dla $p^2 < 0,05$ zaznaczono „*”).

Tabela 2

Wartości współczynników korelacji Pearsona między badanymi wielkościami

	Plan wydobycia [t]	Wydobycie [t]	Dostawy kleju [kg]	Zużycie kleju [kg]
Plan wydobycia [t]	1,000			
Wydobycie [t]	0,405*	1,000		
Dostawy kleju [kg]	0,045	0,061	1,000	
Zużycie kleju [kg]	0,507*	0,874*	0,090	1,000

Źródło: opracowanie własne.

Zależność między zużyciem kleju poliuretanowego a wydobyciem można wyjaśnić koniecznością stosowania kleju w procesie produkcji, jednak planowanie zużycia jest możliwe na podstawie planowanej wielkości produkcji (zbadano korelację z wydobyciem opóźnionym w czasie rzeczywistym, jednak nie była ona duża). Istotna zależność między planem wydobycia a zużyciem kleju zostanie wykorzystana przy budowie modelu wspomaganego planowania zużycia kleju poliuretanowego. Należy przy tym zauważyć, że zmienność zużycia kleju jest wyjaśniana w około 26% przez zmienność wielkości planowanego wydobycia³.

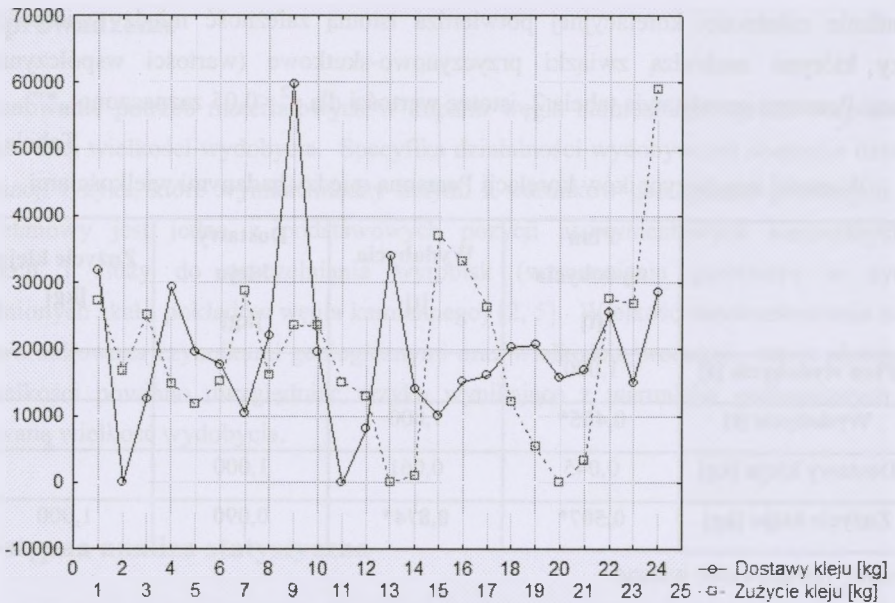
Wartość współczynnika korelacji między zużyciem a wielkością dostaw kleju poliuretanowego wskazuje, że konieczne jest zwiększenie precyzji planowania dostaw. Abstrahując od zagadnień związanych z analizą opóźnień dostaw niezależnych od kopalni, prognoza zużycia kleju może wspomagać proces planowania dostaw, aby koszt związany z zapasem i zamrożeniem kapitału był możliwie jak najmniejszy.

3. Prognozowanie szeregu czasowego zużycia kleju poliuretanowego

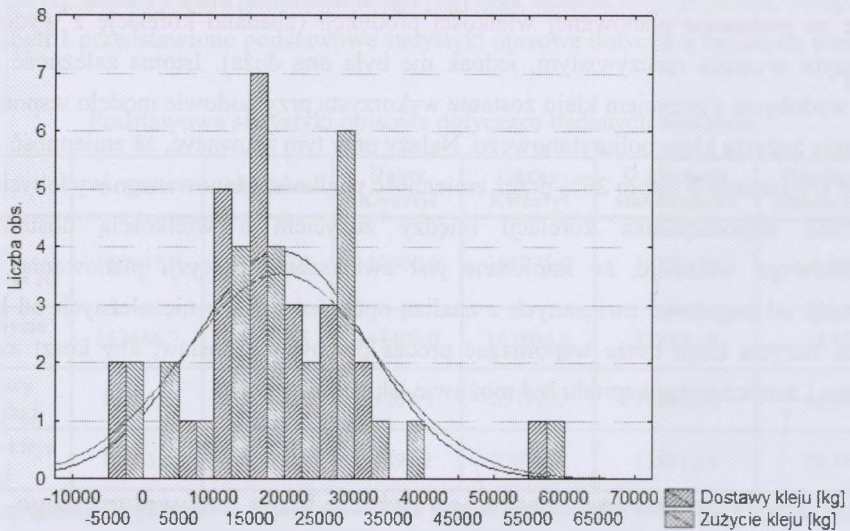
Na rys. 1 i 2 przedstawiono zmienności zużycia oraz dostaw kleju poliuretanowego w czasie oraz histogramy tych wielkości.

² Poziom istotności.

³ Wartość współczynnika determinacji jest kwadratem współczynnika korelacji Pearsona.



Rys. 1. Szeregi czasowe wielkości zużycia i dostaw kleju poliuretanowego
 Fig. 1. Polyurethane adhesive consumption and supply time series



Rys. 2. Histogramy wielkości zużycia i dostaw kleju poliuretanowego
 Fig. 2. Polyurethane adhesive consumption and supply histograms

Widoczne na rysunku różnice między wielkościami stanowią punkt odniesienia do analiz rozważanych metod prognostycznych. Średnia kwadratowa różnica między wielkością zużycia a wielkością dostaw będzie porównywana ze średnim kwadratowym błędem prognoz

wygastłych, postawionych za pomocą modelu prognostycznego – pierwiastek średniej kwadratowej różnicy między rozważnymi wielkościami wynosi 17 050,36 kg. Należy przy tym zaznaczyć, że dostawy są realizowane terminowo, a opóźnienia zdarzają się incydentalnie – można więc pominąć problem związany z terminowością dostaw.

Relatywnie duża zmienność zmiennej prognozowanej (wielkość zużycia kleju poliuretanowego) wskazuje na istotny wpływ zjawiska losowości na kształtowanie się badanej zmiennej – potwierdziło to badanie losowości zjawiska za pomocą testu liczby serii (w odniesieniu do wartości średniej) na poziomie istotności 0,05. Rozważane jednak będą klasyczne modele prognozowania szeregów czasowych ze stałym przeciętnym poziomem zmiennej prognozowanej (z analizy wzrokowej wykresu przedstawionego na rys. 1 wynika, że nie występuje ani trend, ani wahania sezonowe) przy jednoczesnej akceptacji możliwego błędu związanego z losowością. Dla potwierdzenia zasadności stwierdzenia o braku występowania wahań sezonowych wykonano analizę autokorelacji badanej zmiennej [4, s. 63]. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Wyniki analizy autokorelacji zużycia kleju poliuretanowego

Rząd autokorelacji	Współczynnik autokorelacji	Wartość krytyczna ($\alpha=0,05$)	Czy autokorelacja jest istotna?
1	0,391	0,413	nie
2	-0,037	0,423	nie
3	-0,584	0,433	TAK
4	-0,649	0,444	TAK
5	-0,339	0,456	nie
6	0,149	0,468	nie
7	0,511	0,482	TAK
8	0,555	0,497	TAK
9	0,328	0,514	nie
10	-0,598	0,532	TAK
11	-0,800	0,553	TAK
12	-0,387	0,576	nie

Zródło: opracowanie własne.

Analiza autokorelacji nie daje jednoznacznej interpretacji. Brak autokorelacji kilku pierwszych rzędów wskazuje na występowanie stałego przeciętnego poziomu zużycia kleju, natomiast istotność korelacji stopni trzeciego, czwartego i kolejnych może być pozorna lub sugerować wahania okresowe. Występowanie istotnych autokorelacji:

- osłabia twierdzenie o stałym przeciętnym poziomie badanego zjawiska bez wahań okresowych, przy czym brak jest jednoznacznych przesłanek do określenia liczby faz i cykli,
- można uznać za wystarczającą przesłankę do zastosowania (dodatkowo) analizy harmonicznej.

Spośród modeli stałego przeciętnego poziomu zmiennej prognozowanej bez wahań sezonowych rozważono modele ważonej średniej ruchomej oraz model wygładzania wykładniczego Browna. Wyniki przedstawiono w tabeli 4. Wagi i parametry w modelach zostały ustalone tak, aby średni błąd kwadratowy był najmniejszy.

Tabela 4

Wybrane modele prognostyczne zużycia kleju poliuretanowego

Pierwiastek średniej z kwadratów różnicy między wielkością zużycia a wielkością dostaw	17 050,36
Pierwiastek średniego kwadratowego błędu prognoz wygasłych [kg]	
Model ważonej średniej ruchomej:	
2-elementowej	13 669,77
3-elementowej	13 880,63
4-elementowej	13 998,74
5-elementowej	13 819,48
6-elementowej	13 232,24
7-elementowej	12 386,57
8-elementowej	11 739,22*
9-elementowej	11 968,39
10-elementowej	12 384,58
11-elementowej	12 796,63
12-elementowej	13 303,81
Model Browna	16 937,6

Źródło: opracowanie własne.

Parametry otrzymanych modeli oraz stała wygładzania w modelu Browna⁴ zostały zaprezentowane w tabeli 5.

⁴ Odmienne niż w klasycznym modelu przyjęto, że parametr wygładzania może się zmieniać w przedziale obustronnie domkniętym od 0 do 1.

Tabela 5

Wartości parametrów otrzymanych modeli

Liczba elementów modelu średniej ruchomej	Wagi kolejnych obserwacji, uszeregowane od najstarszej											
	2	0,05	0,95									
3	0,00	0,03	0,97									
4	0,06	0,00	0,00	0,94								
5	0,21	0,00	0,00	0,00	0,79							
6	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61						
7	0,57	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36					
8	0,45	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12				
9	0,17	0,35	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04			
10	0,00	0,17	0,36	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03		
11	0,00	0,00	0,15	0,39	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	
12	0,00	0,00	0,00	0,16	0,39	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Model Browna	stała wygładzania					1,00						

Źródło: opracowanie własne.

Analiza danych zawartych w tabeli 5 wskazuje, że w każdym z rozważanych modeli brana jest pod uwagę wielkość zużycia w poprzednim miesiącu. W przypadku modelu Browna wartość stałej wygładzania informuje, że do konstrukcji prognozy brana jest pod uwagę wyłącznie wartość rzeczywistego zużycia z poprzedniego okresu. Fakt ten można uzasadnić tym, że w sytuacji zaistnienia konieczności używania kleju poliuretanowego, ze względu na warunki geologiczne, zwykle potrzeba taka trwa dłużej niż jeden miesiąc – jeśli zużycie wzrasta w jednym miesiącu, to jest mało prawdopodobne, że w kolejnym drastycznie spadnie. Na wykresie kształtowania się zużycia kleju można zauważyć serie kolejnych wzrostów oraz spadków – jednak nie jest to zjawisko wystarczająco zdeterminowane czasowo, aby można stwierdzić występowanie wahań okresowych. Jest to jednak przesłanka do budowy modelu prawdopodobieństwa wzrostu lub spadku zużycia kleju w kolejnym miesiącu, który może mieć użytkarckie znaczenie przy ustalaniu planu zaopatrzenia.

Wagi wcześniejszych obserwacji są uwzględniane w modelu z różnymi wagami; analiza wag wskazuje, że w modelach uwzględniane są również (zawsze, gdy są rozważane) wielkości rzeczywistego zużycia sprzed siedmiu, ośmiu i dziewięciu miesięcy. Powstaje więc pytanie: dlaczego zużycie z tych okresów ma znaczący wpływ na kształtowanie się przyszłego zużycia? Zgodnie z zasadą postarzania informacji – im starsza jest obserwacja,

tym mniejszy ma wpływ na kształtowanie się zjawiska. Zasadne jest więc uwzględnienie zużycia z ostatniego miesiąca, natomiast pominięcie kolejnych, aż do zużycia sprzed siedmiu miesięcy, wydaje się kontrowersyjne, dlatego przy analizie należy brać pod uwagę możliwość występowania zależności pozornych. Tym bardziej, że szereg czasowy zużycia cechuje relatywnie duża zmienność przy stałym średnim poziomie.

Z przeprowadzonej analizy harmoniczej wynika, że praktycznie całkowita zmienność wariancji zużycia kleju poliuretanowego jest wyjaśniana przez pierwszą harmonikę, a model ma następującą postać:

$$y_t = 19265,58 + 2119,11 \cdot \sin \frac{\pi \cdot t}{12} + 4251,31 \cdot \cos \frac{\pi \cdot t}{12} + \xi, \quad (1)$$

gdzie: y_t oznacza wielkość zużycia kleju [kg] w okresie t , natomiast t oznacza kolejny numer okresu czasu ($t = 1, 2, \dots$). Pierwiastek średniego kwadratowego błędu prognoz wygasłych dla modelu (1) wynosi 12 853,84 kg.

4. Prognozowanie na podstawie modelu regresji względem planu wydobywania

Klej poliuretanowy jest niezbędny do produkcji, dlatego wielkość jego zużycia zależy od wielkości wydobywania, jednak analiza wartości przedstawionych w tabeli 2 wskazuje na relatywnie niską zgodność planu z rzeczywistym wydobywaniem. Mimo tego zależność zużycia kleju od planowanej wielkości wydobywania jest istotna – model zależności przedstawia się następująco:

$$y_t = -53932,60 + 0,467 \cdot x_t + \xi, \quad (2)$$

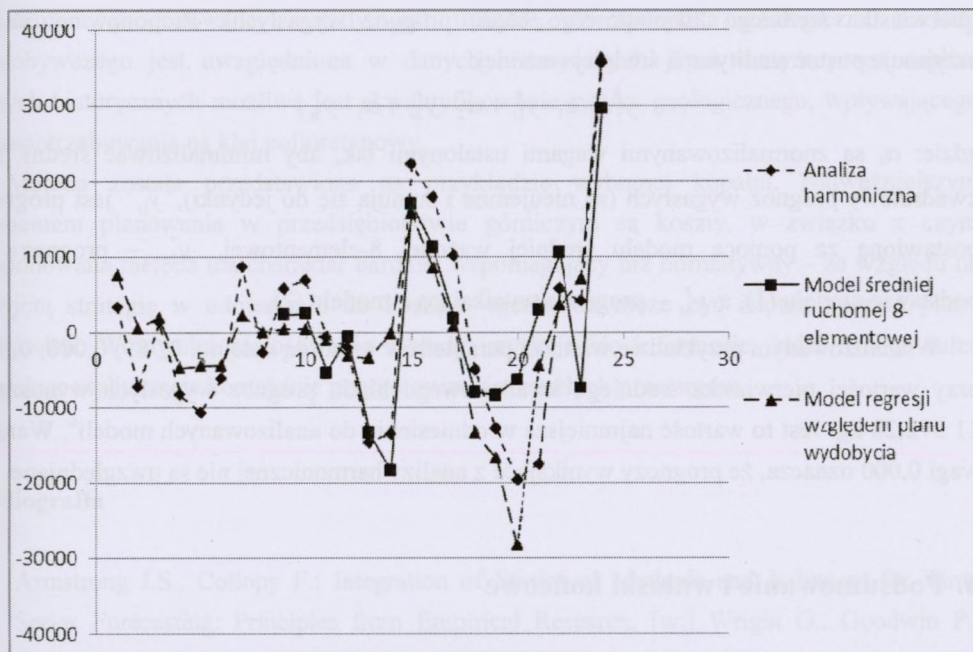
gdzie x_t oznacza planowaną wielkość wydobywania w okresie t .

Parametr strukturalny przy zmiennej objaśnianej oraz stopień dopasowania do danych empirycznych można uznać za istotne na poziomie istotności 0,05. Pierwiastek średniego kwadratowego błędu prognoz wygasłych, czyli pierwiastek średniej kwadratów reszt modelu (2), wynosi 11 448,95 kg.

Na uwagę zasługuje fakt, że błąd modelu (2) jest najmniejszy spośród przeanalizowanych modeli progностycznych. Potwierdza to istotną zależność przyczynowo skutkową – to znaczy, że realizacja planu wydobywania powoduje zużycie odpowiedniej ilości kleju.

5. Prognozowanie na podstawie modelu kombinowanego

Analizując wykres przedstawiony na rys. 1, można zauważyć relatywnie większe wahania zużycia kleju w drugim roku w porównaniu z rokiem pierwszym. Podobne spostrzeżenia cechują analizę odchyłeń prognoz rozważanych modeli od wartości rzeczywistego zużycia kleju – szereg czasowy odchyłeń przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Odchylenia prognoz zużycia kleju poliuretanowego

Fig. 3. Forecasts deviation of polyurethane adhesive consumption

Wyodróżniony model średniej ruchomej cechuje krótszy szereg odchyłeń w porównaniu do szeregów odchyłeń dwóch pozostałych modeli (brak pierwszych ośmiu odchyłeń). Należy przy tym podkreślić, że wartości przyjętej miary jakości modelu w obszarze zmienności odchyłeń modelu średniej ruchomej wynoszą:

- 14 984,22 kg dla modelu (1),
- 13 732,36 kg dla modelu (2).

Uwzględniając przesłanki prognostyczne, obejmujące następujące aspekty:

- konkluzje z analizy wzrokowej wykresu rozrzutu punktów empirycznych badanego szeregu czasowego – średni poziom badanego zjawiska (brak trendu) oraz znaczne wahania losowe,

- występowanie istotnych autokorelacji wyższych rzędów – przesłanka do analizy harmonicznej,
- istotną zależność między zużyciem a planem wydobywania – przesłanka do budowy modelu regresji,

można zaproponować kombinowany⁵ model prognostyczny, który agreguje prognozy postawione przez wybrane modele [1, 6]. Agregacja ma na celu uśrednienie prognoz (oraz ich odchyżeń od wartości rzeczywistych) w celu optymalizacji przyjętej miary jakości modelu (pierwiastka średniego kwadratowego błędu prognoz wygasłych). Proponowany model przyjmuje postać analityczną średniej ważonej:

$$y_t^* = \alpha_1 \cdot y_{1t}^* + \alpha_2 \cdot y_{2t}^* + \alpha_3 \cdot y_{3t}^*, \quad (3)$$

gdzie: α_i są znormalizowanymi wagami ustalonymi tak, aby minimalizować średni błąd kwadratowy prognoz wygasłych (są nieujemne i sumują się do jedynki), y_{1t}^* jest prognozą postawioną za pomocą modelu średniej ważonej 8-elementowej, y_{2t}^* – prognozą na podstawie modelu (1), a y_{3t}^* – prognozą wynikającą z modelu (2).

W analizowanym przykładzie wartości parametrów wynoszą kolejno: 0,789; 0,000; 0,211, przy wartości pierwiastka średniego kwadratowego błędu prognoz wygasłych wynoszącej 11 572,28 kg. Jest to wartość najmniejsza w odniesieniu do analizowanych modeli⁶. Wartość wagi 0,000 oznacza, że prognozy wynikające z analizy harmonicznej nie są uwzględniane.

6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przeprowadzona analiza wskazuje, że proces planowania zapotrzebowania na klej poliuretanowy jest złożony, głównie przez losowość, która cechuje zużycie kleju poliuretanowego. Przedstawiona propozycja wykorzystania do prognozowania zapotrzebowania modelu kombinowanego, będącego ważoną sumą prognoz postawionych za pomocą wybranych modeli, ma na celu minimalizację średnich odchyżeń prognoz od rzeczywistego zużycia.

Zaprezentowane rozważania skupiają się wokół analizy szeregu czasowego oraz związków przyczynowo-skutkowych – zależności zużycia od (planowanej) wielkości produkcji. Jest to spowodowane dwoma faktami:

- dużą zmiennością badanego zjawiska i niejednoznaczną analizą szeregu (występowanie autokorelacji wyższych rzędów),

⁵ Zwykle dotyczy kombinacji prognoz ilościowych z jakościowymi [3, s. 189-197].

⁶ Własność prognozy kombinowanej [3, s. 193].

- relatywnie słabym dopasowaniem modelu regresji względem planu wydobycia do danych empirycznych.

Zastosowanie modelu kombinowanego umożliwia uśrednienie prognoz oraz minimalizację odchyłeń względem średniego błędu prognoz wygaśłych.

Artykuł przedstawia propozycję metody wspomaganie planowania zapotrzebowania na klej poliuretanowy, która bazuje na metodach prognozowania szeregów czasowych oraz na modelu ekonometrycznym. Baza danych obejmuje dane historyczne z kopalni, a głównym założeniem proponowanej metody jest uznanie, że specyfika geologiczna zakładu wydobywczego jest uwzględniona w danych historycznych. Tym samym przez analizę danych historycznych możliwe jest skwantyfikowanie ryzyka geologicznego, wpływającego na zapotrzebowanie na klej poliuretanowy.

Metoda została przedstawiona na przykładzie wybranej kopalni. Najważniejszym elementem planowania w przedsiębiorstwie górniczym są koszty, w związku z czym proponowana metoda ma charakter bardziej wspomagający niż normatywny – ze względu na przyjętą strategię w odniesieniu do kosztów niezbędna może być istotna korekta planu zamówień. W wyniku zastosowania metody uzyskuje się informacje, które mogą mieć charakter użyteczny w kontekście przygotowania przyszłych przetargów.

Bibliografia

1. Armstrong J.S., Collopy F.: *Integration of Statistical Methods and Judgment for Time Series Forecasting: Principles from Empirical Research*, [w:] Wright G., Goodwin P., *Forecasting with Judgment*. Wiley, New York 1998.
2. Cieślak M. (red.): *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*. PWN, Warszawa 2001.
3. Comely W.: *Polyurethane for consolidation and sealing of strata and coal*. Lecture notes, held at SMOPYC Fair, Zaragoza, Germany, February 1988.
4. Dittmann P.: *Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Metody i zastosowania*. Wyd. Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2004.
5. Prusek S., Stałęga S., Stochel D.: *Metody i środki przeznaczone do uszczelniania i wzmacniania górotworu oraz obudowy wyrobisk*. Studia-Rozprawy-Monografie, GIG, Katowice 2005.
6. Zou H., Yang Y.: *Combining time series models for forecasting*. *International Journal of Forecasting*, No. 20/2004.

Abstract

In the paper proposal of method for polyurethane adhesive demand planning support is presented. The method is based on models of time series forecasting and econometric model. The proposal is to combine the forecasts through application of weighted sum. The weight factors are determined by the minimal mean error of extinct forecasts criterion.

The aggregation included following models: moving average, regression with planned production volume as independent variable and harmonic analysis model. The minimal chosen mean error of extinct forecasts is for aggregation of two models in the present case – the weight of harmonic analysis model prognosis is zero for the minimal error.