

Andrzej KAMIŃSKI

Centralny Ośrodek Informatyki Górniczej
Politechnika Śląska

PROGNOZOWANIE WIELKOŚCI WYDOBYCIA Z PRZODKÓW EKSPLOATACYJNYCH
W RAMACH WYBRANYCH TECHNOLOGII REALIZOWANYCH
W GÓRNICtwo WĘGLOWYM

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę prognozowania wielkości wydobycia z przodków eksploatacyjnych dla stosowanych technologii wybierania węgla. Analizie wstępnej poddano 12 parametrów dla których zebrano miesięczne obserwacje eksploatacji zebrany materiał statystyczny podzielono na 10 grup, biorąc pod uwagę stopień mechanizacji czynności urabiania i ładowania oraz sposób kierowania stropem.

W badaniach zastosowano niezależnie cztery metody doboru zmiennych objaśniających:

- metodę analizy współczynnika korelacji liniowej,
- metodę pojemności integralnych nośników informacji wg Z. Hellwiga,
- metodę grafową wg St. Bartosiewicza,
- metodę analizy czynnikowej.

W tablicy 1 przedstawiono wyniki doboru zmiennych objaśniających modelu dla każdej grupy (zbiorowości) i użytych metod. Obliczenia oceny statystycznej równań ekonomicznych zestawiono w tablicy 2. Analiza porównawcza wartości mierników wskazuje, że najlepsze równanie otrzymano dla podzbioru zmiennych dobranych metodą integralnych nośników informacji. Podstawowe równania modelu dla wyróżnionych zbiorowości podano w tablicy 3. Ustalenie wartości zmiennych objaśniających modelu w okresie prognozowanym dokonano metodami:

- wyrównywania wykładniczego R.G. Browna,
- wag harmonicznych Z. Hellwiga.

Do oceny stopnia dokładności prognoz posłużył współczynnik rozbieżności zdefiniowany przez H. Theila. Zestawienie prognoz wielkości miesięcznego wydobycia z przodków eksploatacyjnych w latach 1983-1987 w tys. ton/m-c dla wyróżnionych zbiorowości podano w tablicy 8. Podano także błąd czysty modelu w %. Artykuł zakończono wnioskami odnośnie przyjętej metodologii modeli prognostycznych oraz wykorzystania opracowanych modeli w praktyce planowania wielkości wydobycia w kopalniach węgla.

1. WSTĘP

Zagadnienie wnioskowania w przyszłość, czyli prognozowanie, odgrywa ostatnio coraz istotniejszą rolę zarówno w praktyce ruchowej kopalni, jak i działalności branży. Zapotrzebowanie społeczne na tego typu badania

spowodowało, że w różnych dyscyplinach naukowych opracowano wiele mniej lub bardziej zadowalających i uzasadnionych metod w celu przewidywania rozwoju zjawisk i procesów, których przebieg w przeszłości jest znany.

W górnictwie jest to zagadnienie szczególnie złożone, ponieważ mamy do czynienia nie tylko ze środkami produkcji i człowiekiem, ale również z warunkami naturalnymi z reguły odmiennymi dla poszczególnych Gwarectw.

W pracach planistycznych pierwszym etapem jest analiza osiągniętego aktualnie stanu rozwoju branży węgla kamiennego i stosunków społecznych. Potem następuje diagnoza, będąca oceną wytyczonych w przeszłości celów. Kolejnym etapem prac powinno być właśnie prognozowanie dające ocenę przyszłego, prawdopodobnego stanu na określony horyzont czasowy oraz jednocześnie (ale niezależnie od prognozowania) etap określania i wyboru celów, jakie w przyszłości staną przed branżą węgla kamiennego. Dopiero porównanie prognoz z wytyczonymi celami pozwala na prawidłowe podjęcie decyzji planistycznych, tzn. na zbudowanie koncepcji planu, a następnie poprawienie jej (z wykorzystaniem między innymi metod optymalizacyjnych), aż do wyboru ostatecznej, przyjętej do realizacji wersji planu jako obowiązującej decyzji, wyznaczającej ilościowe zadania mierzące do osiągnięcia wytyczonych celów.

W świetle takiego ujęcia procesu planistycznego rola i miejsca prognozowania staje się ściśle określona i jak się wydaje - jednoznaczna. Z takiego traktowania procesu prognozowania jako przeddyrektywnego etapu prac planistycznych wynikają pewne założenia, jakie autor niniejszego artykułu przyjął w toku opracowywania prognozy wielkości wydobywania z przodków eksploatacyjnych dla technologii realizowanych w górnictwie węglowym.

W niniejszej pracy proces prognozowania (predykcja) jest zbiorem czynności mających na celu sformułowanie prognozy. Zastosowane w prognozowaniu narzędzie (funkcja) nazywane jest predyktorem, a konkretny wynik (liczbowy) predykcji nazywany jest prognozą.

Symbolicznie powyższe pojęcia można ująć związkami:

$$p = f(I)$$

gdzie:

p - oznacza prognozę,

f - predyktor,

I - zbiór informacji o prognozowanym zjawisku.

Prognozowanie nadaje treść temu związkowi przez wybór predyktora f, określenie zbioru informacji I oraz wyznaczenie (obliczenie) prognozy p jako wartości predyktora dla konkretnego zbioru informacji I. W ten sposób przy ustalonym predyktorze f prognozy mają charakter warunkowy w zależności od przyjętego zbioru informacji I. Pozwala to uzyskiwać

różne warianty prognoz, w zależności od przyjętych założeń, co wzbogaca informacyjną wartość prognoz.

2. MATERIAŁ STATYSTYCZNY I JEGO CHARAKTERYSTYKA, OBIEKTY BADAŃ, PODZIAŁ NA ZBIOROWOŚCI

2.1. Charakterystyka materiału statystycznego

Źródłem danych statystycznych do badań przedstawionych w niniejszym artykule jest "bank danych" utworzony i aktualizowany poprzez wdrożenie w 1975 roku do przemysłowej eksploatacji w górnictwie węglowym systemu IOS [4]. Zgodnie z zasadami organizacji "banku danych" oraz ze sposobem zamawiania informacji określono:

- zasięg przestrzenny (kopalnie pewnego Gwarectwa),
- zasięg czasowy (12-miesięczne obserwacje z roku),
- sposób sortowania (system eksploatacji, sposób urabiania, rodzaj obudowy).

Zasięg przestrzenny ograniczono do jednego Gwarectwa z powodu dużych różnic w warunkach górniczo-geologicznych występujących pomiędzy kopalniami należącymi do różnych Gwarectw. Dane te są jednorodne, gdyż w okresie, z którego pochodzą, nie nastąpiły poważniejsze zmiany technologii, a dokładność ich rejestracji i wstępnego przetwarzania rośnie w miarę upływu czasu (System IOS funkcjonuje w branży węgla kamiennego od 1975 roku, w tym czasie doskonalą się kadry przygotowujące informacje w kopalniach, jak również doskonalone są programy wstępnego przetwarzania i organizacji "banku danych").

Miesięczne okresy obserwacji gwarantują również zgromadzenie danych z różnych okresów "życia przodka" (uruchomienie, rozruch ściany, eksploatacja pełna, zakończenie pracy, likwidacja), a to z kolei nie jest bez znaczenia w przypadku, gdy prognoza ma dotyczyć jednego roku. Materiał zebrany do analizy dotyczył 12 parametrów:

- 1) nachylenie ściany, u , stopnie,
- 2) głębokość zabioru, z , cm,
- 3) czas pracy w przodku, T , min,
- 4) wybieg ściany, w , m,
- 5) długość ściany, l , m,
- 6) wysokość ściany, h , m,
- 7) postęp przodka na miesiąc, p , m,
- 8) moc urządzeń zainstalowanych w ścianie, m , kW,
- 9) dniówki ogółem, d , liczba,
- 10) urobek węglowy, Q_m , tys. ton/miesiąc,
- 11) wskaźnik awaryjności kombajnowej, a_k ,
- 12) wskaźnik awaryjności ogólnej, a_o .

2.2. Obiekty badań i podział na zbiorowości

Obiektem badań są technologie eksploatacji, nazywane dalej zbiorowościami, stosowane w przodku eksploatacyjnym, określone poprzez stopień mechanizacji czynności urabiania i ładowania oraz sposób kierowania stropem. Tak określona technologia eksploatacji jest zgodna z określeniem oferty produkcyjnej w sektorze planistycznym, stanowiącym podstawowe pojęcie systemu SPK [4]. Stosując wymienione kryterium podziału w zebranych materiale statystycznym wyróżniono 10 następujących zbiorowości:

- I - ściany urabiane za pomocą materiału wybuchowego, obudowa drewniana, sposób kierowania stropem - podsadzka hydrauliczna, eksploatacja prowadzona na całą grubość pokładu, liczba obserwacji 53;
- II - ściany urabiane za pomocą materiału wybuchowego, obudowa mieszana, sposób kierowania stropem - podsadzka hydrauliczna, eksploatacja prowadzona na całą grubość pokładu, liczba obserwacji 47;
- III - ściany wyposażone w kombajny bębnowe, obudowa - stojaki indywidualne cierne, sposób kierowania stropem - podsadzka hydrauliczna, eksploatacja prowadzona na całą grubość pokładu, liczba obserwacji 48;
- IV - ściany wyposażone w kombajny bębnowe, obudowę zmechanizowaną, sposób kierowania stropem - podsadzka hydrauliczna, eksploatacja prowadzona na całą grubość pokładu, liczba obserwacji 34;
- V - ściany wyposażone w kombajny bębnowe, obudowę zmechanizowaną, sposób kierowania stropem - podsadzka hydrauliczna, eksploatacja prowadzona kolejno warstwami (I warstwa), liczba obserwacji 74;
- VI - ściany wyposażone w kombajny bębnowe, obudowę mieszaną, sposób kierowania stropem - podsadzka hydrauliczna, eksploatacja prowadzona kolejno warstwami (I warstwa), liczba obserwacji 50;
- VII - ściany urabiane za pomocą materiału wybuchowego, obudowa drewniana, sposób kierowania stropem - podsadzka hydrauliczna, eksploatacja prowadzona kolejno warstwami (II warstwa i dalsze), liczba obserwacji 77;
- VIII - ściany wyposażone w kombajny bębnowe, obudowa - stojaki indywidualne hydrauliczne, sposób kierowania stropem - podsadzka hydrauliczna, eksploatacja prowadzona kolejno warstwami (II warstwa i dalsze), liczba obserwacji 52;
- IX - ściany wyposażone w kombajny bębnowe, obudowę zmechanizowaną, sposób kierowania stropem - zawał, kierunek eksploatacji od pola, liczba obserwacji 158;
- X - ściany wyposażone w kombajny bębnowe, obudowę zmechanizowaną, sposób kierowania stropem - zawał, kierunek eksploatacji do pola, liczba obserwacji 113.

Dla wyróżnionych zbiorowości zostały wyliczone podstawowe charakterystyki opisowe takie, jak: wartość minimalna, maksymalna i średnia, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności i rozstęp.

3. DOBÓR ZMIENNYCH OBJAŚNIAJĄCYCH DO MODELU EKONOMETRYCZNEGO

Podstawowym zagadnieniem związanym z budową modelu ekonometrycznego jest ustalenie zmiennych, które mają wejść do tego modelu. Etap ten jest zwykle najtrudniejszy i decyduje o efekcie dalszej analizy [1]. Kiedyś istniała niesłuszna tendencja do uwzględniania w badaniach możliwie jak największej liczby zmiennych objaśniających. Liczba tych zmiennych przekraczała czasem liczbę obserwacji w próbie. Zmuszało to do wykonania wielu uciążliwych i obszernych rachunków, a uzyskane rezultaty były pozbawione większego znaczenia praktycznego. Jeśli przyjąć pełną wiedzę o badanym zjawisku za jednostkę, to rozsądek każe zwiększać zasób informacji dopóty, dopóki miara nagromadzonej informacji nie stanie się bliska jedności. Aby zilustrować to zagadnienie można powołać się na przykład, który podał Z. Hellwig na jednym z sympozjów naukowych, że warto napełnić wannę wodą do poziomu, który uwzględnia rezerwę wynikającą z wyporności ciała kąpiącego się człowieka. Gdy wannę napełni się po brzegi, z chwilą wejścia do niej człowieka i tak część wody przeleje się i zostanie zmarnowana. Podobnie dzieje się z informacją: tu również zasada "im więcej tym lepiej" nie zawsze jest racjonalna i często prowadzi do marnotrawstwa czasu i środków. Zrodziła się zatem potrzeba ograniczenia liczby zmiennych na wstępnym etapie badań.

W przeprowadzonych badaniach autor zastosował niezależnie cztery metody doboru zmiennych objaśniających:

- metodę analizy współczynnika korelacji liniowej,
- metodę pojemności integralnych nośników informacji Z. Hellwiga,
- metodę grafową St. Bartosiewicza,
- metodę analizy czynnikowej.

Wyniki doboru zestawiono w tabeli 1.

Pierwsze spostrzeżenie, jakie nasuwa się po przeprowadzeniu badania, dotyczy liczby zmiennych przyjmowanych do kombinacji jako optymalne. Między zastosowanymi metodami występują w tym zakresie duże różnice. Metoda grafowa "wybiera" najczęściej tylko jedną lub dwie zmienne jako optymalne, co raczej dyskwalifikuje tę metodę, jako że zbiory potencjalnych zmiennych w każdym przypadku liczą kilkanaście elementów. Pozostałe trzy metody dają podzbiory o uniarkowanej liczebności (3-6 elementów), a liczba przyjętych do modelu zmiennych dość istotnie wpływa na wartości parametrów struktury stochastycznej modelu. Można łatwo wykazać, że maksymalizacja współczynnika korelacji ze zmienną objaśnianą i minimalizacja

Tabela 1

Wyniki doboru zmiennych objaśniających modelu

Nr zbi- rowo- ści	Zmienne wybrane w metodzie							
	analizy współ- czynnika kore- lacji liniowej		pojemności inte- gralnych nośni- ków informacji		grafowej St. Bartosie- wicza		analizy czynnikiowej	
	wartość r_k	symbol zmienn- nej	wartość H_m	symbol zmienn- nej	wartość r_k	symbol zmienn- nej	ilość czyn- ników	symbol zmienn- nej
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	0,2702	T, l, p, m, d	0,5635	T, l, h, p, d, m	0,2702	m, a _o	5	w, h, p, m, d
II	0,2879	l, h, p, m, d	0,5619	T, l, h, p, m	0,2874	h, a _o	4	T, p, m d
III	0,2842	u, T, l, h p, m, d	0,6721	T, l, h, p, d	0,2842	m, a _k , a _o	6	T, l, h, p, m, d
IV	0,3381	p, d	0,7082	p, h	0,3381	T, w, l, h, a _o	4	p, d, a _k a _o
V	0,2288	T, w, p, d, a _o	0,6438	w, l, h, p, a _k	0,2288	p	4	l, p, m, d
VI	0,2784	z, T, w, l, p, d	0,6379	T, z, w, l, h, p, d	0,2784	T, a _o	4	T, h, p d
VII	0,2239	w, h, p	0,5982	w, l, h, p, d	0,2239	p	6	w, h, p m, d, a _o
VIII	0,2732	T, l, p, m, d	0,5109	T, w, l, d	0,2732	w	5	T, w, l, d
IX	0,1563	T, l, p, m	0,7382	l, h, p, d	0,1563	w	5	T, w, h, m, d
X	0,1846	T, l, h, p m, d, a _k , a _o	0,6343	T, l, h, p, d, m	0,1846	l, h	5	T, l, h, m, d

współczynników korelacji z innymi zmiennymi objaśniającymi (co jest osiągnięte przy zastosowaniu metod doboru zmiennych), minimalizuje negatywne skutki współliniowości zmiennych. Jest to osiągnięte poprzez zmniejszenie wariancji resztowej oraz zmniejszenie elementów macierzy wariancji i kowariancji estymatorów parametrów modelu.

Nie można również zapomnieć o celu, któremu ma służyć konstruowany model ekonometryczny. Ponieważ celem tym jest predykcja, to najbardziej uzasadnionym kryterium służącym do oceny efektywności poszczególnych metod doboru zmiennych jest wielkość średniego błędu produkcji ex post.

Tabela 2

Parametry oceny statystycznej równań dla zmiennych wybranych w poszczególnych metodach doboru zmiennych

Nr zbiorowości	Parametry oceny statystycznej równań dla zmiennych wybranych w metodzie															
	analizy współczynnika korelacji					grafowej St. Bartosiewicza					analizy czynnikowej					
	S	V	R	Y ²	S	V	R	Y ²	S	V	R	Y ²	S	V	R	Y ²
	Wartości mierzonych															
I	2,17	19,71	0,86	0,26	2,85	25,89	0,53	0,71	12,50	22,69	0,62	0,6	1,95	17,1	0,87	0,23
II	1,46	13,93	0,84	0,29	2,53	24,07	0,73	0,46	1,66	15,86	0,78	0,31	1,36	12,8	0,93	0,14
III	2,75	24,21	0,91	0,17	5,73	50,35	0,53	0,71	5,12	44,99	0,57	0,67	2,59	22,6	0,96	0,08
IV	3,03	16,20	0,96	0,07	4,09	21,20	0,84	0,29	3,03	16,20	0,96	0,07	2,92	15,6	0,98	0,04
V	9,59	29,01	0,86	0,26	11,15	33,72	0,79	0,37	9,49	28,70	0,87	0,24	4,01	12,1	0,90	0,18
VI	1,86	18,58	0,90	0,19	3,20	31,84	0,34	0,88	2,67	26,60	0,83	0,31	1,74	17,3	0,92	0,15
VII	3,09	23,75	0,23	0,94	3,08	23,06	0,24	0,94	3,09	23,75	0,23	0,94	2,01	15,0	0,60	0,63
VIII	6,38	26,93	0,76	0,42	7,93	33,49	0,69	0,52	6,38	26,93	0,76	0,42	6,29	16,4	0,80	0,36
IX	10,39	23,91	0,81	0,34	13,42	30,87	0,72	0,48	12,45	28,68	0,75	0,43	6,14	14,1	0,86	0,26
X	6,01	17,60	0,95	0,09	14,38	42,12	0,80	0,36	13,96	40,87	0,81	0,34	6,02	17,6	0,95	0,09

Dokonano więc oceny statystycznej równań otrzymanych dla podzbiorów wybranych wszystkimi metodami doboru. Zestawienie mierników

- S - średni błąd predykcji,
 V - współczynnik zmienności przypadkowej,
 R - współczynnik korelacji wielokrotnej,
 φ^2 - współczynnik zbieżności,

przedstawiono w tabeli 2.

Porównanie otrzymanych mierników wskazuje, że najlepsze równania otrzymano dla podzbiorów wybranych metodą integralnych nośników informacji Z. Hellwiga.

4. PODSTAWOWE RÓWNANIA MODELU

Dla wyznaczenia podstawowego równania konstruowanego modelu wykorzystano zestaw programów analiz statystycznych XDS3 firmy ICL [5]. Otrzymane w wyniku obliczeń równania regresji wielu zmiennych dla poszczególnych zbiorowości przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Zestawienie równań regresyjnych dla poszczególnych zbiorowości

Nr zbiorowości	Postać równania
1	2
I	$Q_m = -18,82 + 0,101 + 0,05h + 0,52p$
II	$Q_m = 26,41 + 0,0841 + 0,208p$
III	$Q_m = 37,28 + 0,009d$
IV	$Q_m = 0,01h + 0,598p$
V	$Q_m = -43,49 + 0,015w + 0,1181 + 0,164h + 0,329p - 0,25a_k$
VI	$Q_m = -48,24 + 0,117T + 0,0841 + 0,357p$
VII	$Q_m = 4,23 + 0,003w + 0,0131 + 0,019h + 0,073p$
VIII	$Q_m = 24,32 - 0,028w + 0,151 + 0,008d$
IX	$Q_m = -25,42 + 0,2121 + 0,113h + 0,404p$
X	$Q_m = -55,11 + 0,26711 + 0,133h + 0,479p$

5. USTALENIE WARTOŚCI ZMIENNYCH OBJAŚNIAJĄCYCH MODELU W OKRESIE PROGNOZOWANYM

W wyniku analizy regresyjnych równań modeli przedstawionych w poprzednim punkcie, uwzględniając przeznaczenie wyznaczonej prognozy, jak również charakter zmiennych objaśniających, przyjęto następujący sposób wyznaczania wartości zmiennych objaśniających w okresie objętym prognozą: Dla zmiennej p - postępowanie przodka na miesiąc, jako bezspornie decydującej o wielkości wydobycia, proponuje się wyznaczenie, a następnie ekstrapolację trendów w każdej z badanych zbiorowości. Natomiast dla pozostałych zmiennych proponuje się ustalić wartości tych zmiennych na poziomie planowanym.

5.1. Prognozowanie postępu écian metodą wyrównywania wykładniczego R.G. Browna

Model wyrównywania wykładniczego R.G. Browna należy do klasy modeli adaptacyjnych i można go zapisać w postaci:

$$Y_t = \mu_t + \xi_t$$

gdzie:

μ_t - funkcja trendu,

ξ_t - składnik losowy.

Oznaczamy przez m_t ocenę trendu μ_t . Ocenę trendu m_t w okresie t znajdujemy z równania

$$m_t = y_t + (1-\alpha)m_{t-1} \quad (1)$$

gdzie:

α - jest liczbą rzeczywistą z przedziału $(0;1)$.

Parametr α nazywany parametrem wygładzania (wyrównywania). Z rekurencyjnego równania (1) wynika, że ocenę trendu jest średnia arytmetyczna ważona z najnowszej obserwacji i z oceny trendu odnoszącego się do okresu bezpośrednio poprzedniego. Za początkową ocenę trendu przyjmuje się zwykle pierwszą obserwację.

W modelu wyrównywania wykładniczego parametr α ustalony jest metodą kolejnych przybliżeń na podstawie danych empirycznych. Za najlepszą uznaje się tę wartość parametru α , przy której otrzymano najmniejsze różnice między rzeczywistymi realizacjami zmiennych Y_T a obliczonymi prognozami.

Prognozę Y_{Tp} oblicza się przy omawianym modelu według wzoru:

$$Y_{Tp} = m_t + (m_t - m_{t-1})h$$

gdzie:

Y_{Tp} - oznacza wartość prognozy,

T - okres prognozy, przy czym $T = t + h$.

Przy zastosowaniu tej metody prognozowania dla zmiennej p otrzymano wyniki zestawione w tabeli 4.

Tabela 4

Miesięczny postęp ścian wyznaczony metodą R.G. Browna

Nr zbiorowości	Rok prognozy				
	1983	1984	1985	1986	1987
I	11,78	11,85	11,91	11,97	12,03
II	13,53	13,76	14,00	14,23	14,46
III	21,69	21,73	21,77	21,81	21,85
IV	28,22	28,12	28,03	27,94	27,84
V	35,90	35,80	35,70	35,59	35,49
VI	31,54	35,76	39,98	44,95	48,43
VII	17,91	17,92	17,94	17,95	17,97
VIII	23,00	23,61	24,21	24,81	25,41
IX	55,00	55,08	55,15	55,23	55,31
X	57,25	57,35	57,45	57,55	57,64

5.2. Prognozowanie miesięcznego postępu ścian metodą wag harmonicznych Z. Hellwiga

Ciekawy i przydatny dla celów predykcji krótkookresowej jest model trendu pełzającego z wagami harmonicznymi wprowadzony do naszej literatury przez Z. Hellwiga [6]. Metoda ta pozwala na szacowanie wartości trendu μ_t za pomocą dopasowanych segmentami trendów liniowych, a następnie na ekstrapolacji tak uzyskanego trendu pełzającego z użyciem tzw. wag harmonicznych, dających monotonicznie rosnące wagi dla informacji coraz bliższych ostatniemu wyrazowi danego szeregu czasowego. Uzyskane tą metodą prognozy są (na krótkie okresy) z reguły bardzo dokładne. Ze względu na brak założenia o stałości postaci analitycznej funkcji trendu metoda ta jest bardzo przydatna zwłaszcza wtedy, gdy chodzi o prognozę kształtowania się zmiennych charakteryzujących się dużą nieregularnością i zalaniami trendu. Wyniki zastosowania tej metody do prognozowania postępu ściany na miesiąc zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Miesięczny postęp ślani wyznaczony metodą Z. Hellwiga

Nr zbiorowości	Rok prognozy				
	1983	1984	1985	1986	1987
I	12,16	12,33	12,49	12,66	12,82
II	14,17	14,60	15,02	15,45	15,88
III	22,59	22,79	22,99	23,19	23,39
IV	28,80	28,94	29,09	29,22	29,36
V	33,87	33,60	33,32	33,05	32,77
VI	25,19	26,72	28,24	29,77	31,30
VII	19,02	19,29	19,56	19,83	20,11
VIII	22,48	22,86	23,24	23,62	24,01
IX	63,55	65,95	68,35	70,75	73,15
X	58,94	59,64	60,34	61,04	61,74

5.3. Ocena stopnia dokładności prognoz

Gdy przyjęta jest zasada predykcji nieobciążonej, istotnego znaczenia poznawczego nabierają mierniki \bar{u} i S_p^2 , które można obliczyć w następujący sposób:

$$\bar{u} = \frac{1}{m} \sum_{t \in I_{ep}} (Y_t - Y_{Tp}) \quad (\text{dla } T = t) \quad (2)$$

$$S_p^2 = \frac{1}{m} \sum_{t \in I_{ep}} (Y_t - Y_{Tp})^2 \quad (3)$$

gdzie:

- Y_t - rzeczywiste realizacyjne zmiennej prognozowanej Y_t ,
- Y_{Tp} - wartość prognozy dla zmiennej Y w okresie prognozowanym T ,
- I_{ep} - okres empiryczny weryfikacji prognoz,
- m - liczba par obserwacji (Y_t, Y_{Tp}) .

Jeśli predykcja jest rzeczywiście nieobciążona, to miernik \bar{u} powinien kształtować się w pobliżu zera. W przypadku gdy zaobserwowane odchylenie \bar{u} od zera będzie dodatnie, można wnioskować, że przeciętnie prognozy były za niskie.

Ważną do rozstrzygnięcia kwestią jest stacjonarność średniej arytmetycznej błędów prognozy. W celu weryfikacji tej hipotezy dzielimy prze-

dział I_{ep} na kilka podprzedziałów rozłącznych i obliczamy dla każdego z nich miernik [2]. Jeżeli przyjmiemy, że liczba wyróżnionych podprzedziałów jest równa h , przy czym h jest liczbą dowolnie dużą, otrzymamy ciąg u_1, \dots, u_n . Analiza wyrazów tego ciągu pozwala zorientować się, czy średnia arytmetyczna błędów prognozy jest stacjonarna, czy też wskazuje pewne wyraźne zmiany w czasie, które świadczą o dezaktualizacji modelu zastosowanego do celów predykcji.

Duże znaczenie ma pierwiastek kwadratowy z S_p^2 , a więc odchylenie standardowe błędów prognozy S_p . Mierzy ono, o ile, średnio rzecz biorąc, odchylały się realizacje zmiennej prognozowanej od sformułowanych prognoz.

Z miernikiem S_p^2 ściśle związany jest współczynnik rozbieżności H. Theila. Współczynnik rozbieżności dany jest wzorem:

$$I^2 = \frac{\sum_{t \in I_{ep}} (Y_t - Y_{Tp})^2}{\sum_{t \in I_{ep}} Y_t^2} \cdot \frac{m S_p^2}{\sum_{t \in I_{ep}} Y_t^2}$$

I^2 przybiera wartość równą zero jedynie w przypadku, gdy predykcja jest idealnie dokładna. Pierwiastek kwadratowy z tego wyrażenia informuje, jaki był przeciętny względny błąd prognozy w okresie I_{ep} bez względu na to, co było przyczyną takiego stanu rzeczy.

H. Theil stworzył nowy system miar, które informują, gdzie leżała przyczyna powstania błędów prognozy. Wykazał on, że zachodzi równość:

$$I^2 = I_1^2 + I_2^2 + I_3^2$$

gdzie poszczególne wielkości zdefiniowane są następująco:

$$I_1^2 = \frac{(\bar{Y} - Y_{Tp})^2}{\frac{1}{m} \sum Y_t^2}$$

$$I_2^2 = \frac{(s - s_p)^2}{\frac{1}{m} \sum Y_t^2}$$

$$I_3^2 = \frac{2ss_p(1 - r)}{\frac{1}{m} \sum Y_t^2}$$

przy czym występujące po prawej stronie znaków równości wyrażenia są zdefiniowane wzorami:

$$\bar{Y}_t = \frac{1}{m} \sum_{t \in I_{ep}} Y_t$$

$$\bar{Y}_{Tp} = \frac{1}{m} \sum_{T \in I_{ep}} Y_{Tp}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{t \in I_{ep}} (Y_t - \bar{Y}_t)^2}$$

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{T \in I_{ep}} (Y_{Tp} - \bar{Y}_{Tp})^2}$$

$$r = \frac{\frac{1}{m} \sum_{t \in I_{ep}} (Y_t - \bar{Y}_t)(Y_{Tp} - \bar{Y}_{Tp})}{s_p s} \quad \text{dla } T = t$$

gdzie:

\bar{Y}_t - średnia arytmetyczna realizacji zmiennej prognozowanej w okresie I_{ep} ,

\bar{Y}_{Tp} - średnia arytmetyczna poziomu prognoz w tymże okresie,

s - odchylenie standardowe obserwacji Y_t ($t = 1, \dots, m$),

s_p - odchylenie standardowe prognoz,

r - współczynnik korelacji liniowej między wielkościami Y_t oraz Y_{Tp} w okresie I_{ep} .

Współczynnik I_1^2 mierzy, czy predykcja była rzeczywiście nieobciążona. Współczynnik I_2^2 służy do badania, na ile elastyczność predykcji była dostosowana do rzeczywistych wahań zmiennej prognozowanej, tzn. czy wahania zmiennej prognozowanej zostały dokładnie przewidziane przez budowane prognozy. Wreszcie I_3^2 informuje o błędach wynikłych z niedostatecznej zgodności kierunku zmian prognoz ze zmianami kierunku realizacji Y_t .

Na uwagę zasługuje zespół miar o podobnej interpretacji, ale informujący ponadto o udziale poszczególnych błędów w całkowitym błędzie średnim predykcji. Miary te spełniają następującą relację:

$$\hat{I}_1^2 + \hat{I}_2^2 + \hat{I}_3^2 = 1$$

gdzie:

$$\hat{I}_1^2 = \frac{(\bar{Y}_t - \bar{Y}_{Tp})^2}{\frac{1}{m} \sum_{t \in I_{ep}} (Y_t - Y_{Tp})^2}$$

$$\hat{I}_2^2 = \frac{(s - s_p)^2}{\frac{1}{m} \sum_{t \in I_{ep}} (Y_t - Y_{Tp})^2}$$

$$\hat{I}_3^2 = \frac{2s\sigma(1 - r)}{\frac{1}{m} \sum_{t \in I_{ep}} (Y_t - Y_{Tp})^2}$$

Przedstawione powyżej mierniki rzędu dokładności prognozy zostały obliczone dla wyznaczonych prognoz miesięcznego postępu ścian w badanych technologiach eksploatacji.

Tabela 6

Zestawienie obliczonych wartości \bar{u} , s_p^2 , s_p , I^2 , \hat{I}_1^2 , \hat{I}_2^2 , \hat{I}_3^2 ,
dla prognozy postępu metodą R.G. Browna

Nr zbiorowości	Wartość mierników						
	\bar{u}	s_p^2	s_p	I^2	\hat{I}_1^2	\hat{I}_2^2	\hat{I}_3^2
I	-0,025	0,7034	0,8586	0,0052	0,0115	0,1396	0,8482
II	0,094	1,8841	1,3726	0,0118	0,0610	0,0380	0,9264
III	-0,017	6,4372	2,5371	0,0133	0,0007	0,1692	0,8235
IV	0,034	1,4781	1,2157	0,0018	0,0530	0,1093	0,8781
V	-0,050	5,0605	2,2495	0,0005	0,0166	0,1140	0,8612
VI	0,445	2,6016	1,6129	0,0070	0,0086	0,0052	0,9724
VII	-0,075	0,5851	0,7662	0,0018	0,0340	0,0568	0,9025
VIII	0,126	1,8960	1,3769	0,0042	0,2584	0,0471	0,6874
IX	0,924	9,6962	3,1138	0,0031	0,0247	0,0963	0,9824
X	0,445	2,1960	1,4818	0,0006	0,0657	0,0658	0,8537

W celu stworzenia możliwości łatwego porównania otrzymanych prognoz postępu, wyniki otrzymane w metodzie R.G. Browna i w metodzie Z. Hellwiga zestawiono łącznie wraz z procentową oceną błędu prognozy. Z zestawienia przedstawionego w tabeli 8 wynika, że stosując do prognozowania miesięcznego postępu ścian metodę trendu pełzającego Z. Hellwiga otrzymujemy mniejszy błąd prognozy.

Analiza błędów popełnionych przy korzystaniu z metody R.G. Browna pozwala je usprawiedliwić tym, że stosowana metoda predykcji nie uwzględnia w sposób bezpośredni możliwości zmian dotychczasowego kierunku realizacji zmiennej prognozowanej (punktów zwrotnych realizacji zmiennej). Predykcja takich punktów jest na ogół sprawą trudną i w związku z tym rząd dokładności prognoz w przypadku częstego występowania owych punktów jest niższy niż byłby wówczas, gdyby zmienna prognozowana zmieniła się w czasie w sposób monotoniczny [6].

Tabela 7

Zestawienie prognoz i błędów prognozy otrzymanych w metodach R.G. Browna i Z. Hellwiga dla poszczególnych zbiorowości

Numer zbiorowości	Rok prognozy	Prognoza metodą R.G. Browna		Prognoza metodą Z. Hellwiga	
		wartość zmiennej prognozowanej	błąd w procentach	wartość zmiennej prognozowanej	błąd w procentach
1	2	3	4	5	6
1	1983	11,78840	7,98893	12,16543	6,91560
1	1984	11,85103	7,94670	12,33086	6,82282
1	1985	11,91367	7,90492	12,49629	6,73250
1	1986	11,97630	7,86358	12,66173	6,64453
1	1987	12,03894	7,82267	12,82716	6,55884
2	1983	13,53140	13,00925	14,17619	8,02552
2	1984	13,76586	12,78768	14,60238	7,79129
2	1985	14,00031	12,57353	15,02857	7,57034
2	1986	14,23477	12,36644	15,45476	7,36157
2	1987	14,46922	12,16605	15,88095	7,16401
3	1983	21,93370	22,97772	22,59891	13,44885
3	1984	21,97617	22,93331	22,79783	13,33151
3	1985	22,01865	22,88907	22,99674	13,21620
3	1986	22,06112	22,84500	23,19565	13,10286
3	1987	22,10360	22,80110	23,39457	12,99146
4	1983	28,35666	4,07167	28,80989	2,89824
4	1984	28,31628	4,07747	28,94978	2,88424
4	1985	28,27590	4,08330	29,08967	2,87037
4	1986	28,23552	4,08914	29,22956	2,85663
4	1987	28,19514	4,09499	29,36945	2,84302
5	1983	33,54464	13,41797	33,87551	8,64120
5	1984	33,16273	13,57250	33,60103	8,71179
5	1985	32,78083	13,73062	33,32654	8,78354
5	1986	32,39893	13,89247	33,05205	8,85648
5	1987	32,01703	14,05818	32,77757	8,93065

cd. tabeli 7

1	2	3	4	5	6
6	1983	25.34677	13.40889	25.19601	7.74684
6	1984	27.11717	12.53347	26.72202	7.30444
6	1985	28.88757	11.76534	28.24803	6.90984
6	1986	30.65797	11.08593	29.77404	6.55569
6	1987	32.42837	10.48081	31.30005	6.23607
7	1983	17.93965	9.35024	19.02220	2.62429
7	1984	17.95522	9.34213	19.29440	2.58726
7	1985	17.97079	9.33404	19.56660	2.55127
7	1986	17.98637	9.32596	19.83880	2.51627
7	1987	18.00194	9.31789	20.11100	2.48221
8	1983	22.82701	5.92572	22.48109	4.85092
8	1984	23.30163	5.80502	22.86217	4.77006
8	1985	23.77625	5.68915	23.24326	4.69186
8	1986	24.25087	5.57780	23.62435	4.61617
8	1987	24.72549	5.47073	24.00543	4.54289
9	1983	55.64811	13.34696	63.55038	7.43851
9	1984	55.75002	13.32256	65.95075	7.16777
9	1985	55.85194	13.29825	68.35113	6.91605
9	1986	55.95385	13.27403	70.75151	6.68141
9	1987	56.05577	13.24990	73.15188	6.46217
10	1983	58.05748	4.22727	58.94969	1.99457
10	1984	58.45535	4.19850	59.64937	1.97117
10	1985	58.85322	4.17011	60.34906	1.94832
10	1986	59.25109	4.14211	61.04875	1.92599
10	1987	59.64897	4.11448	61.74844	1.90417

6. WYZNACZENIE PROGNOZY WIELKOŚCI WYDOBYCIA Z PRZODKÓW EKSPLOATACYJNYCH DLA BADANYCH ZBIOROWOŚCI

Liniiowa funkcja regresji, zwłaszcza wielokrotnej, jest wygodnym narzędziem prognozowania wartości zmiennej objaśnianej dla przyszłego okresu. Wśród różnych technik prognostycznych, takich jak np. metoda wzorca historycznego czy metoda ocen ekspertów, technika prognozowania na podstawie modelu funkcji regresji jest uznawana za jedną z najdoskonalszych technik prognozowania [2].

Istotną zaletą tej techniki prognostycznej jest możliwość oceny błędu prognozy *ex ante*, tj. w chwili dokonania prognozy na przyszłość. Prognozowania zgodnie z modelem liniowym regresji, których ostateczną postać przedstawiono w punkcie 4, dokonano dla wartości średnich z wyjątkiem parametru p -postęp ściany. Dla tej zmiennej w przeprowadzonych obliczeniach wykorzystano wartości przedstawione w tabeli 5.

Należy zaznaczyć, że prognozy wyznaczone na podstawie modelu regresji mają charakter warunkowy, tzn. wyznaczono je dla konkretnego wektora x_1 wartości zmiennych niezależnych w prognozowanym okresie. Dla innego wektora x_1 można otrzymać inną prognozę.

Wartość obliczonej prognozy będzie tym większa, iż dokładniej będą określone wartości zmiennych objaśniających w okresie prognozowanym, na-

tomiał błąd prognozy spowodowany jest jedynie błędem czystym modelu [2]. Zestawienie obliczonych prognoz wraz z błędem prognozy dla badanych zbiorowości przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8

Zestawienie prognoz wielkości miesięcznego wydobycia z przodków eksploatacyjnych na lata 1983-1987 w tys. ton/miesiąc

Zbiorowość	Prognozowana wielkość wydobycia w latach					Błąd czysty modelu %
	1983	1984	1985	1986	1987	
1	10,69	10,72	10,75	10,78	10,82	17,11
2	11,70	11,75	11,80	11,85	11,90	12,8
3	-	-	-	-	-	-
4	16,04	16,06	16,09	16,11	16,14	15,6
5	38,84	38,72	38,59	38,47	38,34	12,1
6	12,59	13,22	13,85	14,48	15,11	17,3
7	13,28	13,29	13,29	13,29	13,29	15,0
8	23,66	23,66	23,66	23,66	23,66	16,4
9	46,42	46,46	46,50	46,54	46,59	14,1
10	38,96	39,16	39,34	39,54	39,73	17,6

7. WNIOSKI

Przeprowadzone badania, jak i analiza z zakresu metod prognozowania i planowania pozwala na wyciągnięcie wniosków zarówno metodologicznych, jak i praktycznych w zakresie stosowanych metod.

Z przeprowadzonych obliczeń i analiz można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Przyjęta metodologia budowy modeli prognostycznych jest realizowana etapowo. Etapami, które decydują o wartości ostatecznych wyników, są: jakość danych statystycznych, wybór zmiennych objaśniających i postaci równań, weryfikacja równań, ustalenie wartości zmiennych objaśniających w okresie prognozowanym. Prawidłowe przeprowadzenie doboru zmiennych i postaci równań, a także weryfikacja równań wymaga zastosowania odpowiednich metod matematyczno-statystycznych.

2. Źródłem danych dla sporządzenia prognoz dla przemysłu wydobywczego winien być stale udoskonalany "bank danych" systemu IOS.

3. Ocena błędu prognozy pozwala na wybór metody prognozowania popełniającej mniejszy błąd.

4. Doświadczenia nabyte przez autora w zespołowej pracy nad opracowaniem i wdrożeniem skomputeryzowanych systemów planistycznych [3] wskazują

ję na to, iż istotne znaczenie z punktu widzenia jakości otrzymywanych planów ma rzetelność informacji wykorzystywanych do budowy modeli optymalizacyjnych. Można to osiągnąć poprzez ograniczenie możliwości subiektywnego przygotowania informacji o szczególnym wpływie na podejmowane decyzje planistyczne, a zastąpienie ich obiektywnymi prognozami otrzymanymi z przedstawionej metody.

5. Przedstawiona metoda może być użyta do prognozowania innych parametrów wykorzystywanych w procesie planowania. Jedynym warunkiem adaptacji metody jest określenie wstępnej listy zmiennych objaśniających oraz ustalenie sposobu określania wartości zmiennych objaśniających w okresie prognozowanym.

LITERATURA

1. Grabiński T., Wydymus S., Zeliaś A.: Metody doboru zmiennych objaśniających w modelach ekonometrycznych. PWN, Warszawa 1982.
2. Greń J.: Statystyka matematyczna. Modele i zadania. PWN, Warszawa 1978.
3. Kamiński A., Mikrut J.: Zastosowanie programowania parametrycznego do badania stabilności modelu systemu SPK. Wyd. GIG-COIG, Katowice 1977.
4. Lisowski A.: Zastosowanie statystyki matematycznej w zarządzaniu branżą węgla kamiennego. Praca zbiorowa. Wyd. GIG-COIG, Katowice 1977.
5. Statistical Analysis MARK 3, ICL 1900 Series, Technical Publication.
6. Zeliaś A.: Teoria prognozy. PWN, Warszawa 1979.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Józef BENDKOWSKI

Wpłynęło do Redakcji w lutym 1987 r.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДОБЫЧИ В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗАБОЯХ В РАМКАХ ТЕХНОЛОГИИ, ВЫБРАННЫХ ИЗ РЕАЛИЗОВАННЫХ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Резюме

В работе представлен метод прогнозирования величины добычи в эксплуатируемых забоях для применяемых технологий добычи угля. Вступительно проанализировано 12 параметров, для которых собраны ежемес- сячные результаты за один год,

из-за применяемых технологий эксплуатации собранный статистиче- ский материал поделён на 10 групп, принимая во внимание степень механизации выборки и погрузки, а также способ управления кровлей.

В исследованиях применялись четыре метода выбора объясняющих переменных;

- метод анализа коэффициента линейной корреляции;
- метод объёма интегральных носителей информации по Хелльвигу;
- графический метод С.Бартосевича;
- метод факторного анализа.

В табл. I представлены результаты выбора объясняющих переменных модели для каждой группы и использованных методов.

Расчёт статистической оценки экономических уравнений показан в табл. 2. Сравнительный анализ величин измерителей показывает, что наилучшие уравнения получены для подмножества переменных, выбранных методом интегральных носителей информации.

Основные уравнения модели даны в табл. 3. Определение величин объясняющих переменных в области прогнозирования выполнено методами:

- показательного выравнивания Брауна ;
- гармонических весов Хелльвига ;

Для оценки степени точности прогноза послужил коэффициент расхождения определённый Тайлем.

Прогнозы величины месячной добычи из эксплуатируемых забоев в 1983-87 г.г. в тыс.т/мес. даны в табл. 8.

Так же дана чистая ошибка в %.

В заключении даны предложения относительно принятой методики прогнозирования моделей и использования разработанных моделей в практике планирования величины добычи в угольных шахтах.

PREDICTION OF A VOLUME OF OUTPUT FROM ACTIVE ENDS ON THE BASIS OF CHOSEN TECHNOLOGIES REALIZED IN COAL MINING

Summary

This article presents a method to predict a volume of output from active ends for technologies used for coal winning. The preliminary analysis has been applied to 12 parameters which were monthly observed for one year.

On the account of the employed exploitation technologies, the statistical material obtained has been divided into 10 groups taking into consideration the mechanisation ratio of winning and loading activities as well as the method of roof control.

Four methods of the selection of explanatory variables have been independently used in the research:

- method of analysis of linear correlation coefficient,
- method of capacity of integral information carrier according to Z. Hellwig,

- graph method according to S. Bartosiewicz,
- method of factor analysis.

Chart 1 shows the results of the selection of explanatory variables of a model for each group (population) and applied methods.

Calculations of the statistical estimation of economic equations are given in chart 2. The comparative analysis of the values of the meters shows that the best equation has been obtained for the subset of variables chosen by the method of integral information carriers. Basic equations of a model for selected populations is given in chart 3.

The establishment of explanatory variables values of a model within the forecast period has been carried out by methods of:

- exponential equalization according to R.G. Brown,
- harmonic scales according to Z. Hellwig.

Divergence coefficient defined by H. Theil has been used to estimate the degree of accuracy of the predictions. The statement of predictions concerning the volume of a monthly output from active ends in the years 1983-1987 in thousands of tons per month for the selected populations is given in chart 8.

Percentage of error of a model has been also given. The calculations, which end the article, concern the employed methodology of prognostic models and usability of the elaborated models in the practice of planning volumes of output in coal mines.