

# OCENA ISTOTNOŚCI WYBRANYCH CZYNNIKÓW WPLYWAJĄCYCH NA POSTĘP DRAŻENIA WYROBISK KORYTARZOWYCH W KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO

Tadeusz FRANIK

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono analizę zmienności postępów drażenia wyrobisk korytarzowych na przykładzie wybranej kopalni węgla kamiennego. Dane statystyczne zebrane z kilku ostatnich lat posłużyły do określenia podstawowych cech statystycznych charakteryzujących badaną zbiorowość oraz określenia parametrów rozkładów gęstości prawdopodobieństwa postępów. Rozkłady prawdopodobieństwa testowano testem Kołmogorowa-Lilleforsa oraz testem Shapiro-Wilka. Do obliczeń wykorzystano pakiet komputerowy STATISTICA. Wpływ wybranych czynników geologicznych i górniczo-technicznych na postęp drażenia wyrobisk korytarzowych oceniano za pomocą modelu ekonometrycznego, którego parametry aproksymowano na podstawie danych statystycznych.

**Słowa kluczowe:** zarządzanie w górnictwie, inwestycje w górnictwie, postęp drażenia wyrobisk, testowanie rozkładów.

## 1. Wprowadzenie

Jednym z ważniejszych elementów procesów restrukturyzacyjnych prowadzonych w przemyśle wydobywania węgla kamiennego jest dążenie do zwiększania koncentracji produkcji, rozumianej jako wielkość wydobywania osiągnięta z konkretnego elementu kopalni (przodka ścianowego). Wzrost koncentracji produkcji powoduje konieczność zwiększania tempa udostępniania i przygotowania do eksploatacji pól ścianowych, czyli zwiększania postępu wykonywania wyrobisk korytarzowych w kopalni.

Cechą charakterystyczną tego typu obiektów inwestycyjnych, jakimi są wyrobiska korytarzowe, jest konieczność ich wykonywania w odpowiedniej kolejności – w sposób szeregowy – kolejne wyrobisko można rozpocząć drążyć po wykonaniu poprzedniego. Wydłuża to znacznie cały proces udostępniania i przygotowania produkcji w przodkach wybierkowych. Okoliczność ta sprawia, że postęp wykonywania tych wyrobisk ma szczególne znaczenie zarówno dla skrócenia harmonogramu robót inwestycyjnych jak i dla osiągnięcia wysokich ekonomicznych efektów samego procesu wydobywczego.

Wskaźnik natężenia robót korytarzowych, który jest stosunkiem zakresu tych robót odniesionym do 1000 ton zdolności wydobywczej zakładu górniczego, jest ważnym miernikiem określającym potencjalne możliwości wydobywcze zakładu w najbliższej perspektywie. W procesie zarządzania produkcją, wskaźnik ten powinien być bieżąco monitorowany, tak aby możliwym było odpowiednio wczesne reagowanie na zagrożenia spowodowane opóźnieniem w przygotowaniu przodków wybierkowych. Istotne znaczenie ma także rozpoznanie przyczyn występowania odchyleń od zaplanowanego postępu drażenia, ocena możliwości wyeliminowania (jeśli jest to możliwe) niekorzystnego wpływu

tych czynników na zmniejszenie zaplanowanego postępu wykonywania wyrobisk korytarzowych.

Ponieważ osiągnięcie określonej wielkości produkcji przez zakład górniczy uwarunkowane jest wcześniejszym wykonaniem odpowiedniej ilości wyrobisk korytarzowych, a te następnie warunkują przygotowanie pól ścianowych do eksploatacji, dlatego badanie zmienności postępu wykonywania tych robót oraz określenie parametrów rozkładu jego prawdopodobieństwa (histogramów) ma tak istotne znaczenie w projektowaniu eksploatacji złoża.

## **2. Analiza zmienności postępu drążenia wyrobisk korytarzowych**

Koszty wykonania wyrobiska korytarzowego wiążą się ściśle z postępowaniem jego drążenia. Generalnie rzecz ujmując nakłady ponoszone na wykonanie takich obiektów inwestycyjnych, jakimi są wyrobiska korytarzowe można podzielić na trzy grupy:

- I. Nakłady bezpośrednie – odniesione do 1 mb wyrobiska nie zależą od jego długości oraz zawierają również pewne elementy niezależne także od szybkości wykonywania wyrobiska. Ogólnie jednak koszty te maleją ze wzrostem postępu. W skład tych kosztów wchodzi głównie materiały, wyposażenie oraz robocizna bezpośrednia.
- II. Nakłady pozaprzodkowe, jako nakłady jednostkowe rosną one wraz ze wzrostem jego długości, a maleją wraz ze wzrostem szybkości drążenia. Do tej grupy zalicza się koszty odstawy urobku, koszty wentylacji oraz koszty utrzymania wyrobiska.
- III. Nakłady niezależne od wielkości postępu drążenia a powiązane z długością wyrobiska. Odniesione do 1 mb wyrobiska, maleją one wraz ze wzrostem jego długości. Nakłady te dotyczą głównie robocizny związanej z transportowaniem i montażem maszyn i urządzeń przeznaczonych do zmechanizowanego drążenia wyrobiska oraz demontażem i ich transportem po ukończeniu robót [1, 7].

Jeśli przyjmie się założenie, że w danych warunkach geologiczno-górniczych, zaprojektowana organizacja wykonywania robót, a zatem również postęp drążenia, są przyjęte właściwe, to każde odchylenie tego postępu od zaplanowanej wielkości powoduje wzrost kosztów, a więc stratę finansową. Jednakże, jak wykazują wieloletnie doświadczenia, uzyskanie zaplanowanego postępu drążenia wyrobiska w trudnych i zmieniających się warunkach jest praktycznie niemożliwe i stąd wynika konieczność analizy tego procesu z punktu widzenia oceny wpływu tych zmiennych czynników na zaplanowane rezultaty.

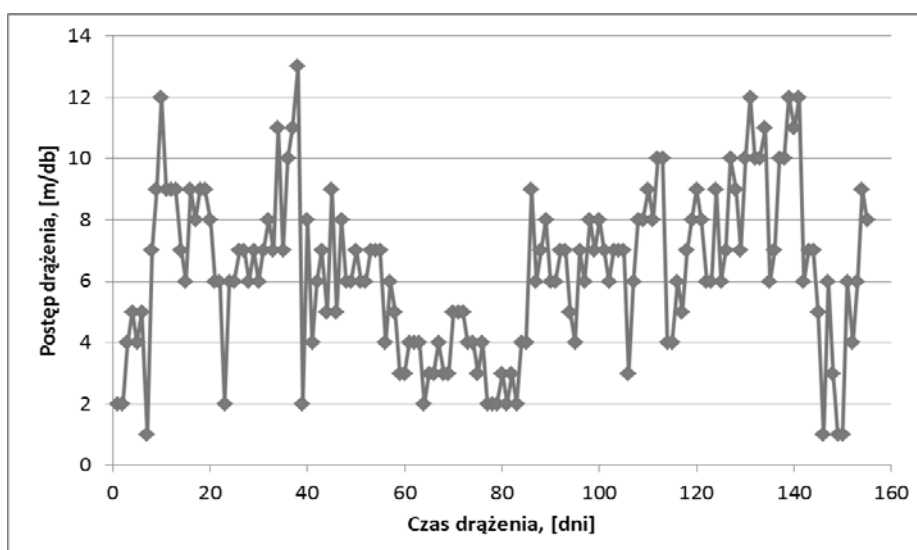
Analizę zmienności wielkości postępu wykonywania wyrobisk korytarzowych przeprowadzono na przykładzie 10 wyrobisk chodnikowych wykonywanych w latach 2008 – 2010 w jednej z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (w dalszej części wyrobiska te będą oznaczane kolejnymi symbolami od Ch. 1 do Ch. 10). Rozważano jedynie te wyrobiska, których postęp wykonania nie był determinowany postępowaniem eksploatacji przodków ścianowych (niektóre chodniki przyścianowe wykonuje się z postępowaniem dostosowanym do prędkości eksploatacji ścian, gdyż są one wykonywane jedynie z pewnym wyprzedzeniem w stosunku do przodków wybierkowych).

Dla uzyskania względnie jednorodnego zbioru analizowanych obiektów, wzięto pod uwagę jedynie wyrobiska korytarzowe o największym przekroju poprzecznym, czyli wyrobiska obudowywane w profilu ŁP9 i ŁP10, oraz drążonych z zastosowaniem podobnej technologii, tzn. za pomocą kombajnów chodnikowych wykorzystywanych do urabiania skał i ładowania urobku.

Niezbędne dla analizy informacje pochodziły z utworzonej bazy danych źródłowych, zawierającej, oprócz rezultatów produkcyjnych, między innymi dane dotyczące warunków geologicznych, wyposażenia w środki techniczne, warunków organizacyjnych itp.

Łączna długość analizowanych wyrobisk wynosiła ponad 11 km, a całkowita liczba dni, w których były one drążone wyniosła 1052.

Określona na podstawie zgromadzonych informacji i przeprowadzonych obliczeń wielkość postępu dobowego drążenia wyrobisk korytarzowych kształtowała się w stosunkowo dużym przedziale od 1,0 m/dobę do 16,0 m/dobę. Na rysunku 1 przedstawiono graficznie zmienność postępu dobowego wykonywania przykładowo wybranego chodnika Ch. 1. Kształtowanie się średnich wartości postępu oraz wartości minimalnych i maksymalnych dla wszystkich analizowanych wyrobisk przedstawiono na rys. 2

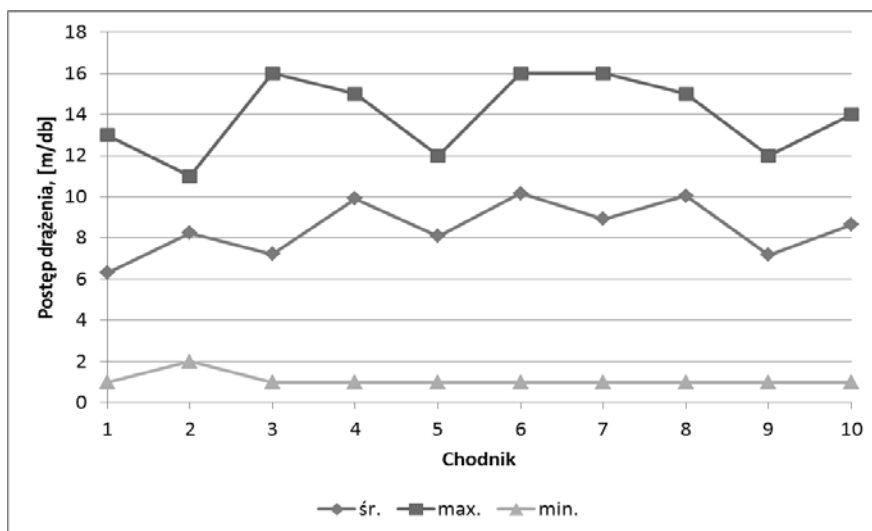


Rys. 1. Zmienność dobowego postępu drążenia wyrobiska Ch. 1

Mimo, iż wielkość postępu drążenia zmieniała się w stosunkowo dużym zakresie, to jednak wartości średnie tych postępów w rozważanych wyrobiskach w większości przypadków mieściły się w granicach od około 6 m/dobę do 10 m/dobę, czyli w najkorzystniejszych przypadkach przekraczały wielkość 210 m/miesiąc, co jest rezultatem znaczącym.

Do oceny zmienności badanej wielkości postępu, potraktowanej jako zmienna losowa, zastosowano pakiet statystyczny STATISTICA, umożliwiający efektywne określenie podstawowych parametrów statystycznych charakteryzujących zarówno strukturę informacji źródłowej jak i wartości przeciętne oraz zróżnicowanie badanej zmiennej. W zestawieniu tabelarycznym (tab. 1) przedstawiono najważniejsze statystyki opisowe badanych wielkości postępu drążenia wyrobisk. W przypadku, gdy badana zmienna charakteryzuje się rozkładem normalnym, to parametrami takiego rozkładu są: wartość średnia (wartość oczekiwana) oraz odchylenie standardowe. Statystyki opisowe zamieszczone w tabeli 1 pozwalają wstępnie wnosić o charakterze rozkładu badanej zmiennej, np. w jakim stopniu rozkład empiryczny zbliżony jest do rozkładu normalnego. Wnioskować o tym można z relacji zachodzących między wartością średnią a medianą, czy

też wielkością współczynnika skośności – rozkład symetryczny, jakim jest rozkład normalny ma wartość zerową współczynnika skośności, skośność dodatnia charakteryzuje rozkład o prawostronnej symetrii, a skośność ujemna o lewostronnej symetrii.



Rys. 2. Średni postępowy dźwięk analizowanych wyrobisk korytarzowych oraz jego wartości minimalne i maksymalne

W ostatniej kolumnie tabeli 1 zestawiono wartości współczynnika zmienności, określonego jako procentowy stosunek wartości odchylenia standardowego do wartości średniej badanej zmiennej. Współczynnik ten jest ważnym wskaźnikiem określającym stopień zróżnicowania badanej wielkości, w tym przypadku postępu dźwięku wyrobiska. Może on być także stosowany jako miara ryzyka związanego z wykonywaniem określonego obiektu inwestycyjnego [4].

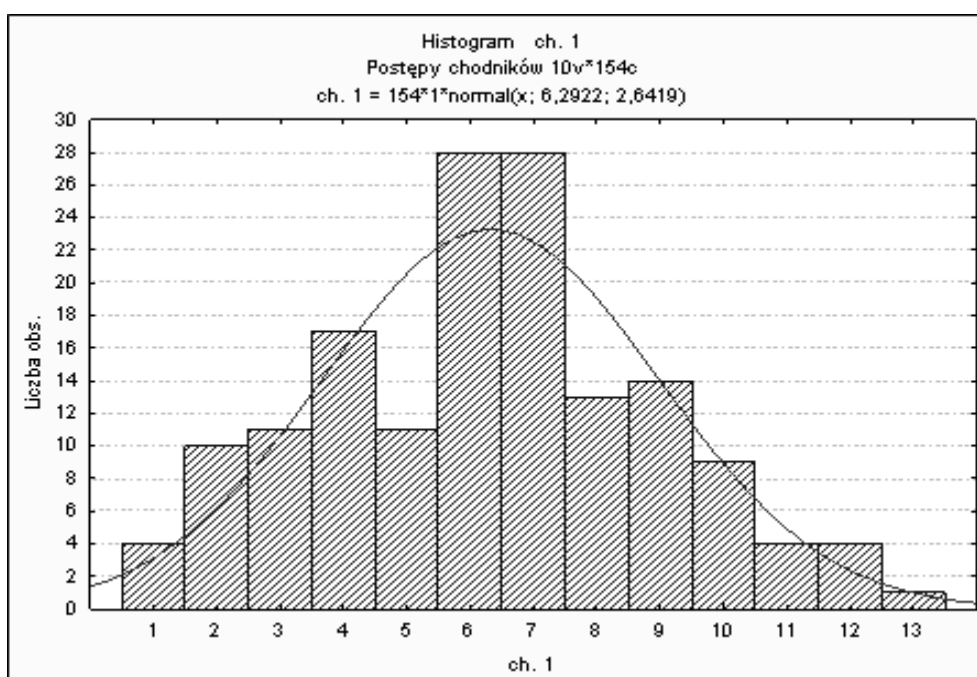
Tab. 1. Statystyki opisowe charakteryzujące funkcję gęstości prawdopodobieństwa postępu dźwięku wyrobisk korytarzowych

Wyrobisko	Średnia	Mediana	Odchyl. stand.	Minimum	Maksimum	Skośność	Zmienność
Ch.1	6,29	6,00	2,64	1,00	13,00	0,10	41,99
Ch.2	8,25	9,50	2,70	2,00	11,00	-1,15	32,76
Ch.3	7,22	7,00	3,46	1,00	16,00	0,27	47,90
Ch.4	9,91	10,00	2,90	1,00	15,00	-0,57	29,29
Ch.5	8,09	9,00	2,18	1,00	12,00	-1,13	26,94
Ch.6	10,17	10,00	3,72	1,00	16,00	-0,29	36,63
Ch.7	8,92	9,00	2,45	1,00	16,00	-0,39	27,47
Ch.8	10,05	10,00	2,79	1,00	15,00	-0,80	27,73
Ch.9	7,18	7,00	2,01	1,00	12,00	0,11	28,04
Ch.10	8,64	9,00	2,85	1,00	14,00	-0,57	32,97

Źródło: opracowanie własne

### 3. Określenie rozkładu gęstości prawdopodobieństwa postępu wykonywania wyrobisk korytarzowych

Użyty w obliczeniach pakiet statystyczny [9], umożliwia określenie funkcji gęstości prawdopodobieństwa i dopasowanie rozkładu teoretycznego zmiennej losowej do danych empirycznych uzyskiwanych w badanym zakładzie górniczym, a także określenie parametrów takiego rozkładu. Na rys 3 przedstawiono histogram częstości osiąganego postępu dobowego drążenia wyrobiska korytarzowego (dla przykładowo wybranego wyrobiska Ch. 1). Histogram przedstawia liczbę obserwacji w przedziałach klasowych o rozpiętości postępu jednego metra na dobę. Linią ciągłą na rysunku przedstawiono wykres gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego, określony przez użyty pakiet statystyczny. Parametry tego rozkładu, tzn. wartość średnia i odchylenie standardowe a także liczebność próby podane są w górnej części rysunku.



Rys. 3. Przykładowy histogram postępu dobowego drążenia wyrobiska korytarzowego Ch.1 oraz parametry dopasowanego rozkładu normalnego

Badanie rozkładów postępów drążenia wyrobisk korytarzowych przeprowadzono z zastosowaniem testu Kołmogorowa-Lillieforsa oraz testu Shapiro-Wilka. Podobnie postępowano w przypadku badania rozkładów postępów eksploatacji przodków ścianowych, których rezultaty przedstawiono w pracy [4], gdzie również przedstawiono szerszy sposób postępowania podczas testowania.

Podczas testowania sprawdza się hipotezę zerową, że próba ma rozkład teoretyczny (w tym przypadku rozkład normalny). Cała próba jest podzielona na określoną liczbę rozłącznych klas, przy czym liczbę klas wybiera się w zależności od liczebności próby.

Test Kołmogorowa-Lillieforsa [2, 8] jest testem zgodności rozkładów opartym na porównaniu dystrybuant. Jest on modyfikacją testu Kołmogorowa-Smirnowa, umożliwiającą weryfikowanie hipotez zgodności rozkładów w przypadku, gdy wartość oczekiwana i odchylenie standardowe trzeba oszacować z próby. Każdemu wynikowi próby należy przypisać wartość dystrybuanty empirycznej a następnie obliczyć różnice:

$$D_i = | F(x_i) - F_n(x_i) | \quad (1)$$

gdzie:  $F(x_i)$  – wartość dystrybuanty rozkładu teoretycznego w punkcie  $x_i$ ,  
 $F_n(x_i)$  – wartość dystrybuanty empirycznej w punkcie  $x_i$ .

Spośród obliczonych wartości wybieramy największą  $D$  i porównujemy ją z wartością krytyczną na poziomie istotności  $\alpha$  (wartości te są tablicowane). Jeżeli wartość  $D$  jest większa od wartości krytycznej to odrzucamy hipotezę o zgodności rozkładów.

W teście normalności Shapiro-Wilka wyznacza się wartości funkcji testowej  $W$  z zależności:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

gdzie:  $a_i$  – tablicowane współczynniki, zależne od średniej i wariancji,  
 $x_{(i)}$  –  $i$ -ta uporządkowana w kolejności rosnącej wartość próby,  
 $x_i$  –  $i$ -ta wartość próby,  
 $\bar{x}$  – średnia z próby.

Shapiro i Wilk podali w swojej pracy wartości współczynników  $a_i$  i wartości krytyczne dla liczebności próby  $n < 51$ . Dla  $n > 50$  wartości te zostały podane przez Roystona w 1982 roku [10].

Test ten może być wykorzystywany tylko do testowania hipotezy o normalności rozkładu. Jeżeli obliczona wartość  $W$  jest mniejsza lub równa od wartości krytycznej testu na poziomie istotności  $\alpha$ , to hipotezę o normalności rozkładu odrzucamy.

W tabeli 2 przedstawiono obliczone wartości testu Kołmogorowa-Lillieforsa oraz testu Shapiro-Wilka oraz odpowiadające im wartości krytyczne dla poziomu istotności 0,01 dla rozkładów postępów drążenia wszystkich analizowanych 10 wyrobisk korytarzowych.

Tab. 2. Testowanie rozkładów prawdopodobieństwa postępów drążenia wyrobisk korytarzowych

Wyrobisko	Liczba obserwacji	Test Kołmogorowa-Lillieforsa		Test Shapiro-Wilka	
		Wartość D	Wartość krytyczna	Wartość W	Wartość krytyczna
Ch.1	155	0,1118	0,08281	0,9767	0,9560
Ch.2	28	0,2879	0,18520	0,8038	0,8960
Ch.3	153	0,1050	0,08418	0,9734	0,9560
Ch.4	108	0,2013	0,09830	0,9428	0,9560

Ch.5	97	0,2356	010580	0,8933	0,9550
Ch.6	133	0,1075	0,08873	0,9570	0,9560
Ch.7	154	0,1660	0,08281	0,9526	0,9560
Ch.8	129	0,1988	0,09042	0,9372	0,9560
Ch.9	109	0,1711	0,09830	0,9507	0,9560
Ch.10	83	0,1342	0,11530	0,9594	0,9510

Źródło: opracowanie własne

Wyniki testowania hipotezy o normalnym charakterze rozkładu postępu drążenia wyrobisk korytarzowych nie dają jednoznacznego rezultatu. Test Kołmogorowa-Lillieforsa wskazuje, że postępy drążenia żadnego z analizowanych wyrobisk nie charakteryzują się rozkładem normalnym. Inaczej jest w przypadku testu Shapiro-Wilka, według którego postępy drążenia czterech wyrobiska (Ch.: 1, 3, 6 i 10) spełniają kryterium określone dla rozkładu normalnego. Choć według testu Kołmogorowa-Lillieforsa hipotezę o normalności rozkładu należy odrzucić, to jednak wiele z badanych przypadków ma charakter bardzo zbliżony do normalnego, świadczą o tym niewielkie różnice między wielkościami danego testu a wielkościami krytycznymi a także wielkości innych statystyk opisowych dla danej próby losowej. Ponieważ większość zjawisk losowych charakteryzuje się rozkładem normalnym, to każde zjawisko odbiegające od „normalności” w tym względzie, wymaga dodatkowych badań dla określenia znaczenia czynników powodujących odchylenia.

#### **4. Analiza wpływu wybranych czynników geologicznych i górniczo-technicznych na postęp drążenia wyrobisk korytarzowych**

Jak wynika z przedstawionych wyżej rozważań, dotyczących zmienności postępu drążenia, wielkość ta jest w znacznym stopniu zróżnicowana, co oznacza, że na dobowe rezultaty produkcyjne mogą mieć wpływ różne czynniki, które także zmieniają się w trakcie drążenia wyrobiska.

Aby określić wpływ najważniejszych wielkości geologicznych i górniczo-technicznych na wielkość postępu wykonywania wyrobisk korytarzowych w rozważanym zakładzie górniczym, dokonano selekcji takich potencjalnych czynników oraz starano się przeprowadzić ocenę istotności tych czynników. Wzięto jedynie pod uwagę te czynniki, które zgodnie z doświadczeniami wykonawców tego typu obiektów inwestycyjnych, jakimi są wyrobiska chodnikowe, wpływają na wielkość postępu drążenia, a więc powinny również wpływać na całkowity czas ich realizacji.

Relacje zachodzące między wybranymi czynnikami a wielkością postępu drążenia badano dla tego samego zbioru wyrobisk chodnikowych, dla którego określano zmienność postępu, stosując metody statystyki matematycznej oraz modelowania ekonometrycznego.

Średni postęp dobowy drążenia wyrobisk korytarzowych w analizowanej kopalni jest zmienną objaśnianą, oznaczoną przez Y, natomiast badane czynniki są zmiennymi objaśniającymi, oznaczonymi kolejnymi symbolami od X1 do X6.

W analizie uwzględniono następujące czynniki geologiczne i górniczo-techniczne:

- wytrzymałość na ściskanie skał spągowych, MPa, X1,
- wytrzymałość na ściskanie skał stropowych, MPa, X2,
- długość całkowita wyrobiska, m, X3,
- długość dróg odstawy urobku, m, X4,

- efektywny czas pracy przodka, min/zm, X5,
- profil obudowy (określający przekrój poprzeczny wyrobiska), X6.

Postęp drążenia zależy także od innych czynników, takich jak np. nachylenie drążonego wyrobiska czy też udział skały płonnej w profilu wyrobiska i inne, ale ponieważ w badanym przypadku wyrobiska te nie były pod tym względem zróżnicowane zrezygnowano z uwzględnienia w modelu z tych czynników. Czynnikiem szóstym, oznaczony X6, jak już wspomniano, dotyczy profilu obudowy wyrobiska, który wskazuje nie tylko na typ zastosowanej obudowy podatnej lecz także na wielkość przekroju poprzecznego wyrobiska. Dla profilu ŁP V25/9 przekrój wynosi 14,45 m<sup>2</sup>, a dla profilu ŁP10 V25/10 – 18,02 m<sup>2</sup> (jest to przekrój użyteczny, przekrój w wyłomie jest nieco większy).

Przygotowane w ten sposób zestaw danych wejściowych do analizy przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Średni postęp dobowy drążenia wyrobisk korytarzowych oraz wielkości badanych czynników geologicznych i górniczo-technicznych

Wyrobisko	Y [m/db]	Badane czynniki (zmiennie objaśniające)					
		X1 [MPa]	X2 [MPa]	X3 [m]	X4 [m]	X5 [min/zm]	X6
Ch.1	6,30	22,3	12,1	1060	6500	290	9
Ch.2	8,25	3,2	11,4	270	6500	290	10
Ch.3	7,22	30,6	14,2	1570	7700	270	10
Ch.4	9,91	11	9,1	1274	4200	280	10
Ch.5	8,09	11	9,1	1274	4150	280	9
Ch.6	10,17	11	9,1	1800	3600	300	9
Ch.7	8,92	25	11,6	1940	6000	270	10
Ch.8	10,05	23,5	16,5	1380	6000	270	10
Ch.9	7,18	22,2	15,9	1030	4000	260	9
Ch.10	8,64	22,2	15,9	960	4000	260	10

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych statystycznych

Zestaw danych wejściowych posłużył do oszacowania parametrów liniowego modelu ekonometrycznego, określającego wpływ badanych czynników na wartość średnią postępu wykonywania wyrobisk w rozważanych warunkach. Dobór odpowiedniego zestawu zmiennych objaśniających, spośród wielu czynników, które mogą wpływać na zmienną objaśnianą, jest jednym z ważniejszych zagadnień, które należy uwzględnić w budowie modelu ekonometrycznego. Ważną rolę w tym zakresie odgrywa macierz korelacji gdyż zmiennie uwzględniane w modelu powinny być możliwie silnie skorelowane ze zmienną objaśnianą oraz możliwie słabo skorelowane pomiędzy sobą. W tabeli 4 przedstawiono współczynniki korelacji zarówno między badanymi czynnikami geologicznymi i górniczo-technicznymi, charakteryzującymi dane wyrobisko, jak i między nimi a wielkością postępu drążenia. Macierz korelacji jest macierzą symetryczną względem głównej przekątnej.

W liniowym modelu ekonometrycznym zmiennie objaśniające powinny być wielkościami nielosowymi oraz powinny być niezależne i wolne od współliniowości, czyli nie powinna występować między nimi dokładna zależność liniowa. W praktyce wykorzystuje się wiele technik doboru zmiennych do modelu, takich jak: metoda



wszystkich możliwych modeli, eliminacja a priori, eliminacja a posteriori, regresja krokowa, regresja stopniowa czy też metoda pojemności nośników informacji [3]. Wszystkie one w jakimś stopniu wykorzystują macierz korelacji do przeprowadzenia oceny.

Tab. 4. Macierz korelacji badanych zmiennych

	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Y	1,0000						
X1	-0,3346	1,0000					
X2	-0,2350	0,6660	1,0000				
X3	0,3414	0,4635	-0,1716	1,0000			
X4	-0,4129	0,3926	0,2371	-0,0632	1,0000		
X5	0,1555	-0,6396	-0,7501	-0,0302	0,0171	1,0000	
X6	0,3483	0,1586	0,2733	-0,0638	0,4227	-0,3539	1,0000

Źródło: opracowanie własne

W analizowanym przypadku zmienne czynniki wykazują ogólnie stosunkowo niskie wzajemne skorelowanie – jedynie w trzech przypadkach współczynnik przekracza wartość 0,5 (co do bezwzględnej jego wartości). Niestety, w większości przypadków czynniki te (rozpatrywane indywidualnie) wykazują również niskie skorelowanie z badaną zmienną objaśnianą, choć jednak pewną zależność statystyczną można zaobserwować.

Wstępny etap budowy modelu ekonometrycznego, jakim jest dobór zmiennych objaśniających prowadzi w konsekwencji do oszacowania parametrów strukturalnych modelu, czyli wyrazu wolnego oraz parametrów stojących przy każdej ze zmiennych. Wartości tych współczynników dla badanego zbioru zmiennych zamieszczono w tabeli 5, wraz z wartościami błędu standardowego oszacowania parametru oraz wartością statystyki t, przydatnej w ocenie jego istotności.

Jednym ze sposobów weryfikacji, czy też oceny modelu ekonometrycznego jest obliczenie jednej z podstawowych miar jakości dopasowania modelu do danych empirycznych. Miarą taką może być współczynnik determinacji, określony na podstawie zależności:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

gdzie:  $\hat{Y}_i$  – wartości zmiennej objaśnianej określone na podstawie modelu,

$\bar{Y}$  – średnia wartość zmiennej objaśnianej,

$Y_i$  – i-ta wartość zmiennej objaśnianej.

W przypadku gdy wartości oszacowane na podstawie modelu są identyczne jak wartości obserwowane, to współczynnik determinacji przyjmuje wartość 1, co oznacza idealne

dopasowanie modelu. W analizowanym przypadku współczynnik determinacji osiąga wartość 0,965, co świadczy o dokładnym dopasowaniu modelu do danych empirycznych.

Tab. 5. Parametry strukturalne modelu liniowego, błąd standardowy ich oszacowania oraz wartość statystyki t

Zmienna	Współczynniki	Błąd standardowy	t
Przecięcie	-22,03771	9,41013	-2,34191
<b>X1</b>	-0,16391	0,05847	-2,80345
<b>X2</b>	0,38398	0,10957	3,50438
<b>X3</b>	0,00281	0,00065	4,35032
<b>X4</b>	-0,00039	0,00020	-1,99090
<b>X5</b>	0,03920	0,02448	1,60134
<b>X6</b>	1,70680	0,41884	4,07505

Źródło: opracowanie własne

Dopełnieniem wartości współczynnika determinacji do 1 jest współczynnik zbieżności. Stanowi on miarę odpowiadającą frakcji zmienności, której model nie wyjaśnia [3]. Wobec tego, im bliższa zeru jest jego wartość tym lepsza jakość modelu, którego parametry aproksymowano. W badanym przypadku wartość współczynnika zbieżności wynosi 0,035. Wysoka wartość współczynnika determinacji oraz bliska zeru wartość współczynnika zbieżności świadczą o właściwym doborze modelu liniowego do opisu charakteru badanego procesu gospodarczego.

Innym sposobem oceny poprawności modelu jest graficzne porównanie wartości zmiennej objaśnianej oszacowanej na podstawie uzyskanego modelu z wartościami obserwowanymi w praktyce kopalnianej.

Podkreślić należy, że przedstawiony model ekonometryczny w sposób przybliżony oddaje charakter badanych zależności. Dzieje się tak dlatego, że za zmienną objaśnianą uznano średnie wartości uzyskiwanego postępu drążenia wyrobisk, a te w rzeczywistości zmieniają się w znacznych przedziałach. Należałoby w rzeczywistości uwzględnić przy szacowaniu parametrów strukturalnych modelu wszystkie realizacje zmiennej objaśnianej, lecz komplikuje to obliczenia ze względu na liczbę obserwacji.

## 5. Zakończenie

Badanie zmienności oraz charakteru rozkładów gęstości prawdopodobieństwa postępu wykonywania wyrobisk korytarzowych w zakładzie górniczym ma bardzo istotne znaczenie dla projektowania przyszłej eksploatacji złoża. Wyrobiska korytarzowe determinują możliwość udostępnienia i przygotowania do eksploatacji we właściwych momentach czasu wyrobisk wybierkowych. Zmienność warunków geologicznych w jakich są wykonywane wyrobiska oraz zmienność czynników górniczo-technicznych związanych z ich drążeniem powodują, że postęp drążenia nie jest wielkością deterministyczną. Mimo dążenia do zaprojektowania właściwej organizacji tego procesu oraz wykorzystaniu najlepiej dobranych środków technicznych w praktyce obserwuje się znaczne odchylenie wartości uzyskiwanych w trakcie wykonywania wyrobisk od tych zaplanowanych. Jest to

jeden z ważniejszych powodów podejmowania prób zmierzających do określenia wpływu zmiennych czynników na uzyskiwane rezultaty produkcyjne.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy N N524 468939.

### **Literatura**

1. Chmiela A.: Wybrane zagadnienia z organizacji produkcji górniczej. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1978.
2. Domański C., Pruska K.: Nielasyne metody statystyczne. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2000.
3. Dziechciarz J.: (red.) Ekonometria. Metody, przykłady, zadania. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego, Wrocław, 2002.
4. Franik T., Woźny T.: Badanie zmienności postępu eksploatacji przodków ścianowych w wybranej kopalni węgla kamiennego. Przegląd Górniczy nr 9 (1066), 2011.
5. Głodzik S., Magda R., Woźny T.: Identyfikacja rozkładów prawdopodobieństwa postępów drażenia wyrobisk korytarzowych w polu eksploatacyjnym. Przemysł wydobywczy 2001. Wydawnictwo „SCRIPTUM” s.c., Kraków, 2001.
6. Głodzik S., Woźny T.: Badanie rozkładów prawdopodobieństwa postępów ścian węglowych. Szkoła Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie, Bukowina Tatrzańska, 2002.
7. Kozdrój M., Kozdrój-Weigel M.: Teoria i praktyka organizowania produkcji górniczej. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1993.
8. Liliefors H.: On the Kolmogorov-Smirnov tests for normality with mean and variance unknown. Journal of American Statistical Association nr 62, 1967.
9. Luszniwicz A., Słaby T.: Statystyka z pakietem komputerowym STATISTICATM PL. Wydawnictwo C. H. Beck, Warszawa, 2001.
10. Royston J.: An extension of Shapiro and Wilk's test for normality to large samples. Applied Statistics nr 31, 1982.

Dr inż. Tadeusz FRANIK  
Katedra Ekonomiki i Zarządzania w Przemśle  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica  
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30  
tel.: (0-12) 617 21 37  
e-mail: franik@agh.edu.pl