

Stanisław DUŻY
Politechnika Śląska, Gliwice

STATYSTYCZNA CHARAKTERYSTYKA JAKOŚCI PROCESU DRAŻENIA WYROBISK KORYTARZOWYCH

Streszczenie. O niezawodności i bezpieczeństwie konstrukcji budowli podziemnej w znacznej mierze decyduje jakość wykonania. Istnieje zatem potrzeba stosowania jednolitej metody jej oceny. W referacie przedstawiono wyniki badań jakości wykonania wyrobisk korytarzowych drażonych w kopalniach węgla kamiennego. Przeprowadzono analizę tych wyników wykorzystując do tego celu metody statystyczne stosowane w zarządzaniu jakością.

STATISTICAL CHARACTERISTIC OF HEADINGS DRIVING PROCESS QUALITY

Summary. The quality of the execution of underground buildings greatly decides about reliability and safety. Because of that there is a need to adapt one method of rating it. The paper presents the results of driven headings quality research in collieries. An analysis of the results has been performed using statistical methods used in quality administration.

1. Wprowadzenie

Projektowanie budowli podziemnych oparte jest na dwóch podstawowych zasadach, a mianowicie zasadzie niezawodności i bezpieczeństwa konstrukcji oraz zasadzie ekonomicznej efektywności. Zasady te, będąc często w sprzeczności ze sobą, powodują konieczność poszukiwania rozwiązania kompromisowego, które spełnia podstawowe kryteria wymienionych zasad.

O niezawodności i bezpieczeństwie konstrukcji budowli podziemnej w znacznej mierze decyduje jakość jej wykonania. W projektowaniu budowli przyjmuje się dokładne, projektowe gabaryty wyrobiska i normowe parametry dotyczące nośności obudowy,

a ewentualne niedokładności wykonawcze i materiałowe uwzględnia się w współczynnikach bezpieczeństwa. W tej sytuacji istnieje potrzeba opracowania jednolitej metody oceny jakości budowli podziemnej, pozwalającej na kontrolę zgodności realizacji wyrobiska z projektem przy uwzględnieniu dopuszczalnych odchyłek.

Zagadnienie przedstawiono na przykładzie wyrobisk przygotowawczych drażonych w kopalniach węgla kamiennego z zastosowaniem stalowej obudowy odrzwiowej podatnej.

2. Badania dokładności wykonania wyłomu wyrobiska

Gabaryty wyłomu mają znaczący wpływ na wielkość i rozkład oddziaływania górotworu na obudowę wyrobiska. Dlatego tak dużą wagę przypisuje się dokładności jego wykonania. Dokładność wykonania wyłomu wyrobiska zależy m.in. od technologii drażenia, projektowanej wielkości przekroju poprzecznego, kształtu przekroju poprzecznego, własności wytrzymałościowych i odkształceniowych skał itp.

W celu oszacowania dokładności wykonania wyłomu wyrobiska w odniesieniu do jego normowych gabarytów przeprowadzono badania w kilkunastu przodkach drażonych w kopalniach węgla kamiennego wyrobisk korytarzowych. Badania przeprowadzono w drażonych wyrobiskach przygotowawczych różniących się pod względem:

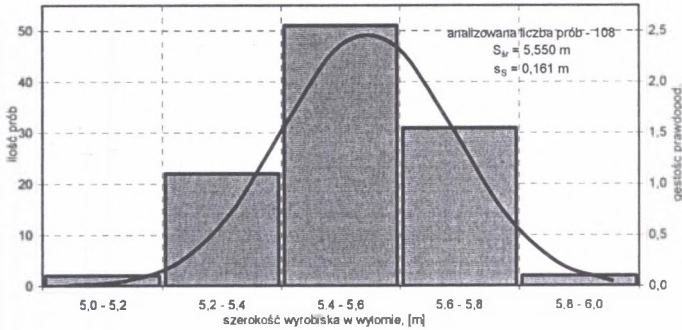
- wielkości przekroju poprzecznego – analizą objęto wyrobiska odpowiadające gabarytom wyrobisk korytarzowych w obudowie ŁP-8, ŁP-9 i ŁP-10,
- technologią urabiania skały – urabianie mechaniczne, urabianie za pomocą materiałów wybuchowych.

W przodkach drażonych wyrobisk przeprowadzono pomiary szerokości i wysokości wyłomu wyrobiska. Przykładowe wyniki przeprowadzonych pomiarów w wyrobiskach drażonych za pomocą urabiania mechanicznego przedstawiono na rys. 1 i 2.

Przeprowadzona analiza wyników pomiarów wykazała, że:

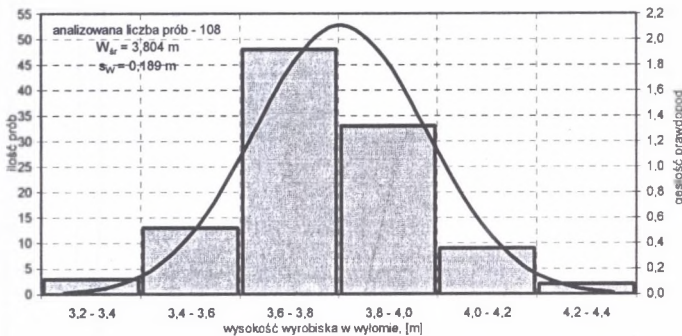
- w przodkach drażonych za pomocą materiałów wybuchowych wielkość wyłomu jest większa niż w przypadku drażenia za pomocą kombajnu chodnikowego,
- mniejsze odchylenia od wymiarów normowych występują w szerokości wyłomu wyrobiska niż w jego wysokości,
- odchyłki szerokości i wysokości wyłomu wykazują wyraźną zależność od gabarytów wyrobiska,

- wraz ze wzrostem szerokości wyrobiska rośnie wielkość odchyłek od wartości normowych wysokości wyrobiska, a maleje wielkość odchyłki jego szerokości.



Rys. 1. Histogram wyników badań szerokości wylomu wyrobiska – wyrobisko odpowiadające gabarytom obudowy ŁP-9

Fig. 1. Histogram of heading breach width research results – heading suiting the gauge of ŁP-9 support



Rys. 2. Histogram wyników badań wysokości wylomu wyrobiska – wyrobisko odpowiadające gabarytom obudowy ŁP-9

Fig. 2. Histogram of heading breach height research results – heading suiting the gauge of ŁP-9 support

3. Badania dokładności wykonania obudowy wyrobiska

O nośności obudowy decyduje wiele czynników, które określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in situ. Badania wykazują, że poszczególne dane charakteryzują się pewnym rozrzutem. Wykorzystując metody analizy statystycznej przeprowadzić można badania rozkładu potrzebnych do określenia nośności obudowy budowli podziemnych parametrów charakteryzujących jej konstrukcję.

W celu określenia jakości wykonania obudowy wyrobiska przeprowadzono pomiary szerokości i wysokości odrzwi obudowy, podstawowych wymiarów przekroju poprzecznego zastosowanego kształtownika, długości i promieni łuków odrzwiowych, długości zakładki w zamkach obudowy oraz momentu dokręcenia śrub w strzemionach zamków.

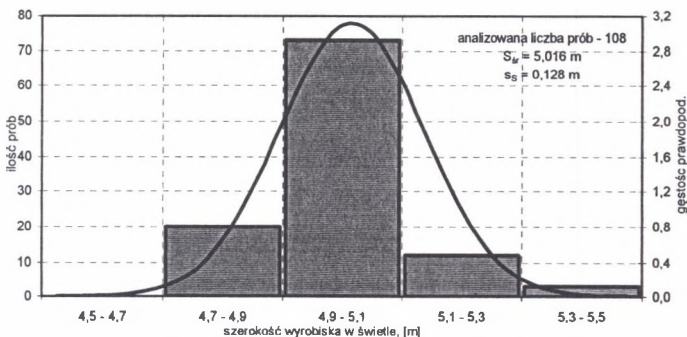
Przykładowe wyniki przeprowadzonych pomiarów jakości wykonania odrzwi obudowy ŁP-9/A/V25 przedstawiono w tablicy 1 oraz na rys. 3–10.

Tablica 1
Zestawienie wyników badań wybranych parametrów odrzwi obudowy ŁP-9/A/V25

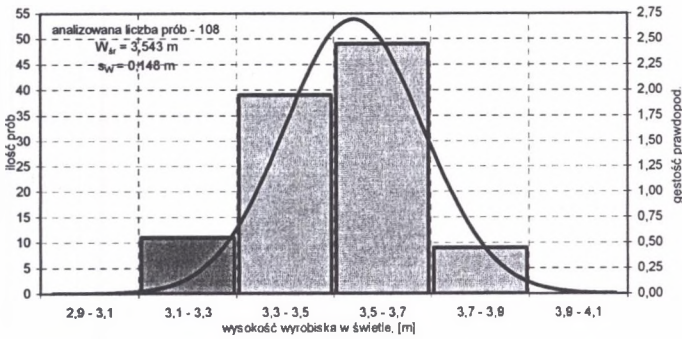
Lp.	Wielkość	Jedn.	Wartości normowe		Liczba wskazań	Wartości pomierzone			
			nominalna	dop. odchyłka		wartość średnia	wartość max.	wartość min.	odch. stand.
1.	S_S	[m]	5,000	0,100	108	5,016	5,40	4,75	0,128
2.	W_S	[m]	3,500	0,070	108	3,543	3,90	3,20	0,148
3.	K	[mm]	135,0	1,000	54	135,061	135,30	134,80	0,133
4.	D	[mm]	15,0	0,600	54	14,967	15,2	14,80	0,119
5.	G	[mm]	7,5	0,500	54	7,528	7,70	7,40	0,089
6.	E	[mm]	28,5	0,600	54	28,461	28,70	27,90	0,220
7.	H	[mm]	118	+1,0/-0,6	54	118,110	118,20	117,80	0,113
13.	C	[mm]	0,550	0,028	216	0,585	0,98	0,30	0,128
14.	M_d	[Nm]	300	50	145	302	400	180	44

Oznaczenia przyjęte w tablicy 1:

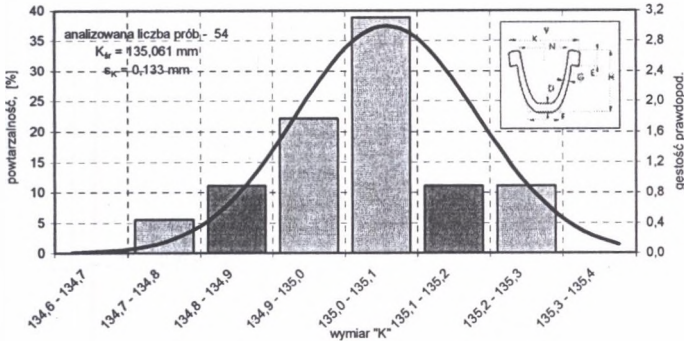
S_S – szerokość wyrobiska w świetle obudowy, W_W – wysokość wyrobiska w świetle obudowy, K – szerokość zewnętrzna przekroju kształtownika, H – wysokość zewnętrzna przekroju kształtownika, D – grubość ścianki dna kształtownika, G – grubość ścianki bocznej kształtownika, E – wysokość kołnierza kształtownika, C – długość zakładki w zamku odrzwi obudowy, M_d – moment dokręcenia śrub w strzemionach.



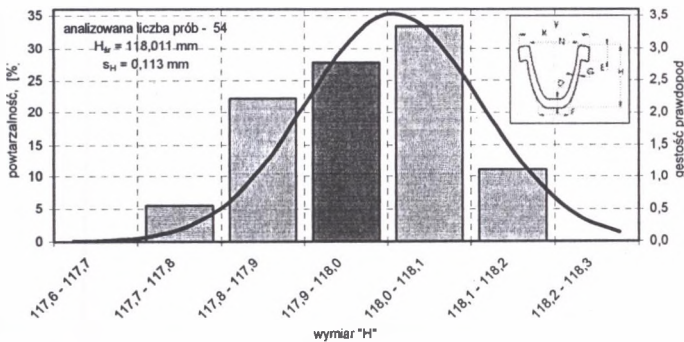
Rys. 3. Histogram wyników badań szerokości wyrobiska w świetle obudowy ŁP-9/A/V25
Fig. 3. Histogram of heading width research results in the light of ŁP-9/A/V25 support



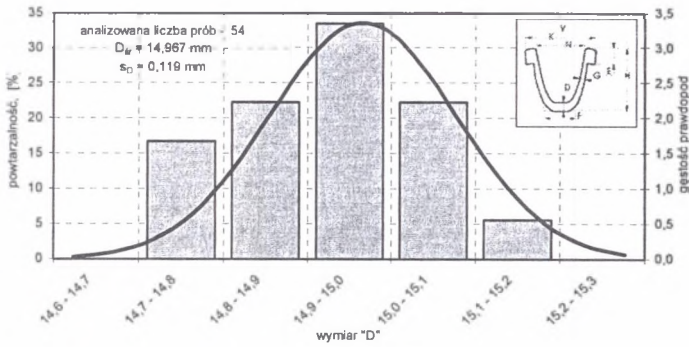
Rys. 4. Histogram wyników badań wysokości wyrobiska w świetle obudowy ŁP-9/A/V25
 Fig. 4. Histogram of heading height research results in the light of ŁP-9/A/V25 support



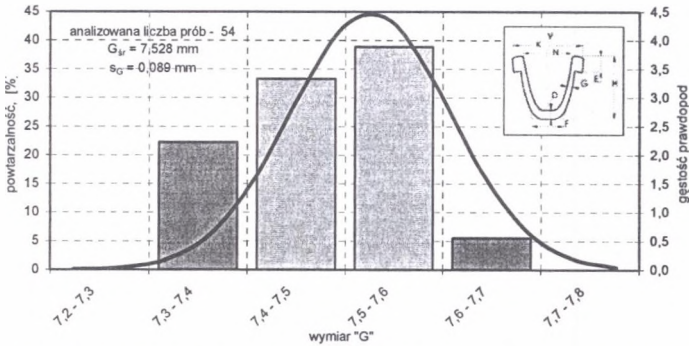
Rys. 5. Histogram wyników badań szerokości zewnętrznej przekroju kształtownika V25
 Fig. 5. Histogram of shape V25 exterior width research results



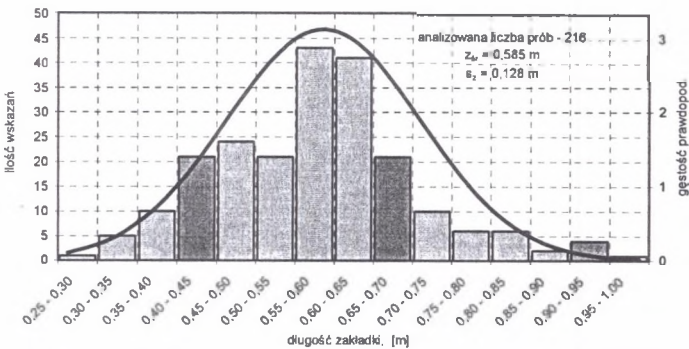
Rys. 6. Histogram wyników badań wysokości zewnętrznej przekroju kształtownika V25
 Fig. 6. Histogram of shape V25 exterior height research results



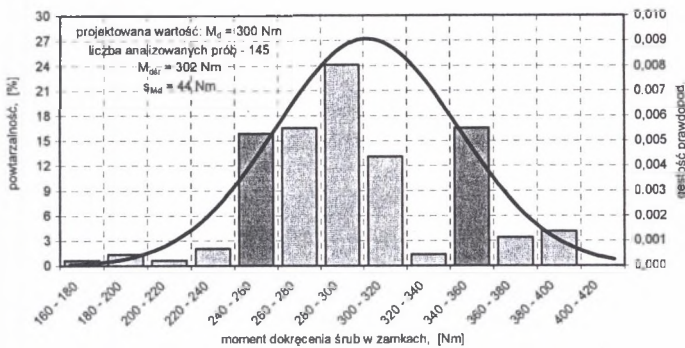
Rys. 7. Histogram wyników badań grubości dna przekroju kształtownika V25
 Fig. 7. Histogram of shape V25 bottom thickness research results



Rys. 8. Histogram wyników badań grubości ścianki bocznej przekroju kształtownika V25
 Fig. 8. Histogram of shape V25 wall thickness research results



Rys. 9. Histogram wyników badań długości zakładki w zamkach odrzwi obudowy ŁP-9/A/V25
 Fig. 9. Histogram of overlap length research results in ŁP-9/A/V25 double timber lock



Rys. 10. Histogram wyników badań momentu dokręcenia śrub w strzemionach SD-25 zamków obudowy ŁP-9/A
 Fig. 10. Histogram of screw home moment research results in SD-25 stirrups in ŁP-9/A support lock

4. Charakterystyka jakości wykonania wyrobiska korytarzowego

4.1. Statystyczna kontrola procesu drążenia wyrobiska korytarzowego

Kontrolę procesu drążenia wyrobiska korytarzowego można przeprowadzić opierając się na kartach kontrolnych wybranych parametrów rozkładu badanej własności. Karty kontrolne pozwalają na ocenę stabilności procesu oraz zdolności do spełniania jakościowych wymagań.

Do statystycznej kontroli procesu drążenia wyrobiska korytarzowego wykorzystano karty kontrolne. Karty te pozwalają śledzić przebieg procesu i oceniać, czy ewentualne wahania średniej lub innej miary statystycznej kontrolowanych cech są na tyle znaczne, że oznaczają trwale rozregulowanie procesu i w konsekwencji mogą prowadzić do powstania produktu nie spełniającego wymagań [5].

Karta kontrolna Shewartha jest narzędziem do prowadzenia takiego testu w warunkach produkcyjnych. Przyjmując jako x_c wartość średnią analizowanego parametru, wartości graniczne testu zastąpione są granicznymi liniami kontrolnymi x_d i x_g , które można wyrazić wzorami [5]:

$$x_d = x_c - \frac{u_{\alpha/2} \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$x_g = x_c + \frac{u_{\alpha/2} \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

gdzie

x_d – dolna linia graniczna,

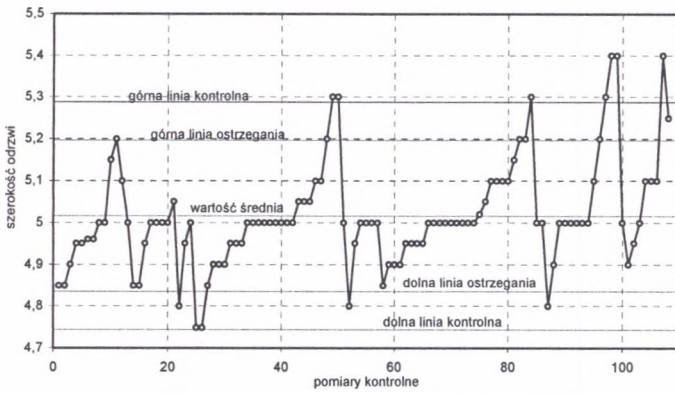
x_g – górna linia graniczna,

x_c – wartość średnia analizowanego parametru,

σ – odchylenie standardowe analizowanego parametru,

$u_{\alpha/2}$ – zmienna losowa standaryzowana odczytywana z tablic.

Na rys. 11–14 przedstawiono dla wybranych parametrów charakteryzujących proces wykonywania odrzwi obudowy stalowej podatnej karty kontrolne oparte na wynikach badań przeprowadzonych w przodkach drążonych wyrobisk korytarzowych.



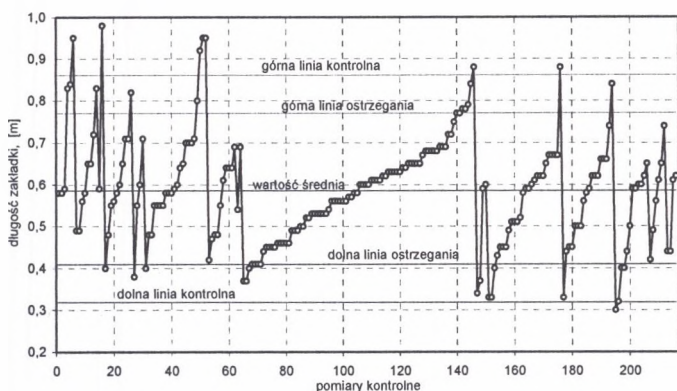
Rys. 11. Karta kontrolna szerokości odrzwi obudowy ŁP-9/A

Fig. 11. Width control card in ŁP-9/A arching support

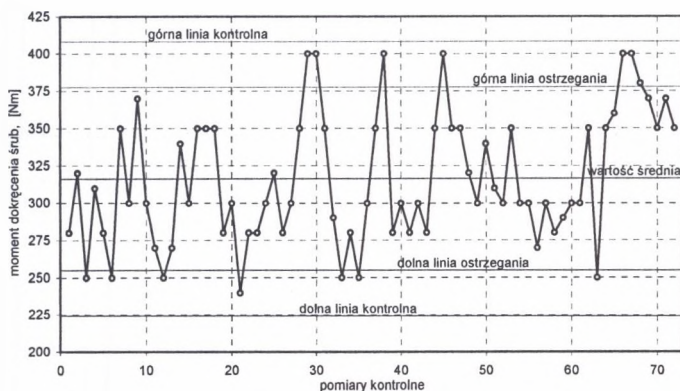


Rys. 12. Karta kontrolna wysokości odrzwi obudowy ŁP-9/A

Fig. 12. Height control card in ŁP-9/A arching support



Rys. 13. Karta kontrolna długości zakładki w zamkach odrzwi obudowy ŁP-9/A
 Fig. 13. Control card of overlap length in ŁP-9/A/V25 double timber lock



Rys. 14. Karta kontrolna momentu dokręcenia śrub w strzemiach SD-25 zamków obudowy ŁP-9/A
 Fig. 14. Control card of screw home moment in SD-25 stirrups in ŁP-9/A support lock

4.2. Miary poziomu jakości wykonania wyrobiska

Jakość wykonania jest to relacja między zbiorem technicznych i użytkowych właściwości produktu przewidzianym w projekcie a tym zbiorem właściwości, który jest realizowany w procesie produkcji lub świadczenia usługi [5]. W praktyce podstawowymi miarami poziomu jakości wykonania są wadliwość (poprawność) oraz przeciętna liczba wad w jednostce.

Wadliwość można definiować jako prawdopodobieństwo uzyskania efektu niezgodnego z zamierzonym w projekcie. Niezgodność z projektem może dotyczyć jednego lub większej liczby parametrów charakteryzujących wyrób. Ogólnie liczbowo wadliwość można zapisać w postaci [6]:

$$p(X) = 1 - \prod_{j=1}^k [1 - p(X_j)] \quad (3)$$

gdzie

$p(X)$ – wadliwość ogólna produktu,

$p(X_j)$ – wadliwość cząstkowa produktu z punktu widzenia j -tej własności,

k – liczba wadliwości cząstkowych.

W przypadku wykonywania wyrobisk korytarzowych, jakość wykonania można ocenić za pomocą przeciętnej liczby wad w jednostce długości wyrobiska. W przypadku stosowania tej miary ustala się miary cząstkowe z punktu widzenia poszczególnych własności produktu, a następnie określa się sumaryczną liczbę wad w jednostce dzieląc je na mało istotne i istotne [6, 7]. Ogólnie wzór można zapisać w postaci:

$$\lambda_m = h_2 \cdot \lambda_m^{(2)} + h_3 \cdot \lambda_m^{(3)} \quad (4)$$

gdzie

λ_m – przeciętna liczba wad w jednostce produktu,

$\lambda_m^{(2)}$ – ogólna przeciętna liczba wad istotnych w jednostce produktu o liczności m ,

$\lambda_m^{(3)}$ – ogólna przeciętna liczba wad mało istotnych w jednostce produktu o liczności m ,

m – liczność produktu,

h_2 – waga przypisywana cechom istotnym,

h_3 – waga przypisywana cechom mało istotnym,

Dla uzyskanych z badań danych przeprowadzono obliczenia wadliwości rozumianej jako prawdopodobieństwo wystąpienia wartości poszczególnych parametrów poza zakresem dopuszczalnym. Obliczone wartości przedstawiono w tabelicy 2.

Tablica 2

Zestawienie wyników obliczeń wadliwości drażenia wyrobiska korytarzowego

Parametr	S_S	W_S	K	D	G	E	H	C	M_d	Ogółem
$p(X)$	0,073	0,205	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,211	0,019	0,428

4.3. Analiza zdolności jakościowej procesu drażenia wyrobiska korytarzowego

Zdolność jakościowa procesu polega na określeniu zgodności między wymaganiami wynikającymi z projektu i możliwościami procesu technologicznego, w którym analizowany produkt jest wytwarzany. Miarą zdolności jakościowej procesu jest wskaźnik wyrażony wzorami [5, 6, 7]:

$$c_p = \frac{x_g - x_d}{6 \cdot \sigma} \quad (5)$$

lub

$$c_{pk} = \frac{x_g - \bar{x}}{3 \cdot \sigma}, \quad \text{gdy } x_g - \bar{x} \leq \bar{x} - x_d \quad (6)$$

$$c_{pk} = \frac{\bar{x} - x_d}{3 \cdot \sigma}, \quad \text{gdy } x_g - \bar{x} > \bar{x} - x_d \quad (7)$$

gdzie

c_p – wskaźnik jakościowy procesu określający potencjalne możliwości procesu do spełnienia wymagań jakościowych,

c_{pk} – wskaźnik jakościowy procesu będący miarą wycentrowania procesu,

x_g – górna granica tolerancji analizowanej własności,

x_d – dolna granica tolerancji analizowanej własności,

\bar{x} – wartość średnia analizowanej własności.

Opierając się na danych z badań przeprowadzonych w przodkach drażonych wyrobisk wykonano obliczenia wskaźników zdolności jakościowej procesu drażenia wyrobiska korytarzowego, których wyniki zestawiono w tabelicy 3.

Tabelica 3

Zestawienie wyników obliczeń wadliwości drażenia wyrobiska korytarzowego

Parametr	S_S	W_S	K	D	G	E	H	C	M_d
c_p	1,69	1,58	1,25	1,12	1,12	1,21	1,18	1,77	1,67
c_{pk}	0,69	0,77	0,60	0,47	0,48	0,36	0,27	0,74	0,74

5. Podsumowanie

Drażenie wyrobisk górniczych jest procesem złożonym pod względem technologicznym, co powoduje, że efekt końcowy tego procesu ma charakter niejednorodny i w różnym stopniu odbiegający od wartości projektowych. Z drugiej strony, jakość wykonania wyrobiska decyduje o niezawodności i bezpieczeństwie konstrukcji budowli. Istnieje zatem potrzeba jak najdokładniejszej prognozy wpływu czynników naturalnych i technologicznych na jakość wykonania wyrobiska oraz jej uwzględnienia w opracowaniu projektu.

Przeprowadzone badania oraz analiza ich wyników wykazała, że w przypadku drążenia chodnika z zastosowaniem urabiania mechanicznego oraz zabezpieczonego obudową odrzwiową z profilu V25 istnieje możliwość osiągnięcia dobrej ($c_p > 1,0$), a nawet bardzo dobrej zdolności jakościowej procesu ($c_p > 1,66$). Aby proces drążenia wyrobiska można było ocenić pozytywnie, wskaźnik zdolności jakościowej procesu c_p winien osiągać wartość powyżej 1,0 [5].

Proces drążenia wyrobiska ze względu na swoją złożoność jest trudny do wycentrowania ($c_p \neq c_{pk}$), co wskazuje na ciągłe oddziaływanie czynników specjalnych powodując, że wartość analizowanego parametru jest różna od wartości nominalnej.

Zdolność jakościowa procesu drążenia wyrobiska zależy głównie od położenia granic tolerancji analizowanego parametru, odchylenia standardowego i rzeczywistej średniej procesu. Granica tolerancji ma charakter subiektywny i może być w łatwy sposób zmieniana w zależności od kryteriów charakteryzujących warunki naturalne i górnicze. Prawdziwe doskonalenie procesu, wyrażane wzrastającą wartością wskaźnika zdolności jakościowej procesu może być osiągnięte tylko poprzez zmniejszenie zmienności procesu prowadzące do obniżenia odchylenia standardowego badanych parametrów charakteryzujących wyrobisko.

LITERATURA

1. Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Cz. I. Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. Śląsk, Katowice, 1986.
2. Chudek M., Duży S., Kleta H., Kłęczek Z., Stoiński K., Zorychta A.: Zasady doboru i projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Wyd. KGBPiOP Pol. Śl., Gliwice–Kraków–Katowice, 2000.
3. Duży S.: Probabilistyczna analiza podporności stalowej obudowy odrzwiowej podatnej wyrobiska korytarzowego. Wiadomości Górnicze, 2004, nr 1.
4. Duży S.: Probabilistyczna analiza stateczności budowli podziemnych. Przegląd Górniczy, 2004, nr 4
5. Hamrol A. Mantura W.: Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005.
6. Iwasiewicz A.: Metody statystyczne w zarządzaniu jakością. StatSoft Polska, 2000,
7. Iwasiewicz A.: Zarządzanie jakością. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1999.