

Stanisław DUŻY  
Politechnika Śląska, Gliwice

## MODELE STOSOWANE W PROJEKTOWANIU BUDOWLI PODZIEMNYCH

**Streszczenie.** Projektowanie konstrukcji wyrobisk korytarzowych w kopalniach podziemnych wymaga znalezienia kompromisu pomiędzy zapewnieniem bezpieczeństwa pracy w tych wyrobiskach a maksymalizacją efektu ekonomicznego. Dodatkową trudnością w projektowaniu wyrobisk podziemnych są zmienność warunków naturalnych i górniczych na wybiegu wyrobiska oraz przybliżone wartości parametrów opisujących warunki jego utrzymania. Rozwiązanie tego problemu jest możliwe przy zastosowaniu deterministycznych lub probabilistycznych metod projektowania, opartych o teorię niezawodności i bezpieczeństwa konstrukcji. Podjęty problem przedstawiono na przykładzie projektowania wyrobisk korytarzowych w podziemnych kopalniach węgla kamiennego.

## THE MODELS USED IN UNDERGROUND BUILDINGS DESIGNING

**Summary.** Designing excavation constructions in underground mines demands finding a compromise between assuring safety in those excavations and maximizing the economic effect. Another difficulty in designing underground excavations is the changeability of natural and mining conditions on of the excavation and the approximate parameter values describing the maintenance conditions. Solving this problem is possible due to the usage of the deterministic or probabilistic designing method based on the construction reliability and safety theory. The raised problem is presented on the example of excavation designing in underground collieries.

### 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.

Do tego celu wykorzystuje się często zasadę izomorfizmu między systemami zmiennych opisujących różnorodne zjawiska oraz podobieństwa między tymi zjawiskami. W przypadku modelowania oryginalnych systemów lub procesów stosuje się różne rodzaje modeli oraz przeprowadza się weryfikację zastosowanych modeli, przez porównanie wyników badań modelowych z eksperymentalnymi.

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

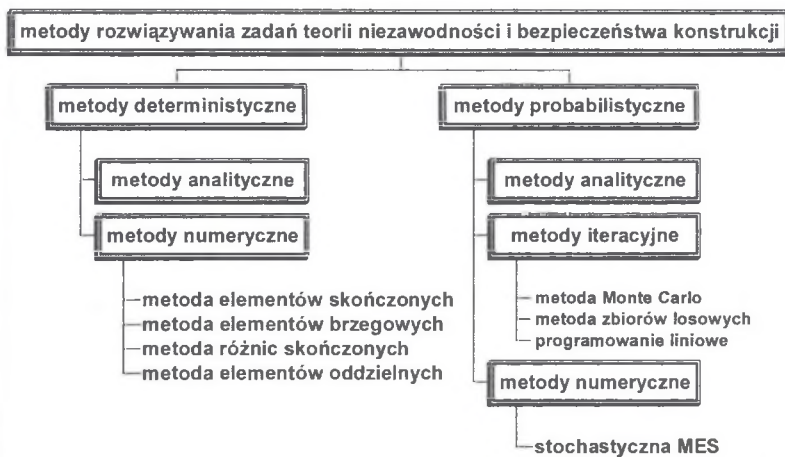
## **2. Przegląd metod projektowania konstrukcji budowli podziemnych**

W praktyce projektowej stosowane są różne metody projektowania. O wyborze określonej metody decyduje charakter problemu projektowego oraz narzędzia i procedury używane w tej metodzie. Wśród metod projektowania można wyróżnić [10]:

- metody heurystyczne – polegające na określeniu charakteru rozpatrywanego problemu i wykorzystaniu odpowiedniej analogii (np. metody traktujące górotwór jako ośrodek sprężysty, sprężysto – plastyczny, sprężysto – plastyczno – spękany, itp.),
- metody systematyczne – opierające się na szczegółowej analizie problemu i występujących w nim zależnościach oraz systematycznym przeglądzie możliwych wariantów rozwiązań (metody zalecane w normach i wytycznych, oparte na różnych modelach fizycznych, dobieranych w oparciu o analizę warunków geologiczno-górnicznych),
- metody systemowe – opierające się na podstawowych zasadach teorii systemów (metody traktujące układ obudowa – górotwór jako elementy – podsystemy – wzajemnie ze sobą współdziałające i wpływające na procesy zachodzące w poszczególnych elementach – podsystemach układu),
- metody katalogowe – wykorzystujące w projektowaniu gotowe zestawy rozwiązań cząstkowych (projekty typowe, uproszczone metody oparte na doświadczeniu),
- metody symulacyjne – wykorzystujące głównie metody CAD/CAM, pozwalające na uzyskanie projektu wybranego spośród wielu możliwych wariantów rozwiązania projektowego (algorytmy oparte o metody numeryczne).

W procesie projektowania na każdym jego etapie, niezależnie od stosowanej metody, występuje ocena opracowanych rozwiązań. Ocenie podlegają własności techniczne, ekonomiczne i użytkowe.

Własności techniczne, podlegające ocenie, obejmują takie zagadnienia jak: wielkość i rozkład naprężeń i przemieszczeń konstrukcji, parametry drgań konstrukcji, nośność graniczną konstrukcji, współczynniki bezpieczeństwa, itp. Wymagane wartości własności technicznych określone są w oparciu o różne metody teorii niezawodności i bezpieczeństwa konstrukcji (rys. 1).



Rys. 1. Metody rozwiązywania zadań projektowych w oparciu o teorię niezawodności i bezpieczeństwa konstrukcji

Fig. 1. Methods of solving designing problems based on the construction reliability and safety theory

Metody oceny własności technicznych przedmiotu projektowanego, w odniesieniu do budowli podziemnych, można podzielić również ze względu na przyjęte kryteria stateczności. W zasadzie rozróżnia się dwie grupy metod oceny stateczności wyrobisk górniczych, a mianowicie:

- grupa I – obejmująca metody uwzględniające współdziałanie układu obudowa – górotwór i oparte na warunku stanu granicznego w odniesieniu do górotworu (konstrukcja spełnia wymagania, jeśli skały otaczające zachowują stateczność),
- grupa II – obejmująca metody oparte na klasycznym ujęciu metody stanów granicznych konstrukcji budowlanych, pozwalające na określenie sił wewnętrznych i naprężeń w poszczególnych elementach konstrukcyjnych budowli (konstrukcja spełnia wymagania, jeśli w najbardziej wyężonym przekroju dowolnego elementu konstrukcji nie zostanie przekroczony warunek stanu granicznego).

Własności ekonomiczne związane są z nakładami finansowymi, ponoszonymi na wykonanie i utrzymanie wyrobiska z wartością otrzymanych efektów. W warunkach gospodarki rynkowej rozwiązanie projektowe może być zaakceptowane, gdy jego wartość rynkowa jest nie mniejsza od wielkości poniesionych nakładów finansowych.

Własności użytkowe obejmują cechy przedmiotu projektowanego, określającego jego funkcjonalność, a więc np. gabaryty wyrobiska, łatwość konserwacji i utrzymania, właściwy układ przestrzenny, umożliwiającą bezpieczną realizację procesów technologicznych, itp.

Biorąc powyższe pod uwagę podstawowym zadaniem projektanta jest znalezienie kompromisu pomiędzy najkorzystniejszymi rozwiązaniami, z punktu widzenia kryteriów technicznych i użytkowych, oraz kryterium ekonomicznego. Zadanie to rozwiązać można na drodze analizy optymalizacyjnej.

Z matematycznego punktu widzenia optymalizacja rozwiązania projektowego polega na poszukiwaniu ekstremum warunkowego funkcji celu, czyli na poszukiwaniu tych wartości zmiennych decyzyjnych  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , dla których funkcja celu

$$f = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

**osiąga wartość maksymalną lub minimalną oraz gdy równocześnie spełnione są warunki ograniczające:**

$$\begin{aligned} \varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \quad \text{dla } j = 1, 2, \dots, m \\ \varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_n) &\geq 0 \quad \text{dla } j = m+1, m+2, \dots, \rho \end{aligned} \quad (2)$$

Jedną z najbardziej efektywnych metod rozwiązywania problemów optymalizacyjnych jest sprowadzenie ich do problemu z jednym kryterium, którego najprostszym sposobem jest kombinacja liniowa poszczególnych kryteriów w postaci [10]:

$$f = \sum_{i=1}^n c_i \cdot f(x_i), \quad (3)$$

gdzie:

$f(x_i)$  – wartość funkcji celu dla  $i$ -tego kryterium,

$c_i$  – współczynniki określające wagę poszczególnych kryteriów.

Stosowane dotychczas i szeroko opisane w literaturze metody rozwiązywania problemów optymalizacyjnych oparte są na modelach przyjmujących jako kryterium optymalizacji minimalizację kosztów drażenia i utrzymania wyrobiska. Taką funkcję celu można zapisać w postaci:

$$K = \sum_{i=1}^n k(x_i) \rightarrow \min, \quad (4)$$

gdzie

$k(x_i)$  – wartość kosztów dla  $i$ -tego źródła ich generowania.

Doświadczenie budownictwa podziemnego wskazuje jednak, że w odniesieniu do wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego jest to bardzo trudne. Projektując wyrobiska tylko w oparciu o kryteria ekonomiczne można doprowadzić do nadmiernego „odchudzenia” obudowy i wzrostu zagrożenia awarią. Ma to szczególnie znaczenie w warunkach znacznej zmienności warunków utrzymania stateczności wyrobiska, wynikające z tego, że wyrobiska wykonywane są w górotworze, który charakteryzuje się zmiennością zarówno budowy, jak i własności skał [4, 5, 6, 7, 8].

Jak wykazuje doświadczenie, dobór obudowy dla wyrobisk podziemnych wykonywany jest przy wykorzystaniu szeregu danych, określanych z mniejszym lub większym przybliżeniem. Stan ten prowadzi do sytuacji, w której większość danych można traktować jako zmienne losowe, a do oszacowania bezpieczeństwa wyrobisk dużą przydatność wykazują metody probabilistyczne. W świetle tych założeń, jako kryterium optymalizacji w procesie doboru obudowy dla danego wyrobiska może występować funkcja ryzyka. Za optymalne rozwiązanie konstrukcji obudowy, w określonych warunkach, można uważać to rozwiązanie, dla którego ryzyko osiągnie wartość najmniejszą. Ogólnie uproszczoną postać funkcji celu można zapisać w postaci [6]:

$$R = \sum_{i=1}^n p_i \cdot c_i \cdot k_i \rightarrow \min, \quad (5)$$

gdzie:

$p_i$  – prawdopodobieństwo powstania  $i$ -tej awarii,

$c_i$  – współczynnik wagowy  $i$ -tej pozycji skutków uwzględniający m.in. jej wpływ na czynniki niepoliczalne,

$k_i$  – wartość  $i$ -tej pozycji skutków spowodowanych awarią.

Postać przyjętej funkcji celu określa warunek, że najkorzystniejszym rozwiązaniem jest to, które osiągać będzie najmniejszą wartość ryzyka, przy spełnieniu wstępnie określonych warunków ograniczających. Warunkiem ograniczającym, w omawianej analizie optymalizacyjnej, może być np. wymagany poziom prawdopodobieństwa bezpieczeństwa konstrukcji, wynoszący co najmniej 0,95 (prawdopodobieństwo wystąpienia utraty stateczności mniejsze od 0,05). Innymi warunkami ograniczającymi mogą być warunki techniczne, związane z funkcjonowaniem wyrobiska.

Rozwiązanie funkcji celu może być realizowane za pomocą metody analitycznej, w której znane są rozkłady prawdopodobieństwa wszystkich danych wejściowych do projektowania i w efekcie można doprowadzić do osiągnięcia wyników również w postaci zmiennych zespolonych o określonym rozkładzie prawdopodobieństwa. Inną metodą



umożliwiająca rozwiązanie funkcji celu może być metoda iteracyjna (np. metoda zbiorów losowych, metoda Monte Carlo, itp), w której nie wymaga się znajomości rozkładów prawdopodobieństwa, a tylko zakresu zmienności poszczególnych danych.

### 3. Porównanie parametrów projektowanych wyrobisk korytarzowych metodą deterministyczną i probabilistyczną

Do przeprowadzenia analizy porównawczej parametrów wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego, jako miernik przyjęto stopień bezpieczeństwa konstrukcji wyrobiska, określony metodą nośności granicznej konstrukcji.

Miarą bezpieczeństwa konstrukcji w rozwiązaniach deterministycznych jest współczynnik bezpieczeństwa, wyrażany w postaci [4,7]:

$$n = \frac{P_0}{q_0} > 1,0, \quad (6)$$

gdzie:  $P_0$  – nośność obudowy,

$q_0$  – obciążenie obudowy.

W metodach probabilistycznych wartości nośności obudowy i jej obciążenia dane są najczęściej w postaci zmiennych losowych o normalnym rozkładzie prawdopodobieństwa [4]:

$$f(P) = \frac{1}{s_p \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{P - \bar{P}}{2 \cdot s_p}\right)$$

$$f(q_0) = \frac{1}{s_q \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{q_0 - \bar{q}}{2 \cdot s_q}\right), \quad (7)$$

gdzie:

$\bar{P}, \bar{q}$  – średnie wartości nośności obudowy i jej obciążenia,

$s_p, s_q$  – odchylenia standardowe wartości nośności obudowy i jej obciążenia.

Jako miarę bezpieczeństwa przyjmuje się współczynnik niezawodności Cornella  $t$ :

$$t = \frac{\bar{P} - \bar{q}}{\sqrt{s_p^2 + s_q^2}} \quad (8)$$

Wartość dystrybuanty współczynnika niezawodności  $p(t)$  oznacza prawdopodobieństwo bezpieczeństwa konstrukcji obudowy, natomiast wartość  $[1-p(t)]$  oznacza prawdopodobieństwo awarii konstrukcji (utruty stateczności przez obudowę).

Drugą, stosowaną na tym poziomie miarą bezpieczeństwa jest tzw. konwencjonalny współczynnik bezpieczeństwa, wyrażany wzorem [4]:

$$\gamma_K = \frac{\bar{P} - \mu_p \cdot s_p}{\bar{q} + \mu_q \cdot s_q}, \quad (9)$$

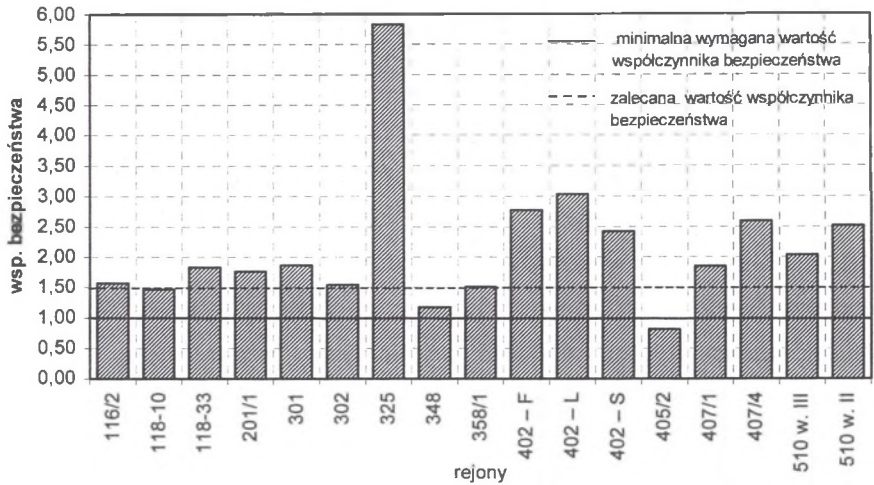
gdzie  $\mu_p$ ,  $\mu_q$  – współczynniki zależne od wymaganego poziomu prawdopodobieństwa.

Badania stopnia bezpieczeństwa wyrobisk korytarzowych przeprowadzono dla 178 wyrobisk, zlokalizowanych w przyjętych do analizy 17. rejonach kopalń GZW. Stopień bezpieczeństwa wyrobisk korytarzowych określono za pomocą następujących metod:

- metodą deterministyczną – określono współczynnik bezpieczeństwa dla średnich wartości obciążenia i nośności obudowy,
- metodą probabilistyczną poziomu 2 – określono prawdopodobieństwo spełnienia warunku nośności granicznej (współczynnik bezpieczeństwa  $n > 1$ ) oraz określono konwencjonalny współczynnik bezpieczeństwa dla poziomu prawdopodobieństwa wynoszącego 0,95,
- metodą probabilistyczną poziomu 2 – określono wymaganą wartość współczynnika bezpieczeństwa, obliczanego w oparciu o wartości średnie obciążenia i nośności obudowy, przy przyjęciu poziomu prawdopodobieństwa wynoszącego 0,95.

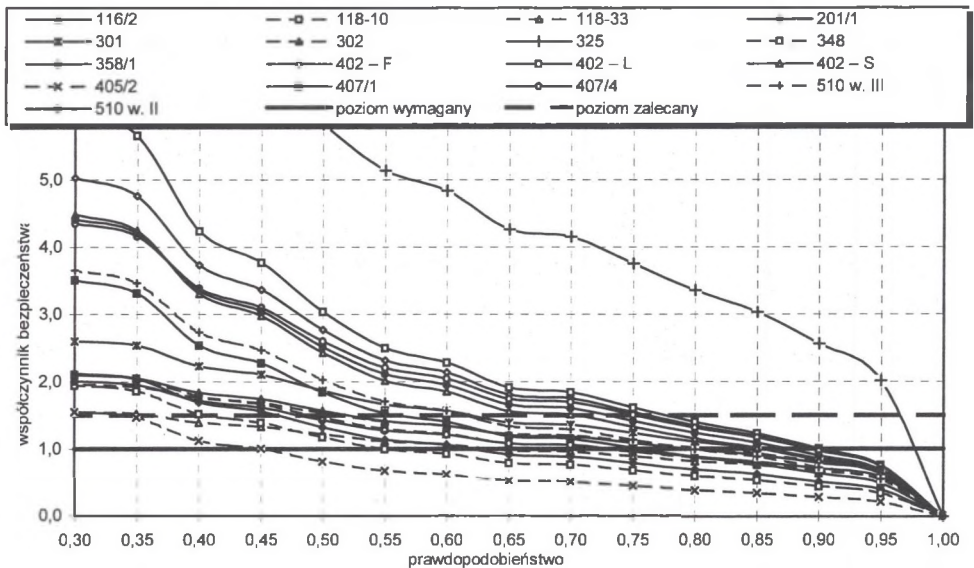
Wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono na rys. 2, 3 i 4. Obciążenie obudowy oraz jej nośność jako zmienne losowe określono w oparciu o sposób przedstawiony m.in. w pracach [5, 7, 8].

Przedstawione na rys. 2 wyniki przeprowadzonej analizy wskazują na fakt „oszczędnego” doboru obudowy. W świetle przeprowadzonej analizy 70,5% wyrobisk spełnia kryterium o zalecanej wartości współczynnika bezpieczeństwa, wynoszącej powyżej 1,5, 23,5% analizowanych wyrobisk, współczynnik bezpieczeństwa osiągnął wartości z przedziału 1,0 – 1,5, a w 6% przypadków nie był spełniony podstawowy warunek metody stanu granicznego, gdyż współczynnik bezpieczeństwa osiągnął wartości poniżej 1,0.



Rys. 2. Kształtowanie się średniego współczynnika bezpieczeństwa dla poszczególnych rejonów – metoda deterministyczna

Fig. 2. The forming of an average safety coefficient for analysed regions – the deterministic method



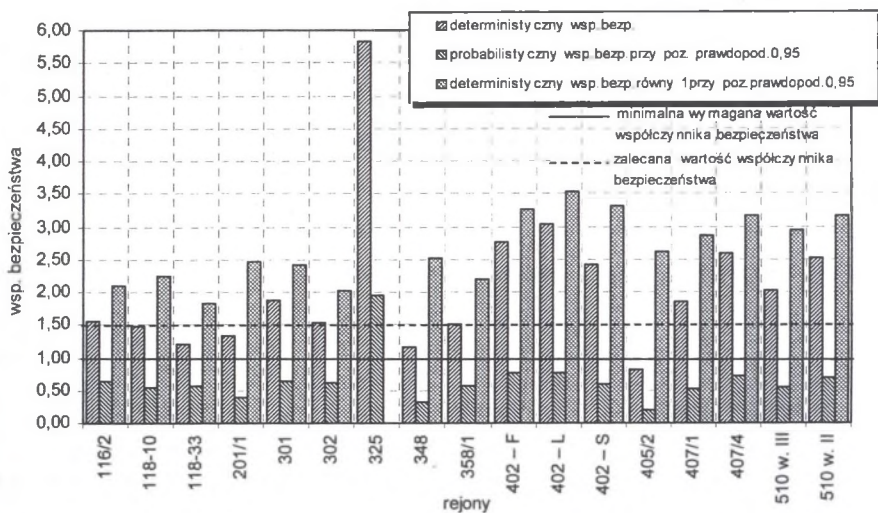
Rys. 3. Kształtowanie się wartości współczynnika bezpieczeństwa w zależności od prawdopodobieństwa dla analizowanych rejonów

Fig. 3. The forming of safety coefficient depending on probability for analysed regions

Przeprowadzone obliczenia konwencjonalnego współczynnika bezpieczeństwa, uwzględniającego losowy charakter obciążenia i nośności obudowy dla akceptowanego poziomu prawdopodobieństwa utraty stateczności wyrobiska 0,05, wykazały, że aż w 94% analizowanych wyrobisk współczynnik bezpieczeństwa osiągał wartości poniżej 1,0. Aby



w analizowanych przypadkach współczynnik bezpieczeństwa na poziomie prawdopodobieństwa wynoszącego 0,95 wynosił co najmniej 1,0, obliczone współczynniki metodą deterministyczną należałyby zwiększyć w zależności od wyrobiska o 20 – 260%.



Rys. 4. Kształtowanie się średniego współczynnika bezpieczeństwa dla analizowanych rejonów – metody deterministyczna i probabilistyczna

Fig. 4. The forming of an average safety coefficient for analysed regions – methods: deterministic and probabilistic

#### 4. Wpływ danych wejściowych do projektowania na wartości parametrów technicznych projektowanych wyrobisk korytarzowych

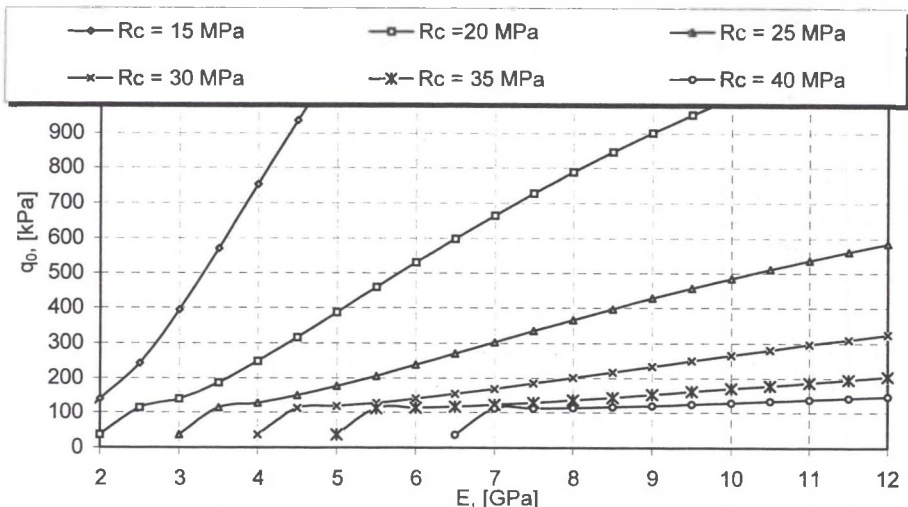
Stosowanie różnych metod projektowania wyrobisk górniczych powoduje konieczność przyjmowania określonej ilości danych wejściowych, które są określane z pewnym przybliżeniem, a często wartościami tymi projektant nie dysponuje.

W praktyce projektowej dobór obudowy wyrobisk korytarzowych, w przeważającej części stosowanych w przemyśle metod, dokonuje się w oparciu o 1 parametr, opisujący masyw skalny – wytrzymałość skał na ściskanie lub rozciąganie. Stosowanie tych metod wprowadza trudności nie tylko w doborze obudowy, ale i w uzasadnieniu obserwacji zachowania się wykonywanych i utrzymywanych wyrobisk korytarzowych. Na podstawie doświadczeń można wskazać przypadki, w których wyrobisko zlokalizowane w skałach o małej wytrzymałości na ściskanie zachowuje stateczność przy zabezpieczeniu go określoną konstrukcją obudowy, podczas gdy wyrobisko zlokalizowane na podobnej głębokości, o tych samych gabarytach i podobnych warunkach górniczych w skałach, a czasem wielokrotnie

większej wytrzymałości, ulega nadmiernym deformacjom. Stąd wynika konieczność stosowania rozwiniętych metod doboru obudowy, które uwzględniać będą również własności odkształceniowe górotworu.

Przykład kształtowania się wpływu wartości modułu sprężystości na wielkość obciążenia obudowy wyrobiska korytarzowego przedstawiono na rys. 5.

Wieloletnie obserwacje zachowania się wyrobisk korytarzowych w kopalniach wykazują, że obok własności wytrzymałościowych istotny wpływ na zachowanie się górotworu w otoczeniu wyrobiska ma sztywność warstw. Warstwy sztywne przy niewielkich przemieszczeniach ulegają spękaniu i w większym stopniu tracą swoją nośność niż warstwy o mniejszej sztywności, które nawet w przypadku wystąpienia znacznych przemieszczeń zachowują ją [9].



Rys. 5. Wpływ wartości modułu Younga na wielkość obciążenia obudowy wyrobiska korytarzowego  
Fig. 5. The effect of the Young modulus value on the load amount in heading support

## 5. Podsumowanie

Proces projektowania wyrobisk korytarzowych charakteryzuje się tym, że dokonuje się go wykorzystując do tego odpowiednie procedury i narzędzia oparte na różnych założeniach i algorytmach.

Zagadnienie doboru obudowy dla wyrobisk korytarzowych dokonywane jest za pomocą metod deterministycznych, a miarą bezpieczeństwa konstrukcji jest współczynnik

bezpieczeństwa. Dobór obudowy opiera się najczęściej na metodzie stanów granicznych, a dobrana obudowa winna charakteryzować się współczynnikiem bezpieczeństwa o wartości akceptowanej (co najmniej większym od jedności). Proces optymalizacji zaś, dokonywany jest najczęściej w oparciu o kryterium minimalizacji kosztów. Stosowanie tych metod nie uwzględnia jednej z podstawowych cech procesu projektowania, a mianowicie niepewności informacji w zakresie danych wejściowych. Niepewność informacji w projektowaniu górnictwem wynika nie tylko z niepełnego rozpoznania geologicznego, ale w głównej mierze ze zmienności budowy geologicznej górotworu wzdłuż wybiegu wyrobiska oraz zmienności własności skał.

Stosowanie w procesie projektowania konstrukcji budowli podziemnych metod probabilistycznych umożliwia uwzględnienie czynnika niepewności danych wejściowych w wynikach prowadzonych analiz i obliczeń, poprzez określenie prawdopodobieństwa wystąpienia wartości obciążenia i nośności konstrukcji. Wybierając najkorzystniejsze rozwiązanie konstrukcji budowli podziemnej, przy zastosowaniu metod probabilistycznych, uwzględniać można wpływ czynnika niepewności, dzięki traktowaniu danych wejściowych jako zmiennych losowych.

Przeprowadzone obliczenia i analiza ich wyników wykazały, że na stopień bezpieczeństwa konstrukcji budowli podziemnej istotny wpływ ma zmienność danych wejściowych. Im większa zmienność własności skał budujących masyw, tym większe prawdopodobieństwo awarii konstrukcji, w wyniku wzrostu wariancji obciążenia obudowy. Podobne zależności obserwuje się w odniesieniu do parametrów charakteryzujących obudowę. Wraz ze wzrostem wariancji nośności konstrukcji, rośnie prawdopodobieństwo awarii.

Projektując utrzymanie stateczności wyrobiska, kierując się tylko względami ekonomicznymi, można doprowadzić do nadmiernego „odchudzenia” obudowy i w efekcie wzrostu zagrożenia awarią. Ma to szczególnie znaczenie w przypadku znacznej zmienności warunków utrzymania stateczności wyrobiska. Określone prawdopodobieństwo awarii konstrukcji (wystąpienia zdarzeń niekorzystnych dla jej bezpiecznego użytkowania) pozwala określić wartość funkcji ryzyka, która łącząc niepewność z innymi czynnikami technicznymi i ekonomicznymi może być kryterium optymalizacji konstrukcji.

Stosowanie w analizie optymalizacyjnej konstrukcji budowli podziemnych metod probabilistycznych pozwala na uzyskanie dodatkowego wymiernego ograniczenia, jakim może być prawdopodobieństwo wystąpienia określonych wartości, opisujących przedmiot

projektowany. Można bowiem sformułować warunek, iż końcowe rozwiązanie projektowe winno charakteryzować się określonym, wymaganym poziomem prawdopodobieństwa.

Podsumowując przeprowadzone rozważania można stwierdzić, że dobrze zaprojektowana konstrukcja budowli podziemnych winna charakteryzować się jak najmniejszą wartością funkcji ryzyka, posiadać wymagany poziom prawdopodobieństwa bezpieczeństwa (np. 0,95) oraz spełniać inne sformułowane warunki ograniczające – techniczne i użytkowe.

## LITERATURA

1. Chudek M.: Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. Wyd. Pol. Śl., Gliwice, 2002.
2. Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Cz. I. Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. "Śląsk", Katowice, 1986.
3. Chudek M., Duży S., Kleta H., Kłeczek Z., Stoiński K., Zorychta A.: Zasady doboru i projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Wyd. Katedry Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice – Kraków – Katowice, 2000.
4. Duży S.: Elementy teorii niezawodności i bezpieczeństwa konstrukcji w projektowaniu budowli podziemnych. *Górnictwo i Geoinżynieria*, nr 3/1, 2005.
5. Duży S.: Ocena bezpieczeństwa konstrukcji wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego z uwzględnieniem zmienności warunków naturalnych i górniczych. *Warsztaty Górnicze 2005 z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2005.
6. Duży S.: Optymalizacja konstrukcji wyrobisk korytarzowych z uwzględnieniem zmienności warunków geologiczno – górniczych i niepewności informacji. *X Jubileuszowe Warsztaty Górnicze pt. „Zagrożenia naturalne w górnictwie”*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2006.
7. Duży S.: Probabilistyczna analiza stateczności budowli podziemnych. *Przegląd Górniczy*, nr 4, 2004.
8. Duży S.: Projektowanie budowli podziemnych w świetle teorii niezawodności. *Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Górnictwo*, z. 261, Gliwice, 2004.
9. Praca zbiorowa: Techniczno – technologiczne rozwiązania poprawy stateczności wyrobisk korytarzowych utrzymywanych za postępowaniem ścian uwzględniając warunki górniczo – geologiczne KWK „Pniówek” oraz ich aspekty ekonomiczne. Katowice, 2002 (praca niepublikowana).
10. Szymczak Cz.: Elementy teorii projektowania. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1998.