



Stanisław DUŻY*

Ocena stopnia bezpieczeństwa wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych na terenach pogórnich

Streszczenie: Na terenach pogórnich zlokalizowanych jest wiele wyrobisk korytarzowych, które nie zostały zlikwidowane poprzez ich podsadzenie i niejednokrotnie w długim okresie czasu istniały jako pustki w górotworze. W okresie istnienia tych wyrobisk w ich otoczeniu zachodzą procesy degradacyjne pogarszające warunki utrzymania stateczności i w konsekwencji mogą doprowadzić do ich zawalenia. Biorąc pod uwagę małą głębokość, na jakiej są one zlokalizowane, istnienie wyrobisk stwarza często poważne zagrożenie dla powierzchni terenu i jej infrastruktury. Z drugiej strony należy brać pod uwagę wartość historyczną wyrobisk, które często są unikalnym dowodem rozwoju techniki na tych terenach.

Problem ten przedstawiono na przykładzie Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej w Zabrze. Do rozwiązania postawionego zadania wykorzystano wyniki badań właściwości skał i górotworu w otoczeniu przedmiotowego wyrobiska, parametry techniczne obudowy oraz przedstawiono analizę jego stateczności. Analizę stateczności wyrobiska oparto na elementach probabilistycznej analizy konstrukcji uwzględniające zmienność budowy i parametrów charakteryzujących masyw skalny, zmienność gabarytów przekroju poprzecznego wyrobiska oraz jego obudowy. Na tej podstawie przedstawiono klasyfikację warunków utrzymania stateczności wyrobiska opartą o prawdopodobieństwo utraty stateczności. Granice poszczególnych klas ustalono na poziomie: klasa I ($p \leq 0,05$), klasa II ($0,05 < p \leq 0,15$), klasa III ($0,15 < p \leq 0,30$) i klasa IV ($p > 0,30$). Zaproponowana klasyfikacja może być podstawą do doboru systemu ochrony wyrobiska uwzględniającego warunki naturalne, techniczne, ekonomiczne i historyczne.

Słowa kluczowe: górnictwo, budownictwo podziemne, wyrobiska korytarzowe, stateczność wyrobisk korytarzowych

Evaluation of the degree of safety of headings localized in postmining areas

Abstract: There are many headings in postmining areas that were not liquidated by stowing and repeatedly existed as empty spaces in the rock mass. In the period of the headings existence, degradation processes take place in their neighborhood, which worsen stability maintenance conditions, and in consequence may cause caving. Taking the fact that the headings are localized at a small depth into account, their existence often causes serious

* Dr hab. inż., Politechnika Śląska, Gliwice; e-mail: stanislaw.duzy@polsl.pl

danger for the surface and its infrastructure. On the other hand, it is necessary to take the historical value of the headings, which are often unique evidence of technological advancement into consideration.

The problem was presented based on the Główna Kluczowa Sztolnia Dziedziczna in Zabrze. Technical rock and rock mass property research results and support technical parameters were used to solve the task, and an analysis of its stability was presented. The analysis was based on elements of a probabilistic construction analysis, which takes into account the changeability of the support and parameters that characterize the rock mass, the changeability of the heading and its supports cross-section gauge. On that basis, a classification of heading stability maintenance conditions was presented, on the basis of stability loss probability. Border individual classes were established on the following levels: class I ($p \leq 0,05$), class II ($0,05 < p \leq 0,15$), class III ($0,15 < p \leq 0,30$) and class IV ($p > 0,30$). The proposed classification may be the basis for a choice of heading protection system, that takes the natural, technical, economical and historical conditions into account.

Keywords: mining, underground construction, headings, heading stability

Wprowadzenie

Działalność górnicza prowadzona jest w złożu o określonej zasobności. Po wyczerpaniu się złoża lub gdy jego eksploatacja jest ekonomicznie nieefektywna, zakłady górnicze zostają zlikwidowane. Często jednak pod powierzchnią terenu pozostają wyrobiska, których likwidacja polegała tylko na odcięciu dojścia do nich, przez co w górotworze pozostały pustki w różnym układzie przestrzennym i o różnych gabarytach.

Po zakończeniu eksploatacji naturalne procesy geologiczne i hydrogeologiczne osiągają stan równowagi, który z biegiem lat może ulec zmianom wynikającym z postępujących procesów degradacji masywu, a przede wszystkim zużycia technicznego pozostawionej w niepodstawionych wyrobiskach obudowy. Zawał wyrobiska może spowodować skutki środowiskowe, spośród których do najistotniejszych zaliczyć można zagrożenie zapadliskowe, utrudnienie naturalnego spływu wód podziemnych i wystąpienie podniesienia poziomu wody. Uwzględniając charakter i przebieg procesów zachodzących w górotworze na terenach pogórnich trzeba się liczyć z tym, że skutki prowadzonej eksploatacji mogą wystąpić nawet po wielu latach od jej zakończenia (Chudek 2010).

Biorąc pod uwagę wymienione aspekty w planach zagospodarowania przestrzennego terenów pogórnich przy ocenie ich przydatności do zagospodarowania powinno się uwzględniać stopień naruszenia górotworu, a w przypadku prowadzenia działalności inwestycyjnej uwzględnić roboty uzdatniające teren.

1. Zakres niezbędnych działań w zakresie zabezpieczenia wyrobisk podziemnych na terenach pogórnich

Rewitalizacja terenów pogórnich jest z reguły przedsięwzięciem o bardzo szerokim zakresie technicznym i bardzo czasochłonnym. Z tego względu celowe jest opracowanie odpowiedniego harmonogramu robót uwzględniającego stopień zagrożenia określający wymaganą kolejność zabezpieczania lub likwidacji istniejących wyrobisk.

Działania zmierzające do zabezpieczenia wyrobisk podziemnych można podzielić na następujące etapy (Duży 2008; Duży i in. 2012):

- inwentaryzacja oraz określenie stanów naprężeniowo-deformacyjnych w górotworze w analizowanym rejonie, ze szczególnym uwzględnieniem budowy geologicznej górotworu, właściwości skał, struktury masywu, zagrożeń naturalnych itp.,

- diagnostyka techniczna wyrobisk w przedmiotowym rejonie – makroskopowa ocena stanu technicznego konstrukcji (obudowy, obiektów powierzchniowych), badania właściwości materiałów w analizowanych konstrukcjach, określenie nośności konstrukcji, stopnia zużycia technicznego konstrukcji oraz zapasu bezpieczeństwa,
- określenie wpływu prowadzenia robót górniczych na istniejące obiekty podziemne – powinno obejmować zagadnienia związane z wywoływaniem okresowych (np. wpływ przodka drążonego (przebudowywanego) wyrobiska, wstrząsy generowane przez roboty górnicze, okresowe zawodnienie lub osuszenie górotworu itp.) oraz stałych (zmiana wielkości i kształtu przekroju poprzecznego, konstrukcja obudowy, rozwój stref spękań masywu, zmiana warunków hydrogeologicznych itp.) zmian warunków utrzymania stateczności wyrobiska w wyniku podjęcia działalności inwestycyjnej,
- określenie warunków bezpiecznego prowadzenia robót,
- określenie warunków bezpiecznego użytkowania wyrobiska.

2. Zasady oceny stopnia bezpieczeństwa wyrobisk korytarzowych

Na wielkość prawdopodobieństwa wystąpienia awarii konstrukcji obudowy wyrobiska korytarzowego decydujący wpływ mają obciążenie konstrukcji i jej nośność.

W celu uwzględnienia zmienności warunków geologicznych i górniczych dane przyjmowane do obliczeń obciążenia obudowy można traktować jako zmienne losowe, co powoduje, że oddziaływanie górotworu na obudowę również traktować można jako zmienną losową wielowymiarową (Duży 2007).

W efekcie przeprowadzonej analizy rozkładu właściwości masywu jako dane wejściowe do obliczeń obciążenia obudowy uzyskuje się m.in. (Duży 2007):

- wartość średnią i odchylenie standardowe wytrzymałości na ściskanie skał – \bar{R}_c, s_{Rc} ,
- wartość średnią i odchylenie standardowe modułu sprężystości skał – \bar{E}, s_E ,
- wartość średnią i odchylenie standardowe naprężeń w górotworze otaczającym wyrobisko – $\bar{\sigma}_z, s_{\sigma z}$,
- wartości średnie i odchylenia standardowe gabarytów przekroju wyrobiska – $\bar{S}_W, s_{S_W}, \bar{W}_W, s_{W_W}$.

Nośność obudowy określana jest w oparciu o analizę rozkładu i wielkości sił wewnętrznych w obudowie ściskanej mimośrodowo metodą stanów granicznych.

Analogicznie, jak w przypadku obciążenia konstrukcji, dane wejściowe do określenia nośności obudowy można określić jako (Duży 2005, 2006, 2007):

- wartość średnią i odchylenie standardowe wytrzymałości obliczeniowej na ściskanie materiału w konstrukcji obudowy – \bar{f}_d, s_{f_d} ,
- wartość średnią i odchylenie standardowe maksymalnego momentu zginającego występującego w najbardziej wytężonym przekroju obudowy – $\bar{M}_{\max}, s_{M_{\max}}$,
- wartość średnią i odchylenie standardowe wskaźnika zginania przekroju obudowy – \bar{W}_x, s_{W_x} ,
- wartość średnią i odchylenie standardowe siły osiowej występującej w najbardziej wytężonym przekroju obudowy – \bar{N}_0, s_{N_0} ,
- wartość średnią i odchylenie standardowe współczynnika wyboczeniowego dla danego elementu obudowy – $\bar{\varphi}, s_{\varphi}$,

→ wartość średnią i odchylenie standardowe przekroju poprzecznego obudowy – \bar{A}, s_A .
 Zakładając, że obciążenie obudowy $q_0(\omega)$ oraz jej nośność $P_0(\xi)$ jest zmienną losową wielowymiarową określaną na podstawie n i m odpowiednio przyjmowanych danych traktowanych jako zmienne losowe o rozkładach normalnych $x_i(\omega)$ i $y_i(\xi)$ zależności obciążenia i nośności obudowy można określić za pomocą wzorów (Biegus 1999):

$$\begin{aligned} q(\omega) &= f_1[x_1(\omega), x_2(\omega), \dots, x_n(\omega)] \\ P(\omega) &= f_2[y_1(\xi), y_2(\xi), \dots, y_m(\xi)] \end{aligned} \quad (1)$$

Wartości średnie obciążenia i nośności obudowy można określić jako wartości obciążenia i nośności obudowy obliczone dla średnich wartości poszczególnych danych:

$$\begin{aligned} \bar{q} &= f_1(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \\ \bar{P} &= f_2(\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_m) \end{aligned} \quad (2)$$

Odchylenia standardowe obciążenia i nośności obudowy obliczyć można ze wzorów:

$$\begin{aligned} s_q &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_i} \right)^2 \cdot s_{x_i}^2} \\ s_p &= \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_i} \right)^2 \cdot s_{y_i}^2} \end{aligned} \quad (3)$$

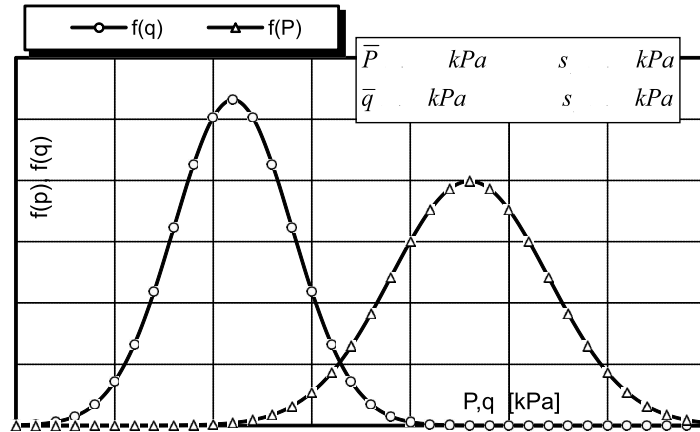
Przyjmując dane wejściowe do obliczeń jako zmienne losowe o rozkładzie normalnym uzyskuje się wielkości losowe nośności obudowy i jej obciążenia o normalnym rozkładzie prawdopodobieństwa w postaci (Duży 2007) (rys. 1):

$$\begin{aligned} f_1(q) &= \frac{1}{s_q \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{q - \bar{q}}{2 \cdot s_q}\right) \\ f_2(P) &= \frac{1}{s_p \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{P - \bar{P}}{2 \cdot s_p}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie:

- $f_2(P), f_1(q)$ – gęstość prawdopodobieństwa nośności i obciążenia obudowy,
- \bar{P}, \bar{q} – średnie wartości nośności obudowy i jej obciążenia,
- s_p, s_q – odchylenia standardowe wartości nośności obudowy i jej obciążenia.

Bezpieczeństwo konstrukcji, opierające się na idei „najsłabszego ogniwa”, pozwala przyjąć za progowe wartości obliczeniowe nośności P_0 i obciążenia q_0 obudowy w postaci:



Rys. 1. Przykład rozkładu obciążenia i nośności obudowy jako zmiennych losowych o normalnym rozkładzie prawdopodobieństwa

Fig. 1. Exemplary distribution of loading and bearing capacity of the lining as random variables of normal distribution of probability

$$P_0 = \bar{P} - t_p \cdot s_p \quad (5)$$

$$q_0 = \bar{q} + t_q \cdot s_q$$

gdzie

t_p, t_q – współczynniki zależne od przyjętego poziomu prawdopodobieństwa.

Wykorzystując metodę probabilistycznej analizy konstrukcji poziomu II, jako miarę bezpieczeństwa przyjmuje się probabilistyczny wskaźnik niezawodności β obliczany ze wzoru:

$$\beta = \frac{\bar{P} - \bar{q}}{\frac{s_p^2}{\sqrt{s_p^2 + s_q^2}} + \frac{s_q^2}{\sqrt{s_p^2 + s_q^2}}} \quad (6)$$

Wartość wskaźnika niezawodności β odpowiada wartości współczynnika niezawodności Cornella. Wartość dystrybuanty wskaźnika niezawodności $p(\beta)$ oznacza prawdopodobieństwo bezpieczeństwa konstrukcji obudowy, a wartość $[1-p(\beta)]$ prawdopodobieństwo awarii konstrukcji (utruty stateczności przez obudowę) (Biegus 1999; Duży 2007).

2.1. Prawdopodobieństwo utraty stateczności wyrobiska utrzymywanego bez obudowy

Na wielkość prawdopodobieństwa wystąpienia utraty stateczności wyrobiska korytarzowego utrzymywanego bez obudowy decydujący wpływ mają gabaryty przekroju poprzecznego, właściwości wytrzymałościowe górotworu oraz panujący w nim stan naprężenia.

Przyjmując dane wejściowe do analizy stateczności wyrobiska jako zmienne losowe o rozkładzie normalnym analogicznie jak w (4) uzyskuje się wielkości losowe wytrzymałości masywu i naprężeń w nim występujących jako zmienne losowe o normalnym rozkładzie prawdopodobieństwa w postaci:

$$f_3(\sigma_z) = \frac{1}{s_{\sigma_z} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\sigma_z - \bar{\sigma}_z}{2 \cdot s_{\sigma_z}}\right)$$

$$f_4(R_C) = \frac{1}{s_R \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{R_C - \bar{R}_C}{2 \cdot s_R}\right)$$
(7)

gdzie:

- $f_3(\sigma_z), f_4(R_C)$ – gęstość prawdopodobieństwa naprężeń i wytrzymałości masywu,
- $\bar{\sigma}_z, \bar{R}_C$ – średnie wartości naprężeń i wytrzymałości masywu,
- s_{σ_z}, s_{R_C} – odchylenia standardowe wartości naprężeń i wytrzymałości masywu.

Wykorzystując metodę probabilistyczną poziomu II, jako miarę bezpieczeństwa można przyjąć probabilistyczny wskaźnik niezawodności β obliczany ze wzoru:

$$\beta_0 = \frac{\bar{R}_C - \bar{\sigma}_z}{\frac{s_R^2}{\sqrt{s_R^2 + s_{\sigma_z}^2}} + \frac{s_{\sigma_z}^2}{\sqrt{s_R^2 + s_{\sigma_z}^2}}}$$
(8)

Wartość dystrybuanty wskaźnika niezawodności $p(b_0)$ oznacza prawdopodobieństwo bezpieczeństwa wyrobiska, natomiast wartość $[1-p(b_0)]$ oznacza prawdopodobieństwo utraty stateczności przez wyrobisko.

2.2. Klasyfikacja warunków utrzymania stateczności wyrobiska

Na podstawie analizy zależności zachowania się wyrobisk korytarzowych od prawdopodobieństwa utraty stateczności opracowano klasyfikację rozróżniającą 4 klasy warunków utrzymania stateczności. Granice poszczególnych klas ustalono na podstawie metody stanu granicznego nośności przy założeniu, że zachowanie wyrobiska określone dla danej klasy wystąpi z prawdopodobieństwem 0,95, na następujących poziomach:

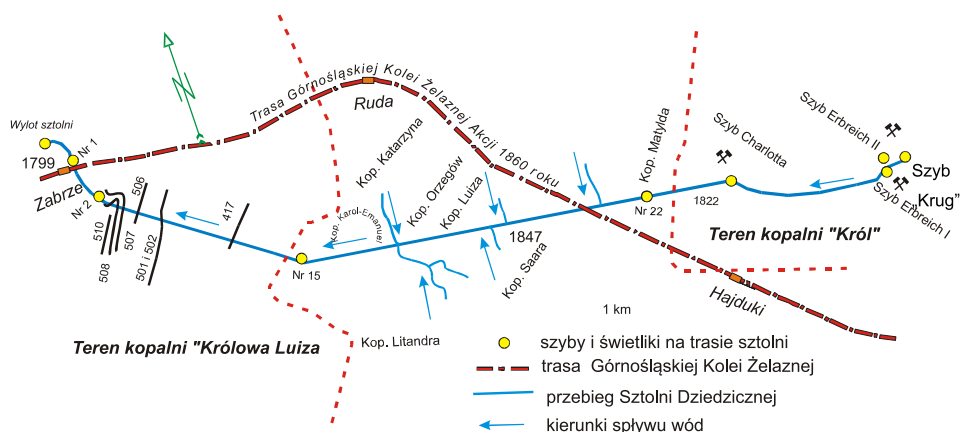
- klasa I – $p \leq 0,05$ – dobre warunki utrzymania stateczności wyrobiska – wyrobisko może być użytkowane bez dodatkowych warunków,
- klasa II – $0,05 < p \leq 0,15$ – zadowalające warunki utrzymania stateczności wyrobiska – wyrobisko może być użytkowane bez ograniczeń, zalecony monitoring wyrobiska,
- klasa III – $0,15 < p \leq 0,30$ – dopuszczalne warunki utrzymania stateczności wyrobiska – wyrobisko może być użytkowane w ograniczonym zakresie, wymaga zabezpieczenia,
- klasa IV – $p > 0,30$ – stan niebezpieczny, niedopuszczalne warunki utrzymania stateczności wyrobiska – wyrobisko nie może być użytkowane.

Badania nad warunkami utrzymania stateczności wyrobisk korytarzowych wskazały, że wyrobisko górnicze, aby mogło bezpiecznie spełniać swoje funkcje technologiczne, powinno zostać sklasyfikowane możliwie w jak najwyższej klasie (I, II lub warunkowo III klasa). W przypadku wystąpienia klasy III zalecone mogą być warunki ograniczające zakres użytkowania wyrobiska. Aby podnieść klasę warunków utrzymania stateczności wyrobiska, konieczne jest zwiększenie zapasu bezpieczeństwa konstrukcji, które można uzyskać dzięki zwiększeniu nośności obudowy lub zmniejszeniu jej obciążenia. Poprawa warunków utrzymania stateczności wyrobiska może wystąpić również poprzez naprawę obudowy zmniejszającą zmienność jej nośności lub zmniejszenie zmienności jej obciążenia poprzez prowadzenie określonych działań profilaktycznych.

3. Przykłady probabilistycznej analizy stateczności wyrobiska pogórniczego

3.1. Ogólna charakterystyka wyrobiska

Główna Sztolnia Dziedziczna Królowa Luiza o długości 14,25 km od kopalni Król w Chorzowie do połączenia z Kanałem Gliwickim, tj. wylotu w Zabrze, wraz z obiektami towarzyszącymi zbudowana została w latach 1799–1863 (rys. 2). Z punktu widzenia możliwości odtworzenia Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej najbardziej atrakcyjnym jest odcinek od jej wylotu do szybu Carnall Kopalni Królowa Luiza w Zabrze, co stanowi odcinek o długości około 2,35 km (Duży i in. 2005).



Rys. 2. Lokalizacja Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej według S. Kossutha (Duży i in. 2005)

Fig. 2. Localization of the Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej according to St. Kossuth (Duży et al. 2005)

Sztolnia ma przebieg w kierunku południowo-wschodnim i w rejonie szybu Carnall jest zlokalizowana na głębokości około 38 m. Wysokość sztolni wynosiła ok. 2,6 m, a szerokość 1,6 m. Sztolnia wydrążona została tak, że różnica poziomów między wylotem w Zabrze, a szybem Krug w Chorzowie wynosiła 12,34 m. Na odcinkach w skałach słabo – związanych i luźnych sztolnia posiadała obudowę sklepieniową wykonaną z kamienia naturalnego lub

z cegły. Na odcinkach w skałach zwięzłych sztolnia wykonana została bez obudowy. Na początkowym odcinku o długości ok. 2350 m wykonano ją jako spławno-odwadniająca. Na przedłużeniu ujścia sztolni wybudowano kanał spławny z Zabrze do Gliwic. Wskutek wybrania płytko zalegających złóż węgla oraz odwodnienia górotworu robotami górniczymi prowadzonymi na coraz większych głębokościach, sztolnia utraciła swoją funkcjonalność z końcem XIX wieku (Duży i in. 2005; Duży i in. 2006).

W latach 50. XX wieku została zlikwidowana w sposób administracyjny jak przeciętny obiekt górniczy, który stracił swą przydatność. Wylot sztolni zasypano, rozebrano ozdobny portal na jej wylocie i zasypano również kanał kłodnicki na odcinku wzdłuż rzeki Bytomki. Szyby łączące sztolnię z powierzchnią zlikwidowano w trakcie likwidacji kopalń na obszarach górniczych, na których się znajdowały.

3.2. Analiza stopnia bezpieczeństwa odcinka sztolni utrzymywanego bez obudowy

Do analizy przyjęto odcinek nitki północnej sztolni w rejonie wschodnim na terenie miasta Zabrze w rejonie rozwidlenia sztolni na dwa równoległe wyrobiska (Duży red. 2015). Przyjęty do analizy odcinek wykonany jest na głębokości około 38 m w warstwie piaskowców zaliczanych do warstw siodłowych. Na znacznej długości wyrobiska wykonano mury wodne z cegły o szerokości 1,5–1,6 m i wysokości ok. 1,0 m. Od momentu wykonania wyrobisko utrzymywane było bez obudowy. Przeprowadzone badania wykazały, że:

- kształt przekroju poprzecznego jest nieregularny,
- w stropie i w ociosach można zaobserwować liczne, krzyżujące się strefy spękań związane z litologiczną budową masywu skalnego oraz jego cechami strukturalnymi,
- większość widocznych płaszczyzn nieciągłości w obrębie piaskowca, w którym wykonano wyrobisko jest zwarta, natomiast płaszczyzny pierwotnie rozwarpte są wypełnione głównie materiałem ilastym lub drobnymi ziarnami piasku.

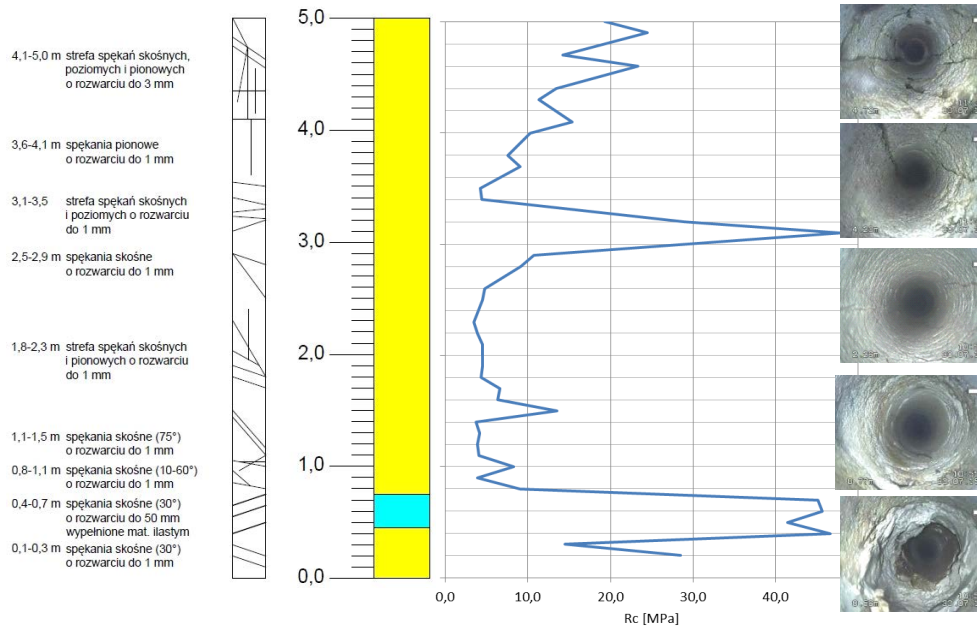
Dla oceny właściwości górotworu przeprowadzono badania penetrometryczne i introskopowe w stropie, spągu i ociosach wyrobiska. W tabeli 1 oraz na rysunku 3 przykładowo przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w otworze stropowym.

TABELA 1. Zestawienie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie warstw skalnych dla otworu stropowego A1

TABLE 1. Collation of compression and extension stamina of rock layers and A1 roof opening

| Rodzaj skały | Głębokość otworu | Wytrzymałość na ściskanie [MPa] | | Wytrzymałość na rozciąganie [MPa] | |
|--------------|------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------|
| | H; [m] | R_c śred. | odch. stand. s | R_r śred. | odch. stand. s |
| Piaskowiec | 0–0,45 | 29,87 | 16,13 | 1,91 | 1,03 |
| Ilowiec | 0,45–0,75 | 44,07 | 2,28 | 2,82 | 2,15 |
| Piaskowiec | 0,75–4,2 | 8,76 | 9,29 | 0,56 | 0,59 |
| Piaskowiec | 4,2–5,0 | 17,66 | 5,49 | 1,13 | 0,35 |

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że w świetle rozważań deterministycznych opartych na wartościach wytrzymałości obliczeniowej (5,35 MPa) i średniej wartości naprężeń

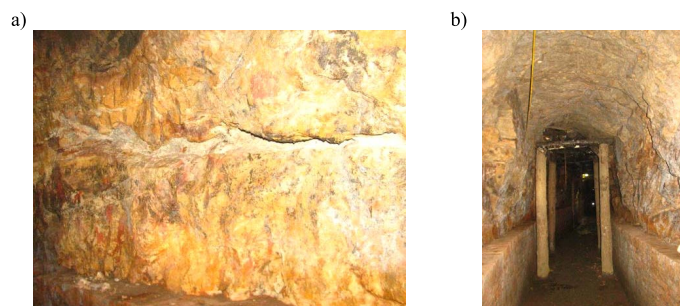


Rys. 3. Wyniki badań górotworu wzdłuż profilu otworu stropowego A1

Fig. 3. Research results of the rock mass along the A1 roof opening profile

w otoczeniu wyrobiska (2,48 MPa) stosunek pewności przeniesienia naprężeń definiowany jako stosunek wytrzymałości obliczeniowej do wielkości naprężeń osiąga wartość 2,13, co można interpretować jako stan bezpieczny.

Uwzględniając wyniki badań właściwości górotworu określono współczynnik zmienności jego wytrzymałości wynoszący 0,625 oraz współczynnik zmienności naprężeń w górotworze wynoszący 0,27. Dla tak określonych parametrów obliczone prawdopodobieństwo utraty stateczności wyrobiska dla aktualnych warunków jego utrzymania osiąga maksymalnie wartość 0,375, co kwalifikuje wyrobisko do klasy IV – warunki niedopuszczalne (stan niebezpieczny). Wystąpienie tak wysokiego prawdopodobieństwa utraty stateczności wyrobiska znalazło pełne potwierdzenie w praktyce, co można zaobserwować m.in. na rysunku 4.



Rys. 4. Widok destrukcji skał ociosowych (a) oraz stropowych (b) analizowanego wyrobiska

Fig. 4. View of wall and roof rocks destruction of the analyzed heading

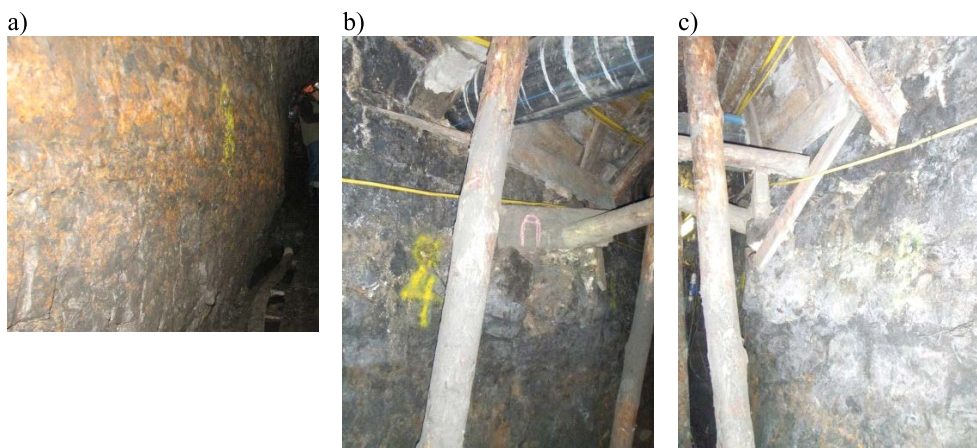
3.3. Analiza stopnia bezpieczeństwa odcinka sztolni zabezpieczonej obudową murową z kamienia naturalnego

Analizę przeprowadzono dla odcinka wyrobiska w rejonie jego wylotu na powierzchnię (Duży red. 2013). Wyrobisko w tym rejonie wykonano w obudowie kamiennej sklepionej opartej na murach prostych o wysokości ok. 1,1 m oraz strzałce sklepienia ok. 0,67 m. Wymiary przekroju poprzecznego wyrobiska: szerokość ok. 1,6 m, wysokość ok. 1,8 m. Na pozostałym odcinku wyrobisko wykonano w obudowie kamiennej sklepionej opartej na murach prostych o wysokości ok. 2,35 m oraz strzałce sklepienia ok. 0,65 m. Jako materiał do wykonania obudowy zastosowano kamień ciosany z występującego w okolicy piaskowca, układany na zaprawie wapiennej. Wymiary przekroju poprzecznego wyrobiska: szerokość ok. 1,6 m, wysokość ok. 3,0 m.

Średnia grubość obudowy sztolni wynosi 25 cm. Grubość ta może się nieznacznie zmieniać na wybiegu i obwodzie wyrobiska z uwagi na rodzaj zastosowanego materiału. Obudowę sztolni wykonano przy użyciu kamienia ciosanego, który posiada nieregularne kształty, co może skutkować zmianami grubości obudowy wyrobiska.

Poza obszarami uszkodzeń i braków obmurza stan techniczny obudowy można uznać za zadowalający. Obudowa nie wykazuje uszkodzeń w postaci rys i szczelin, a jedynie ubytki zaprawy na głębokość do ok. 5 cm oraz lokalne wymycia zaprawy na głębokość do ok. 18 cm, głównie w części stropowej wyrobiska. W spoinach muru obserwuje się lokalnie przerastające korzenie roślin. Nie stwierdzono wykropleń wody ze stropu i ociosów, a jedynie lokalne zawilgocenia spągu wyrobiska.

Na odcinkach uszkodzeń obudowa wykazuje oznaki utraty stateczności, co przy wystąpieniu niekorzystnych warunków może grozić zawaleniem wyrobiska stwarzając bezpośrednie zagrożenie dla powierzchni terenu w formie deformacji nieciągłych (lejów zapadliskowych) (rys. 5b i c). Za szczególnie niebezpieczny należy uznać odcinek wyrobiska, na którym wystąpiło uszkodzenie obudowy w postaci przemieszczenia północnego ociosu do wyrobiska



Rys. 5. Widok uszkodzenia obudowy ociosów i stropu wyrobiska

Fig. 5. View of the headings southern wall support damage

w wyniku czego zaprawa w spoinach uległa wykruszeniu, a część wypchniętych elementów straciła powiązanie z istniejącą obudową (rys. 5).

Wykorzystując wyniki przeprowadzonych pomiarów rzeczywistych parametrów geometrycznych i wytrzymałościowych poszczególnych elementów obudowy sztolni oraz ich statystycznej analizy przeprowadzono obliczenia stopnia bezpieczeństwa obudowy. Wyniki przeprowadzonych obliczeń zestawiono w tabeli 2.

TABELA 2. Wyniki obliczeń stopnia bezpieczeństwa obudowy odcinka Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej w rejonie jej wylotu na powierzchnię

TABLE 2. Calculation results for support safety degree of the Główna Kluczowa Sztolnia Dziedziczna section in the area of its outlet to the surface

| Lp. | Odcinek obciążenia obudowy | σ_{red} [MPa] | σ_{dop} [MPa] | k | Prawdopodobieństwo awarii |
|-----|----------------------------|----------------------|----------------------|-------|---------------------------|
| 1. | odcinek I | 0,35 | 1,6 | 0,219 | 0,027 |
| 2. | odcinek II | 0,65 | 1,6 | 0,406 | 0,082 |
| 3. | odcinek III | 0,90 | 1,6 | 0,563 | 0,213 |
| | odcinek IIIa | 0,90 | 1,6 | 0,563 | 0,321 |

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że w świetle rozważań deterministycznych opartych na uśrednionych wartościach parametrów opisujących interakcję układu obudowa – górotwór współczynnik wykorzystania nośności przekroju k osiąga wartości wyraźnie mniejsze od 1, co świadczy o wymaganej nośności obudowy. Obliczone prawdopodobieństwo awarii obudowy dla aktualnych warunków jej utrzymania na odcinku III osiąga maksymalnie wartość 0,213, co według badań dla wyrobisk korytarzowych kwalifikuje wyrobisko do klasy III – warunki dopuszczalne. Powoduje to konieczność obserwacji zachowania się obudowy oraz podjęcie działań mających na celu zwiększenie nośności obudowy lub obniżenie oddziaływania górotworu na obudowę. Wydzielając z niego odcinek charakteryzujący się szczególnie dużą zmiennością parametrów podpornościowych obudowy (m.in. duża zmienność grubości obudowy, zmienna jakość materiału i konstrukcji) oraz jej obciążenia (m.in. naruszenie robotami ziemnymi, oddziaływanie drgań od przejeżdżających pojazdów na powierzchni) (w tab. 1 odcinek IIIa) obliczone prawdopodobieństwo awarii obudowy osiąga wartość 0,321, co kwalifikuje wyrobisko do klasy IV – warunki niedopuszczalne (stan niebezpieczny). Wystąpienie tak wysokiego prawdopodobieństwa awarii obudowy znalazło pełne potwierdzenie w praktyce, gdyż w tym miejscu w sierpniu 2012 r. w trakcie realizacji prac w wyrobisku sztolni wystąpiło uszkodzenie obudowy w postaci utraty ciągłości materiału i przemieszczenia w kierunku wyrobiska jednego z murów ociosowych (rys. 5). Zakres występującego uszkodzenia mógł zagrozić stateczności wyrobiska na tym odcinku.

Podsumowanie

Na terenach pogórnich nawet wiele lat po zakończeniu eksploatacji górniczej mogą występować zagrożenia będące jej skutkiem. Szczególne zagrożenie występuje od pozostawienia

stawionych po zakończeniu eksploatacji lub powstałych na wskutek procesów wtórnych w górotworze pustek zalegających na małej głębokości. Utrata stateczności tych pustek objawiająca się najczęściej ich zawaleniem skutkuje wystąpieniem deformacji nieciągłych na powierzchni, głównie w postaci zapadlisk.

Prognozowanie zagrożenia zapadliskowego jest problemem złożonym, składającym się z dwóch związanych ze sobą procesów, a mianowicie utraty stateczności wyrobiska w formie zawalu oraz „przejścia” pustki przez górotwór.

Prognoza stateczności wyrobiska pozostawionego w górotworze po zakończeniu eksploatacji zależy od wielu czynników, których określenie jest możliwe tylko z pewnym przybliżeniem. Do głównych czynników niepewności informacji zaliczyć można:

- zmienność budowy i właściwości górotworu wynikająca z procesów naprężeniowo-deformacyjnych występujących w trakcie i po zakończeniu eksploatacji,
- zmienność gabarytów przekrojów poprzecznych wyrobiska wzdłuż jego wybiegu na skutek złuszczeń lub obwałów skał lub częściowego wypełnienia wyrobiska itp.,
- zmienność pól naprężeniowo-deformacyjnych w górotworze wynikająca ze zmian właściwości górotworu, warunków hydrogeologicznych, warunków górniczych oraz oddziaływania rozwiniętej infrastruktury podziemnej i powierzchniowej,
- wysoki stopień zużycia technicznego obudowy wyrobiska wynikający z długiego okresu jego istnienia oraz niekorzystnych oddziaływań środowiska.

Biorąc powyższe pod uwagę za celowe uznać można stosowanie metod probabilistycznych, przyjmujących parametry wejściowe jako zmienne losowe, a miarą zagrożenia utratą stateczności może być prawdopodobieństwo wystąpienia niekorzystnego stanu.

Zaproponowana klasyfikacja warunków utrzymania stateczności wyrobiska może zostać wykorzystana jako narzędzie do:

- oceny stopnia bezpieczeństwa wyrobiska,
- szacowania niezbędnego zakresu i kosztów działań naprawczych i profilaktycznych,
- wstępnej oceny przydatności terenu do zagospodarowania,
- określania harmonogramu działań naprawczych i zabezpieczających istniejące na określonym terenie wyrobiska dla zmniejszenia zagrożenia ich zawaleniem.

Poruszony w artykule problem jest bardzo złożony i z konieczności przedstawiony został w sposób bardzo ogólny. Zasygnalizowane zostały w nim aspekty wymagające dalszych badań w celu dopracowania się w miarę obiektywnych mierników jakości rozwiązania projektowego. Dotychczasowe badania wskazują, że dalsze, systematyczne poznawanie procesów naprężeniowo-deformacyjnych w otoczeniu wyrobisk górniczych oraz rozwój metod i narzędzi projektowania stwarza takie możliwości.

Literatura

- Biegus, A. 1999. *Probabilistyczna analiza konstrukcji stalowych*. Warszawa–Wrocław: Wydawnictwo Naukowe PWN, 197 s.
- Chudek, M. 2010. *Mechanika górotworu z podstawami zarządzania ochroną środowiska w obszarach górniczych i pogórnich*. Gliwice: Wyd. PŚ, 500 s.
- Duży, S. 2005. Ocena bezpieczeństwa konstrukcji wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego z uwzględnieniem zmienności warunków naturalnych i górniczych. [W:] *Materiały Konferencji IX Warsz-*

- taty Górnicze pt. „Zagrożenia naturalne w górnictwie”*, Kazimierz Dolny, 20–22 czerwca 2005. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN, s. 243–256.
- Duży, S. 2006. Optymalizacja konstrukcji wyrobisk korytarzowych z uwzględnieniem zmienności warunków geologiczno – górniczych i niepewności informacji. [W:] *Materiały Konferencji X Jubileuszowe Warsztaty Górnicze pt. „Zagrożenia naturalne w górnictwie”*, Kraków, 12–14 czerwca 2006. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN, s. 95–107.
- Duży, S. 2007. Studium niezawodności konstrukcji obudowy i stateczności wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego z uwzględnieniem niepewności informacji. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo*. z. 277, Gliwice, 221 s.
- Duży, S. 2008. Geotechniczne aspekty utrzymania stateczności głównych wyrobisk udostępniających w warunkach rekonstrukcji poziomu. *Budownictwo Górnicze i Tunelowe*, nr 1, s. 22–31.
- Duży i in. 2005 – Duży, S., Preidl W. i Jurkiewicz, J.G. 2005. Możliwości wykorzystania Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej jako zabytku kultury technicznej i atrakcji podziemnej trasy turystycznej skansenu górniczego „Królowa Luiza” w Zabrze. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 111*, Seria: Konferencje nr 43, Wrocław: Oficyna Wyd. PWr., s. 61–70.
- Duży i in. 2006 – Duży, S., Preidl W. i Różacki, R. 2006. Wpływ czynników środowiskowych na trwałość i walory użytkowe obudowy kamiennej Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej w Zabrzu. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 117*, Seria: Studia i Materiały nr 32, Wrocław: Oficyna Wyd. PWr., s. 53–62.
- Duży i in. 2012 – Duży, S., Preidl, W., Bączek, A., Dyduch, G. i Pawlas, L. 2012. Ocena niezawodności i bezpieczeństwa konstrukcji obudowy kamiennej wyrobisk Kopalni Ćwiczebnej Muzeum Miejskiego „Sztalgarka” w Dąbrowie Górniczej poddanych niekorzystnemu oddziaływaniu środowiska. *Górnictwo i Geologia* t. 7, z. 1, s. 47–58.
- Duży, S. red. 2013. *Wykonanie ekspertyzy dotyczącej przyczyn powstania i sposobu usunięcia awarii obudowy Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej na odcinku przebiegającym pod ulicą K. Miarki w Zabrzu*. Praca KGBPiZOP PŚ, Gliwice (praca niepublikowana).
- Duży, S. red. 2015. *Przeprowadzenie badań i analiz geofizycznych struktury górotworu w bezpośrednim otoczeniu wyrobisk kompleksu Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej ze zlokalizowaniem wybranych zlikwidowanych wyrobisk oraz wykonanie projektów docelowego zabezpieczenia wyrobisk kompleksu Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej wraz z pełnieniem nadzorów autorskich. Zadanie 2. Wykonanie dokumentacji projektowych opisujących sposób wykonania docelowego zabezpieczenia wyrobisk kompleksu Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej wraz z nadzorem autorskim*. Praca KGBPiZOP PŚ, Gliwice (praca niepublikowana).

