

STANISŁAW DUŻY*

Geomechaniczne aspekty utrzymania stateczności wyrobisk przygotowawczych w warunkach eksploatacji pokładów grubych z podziałem na warstwy

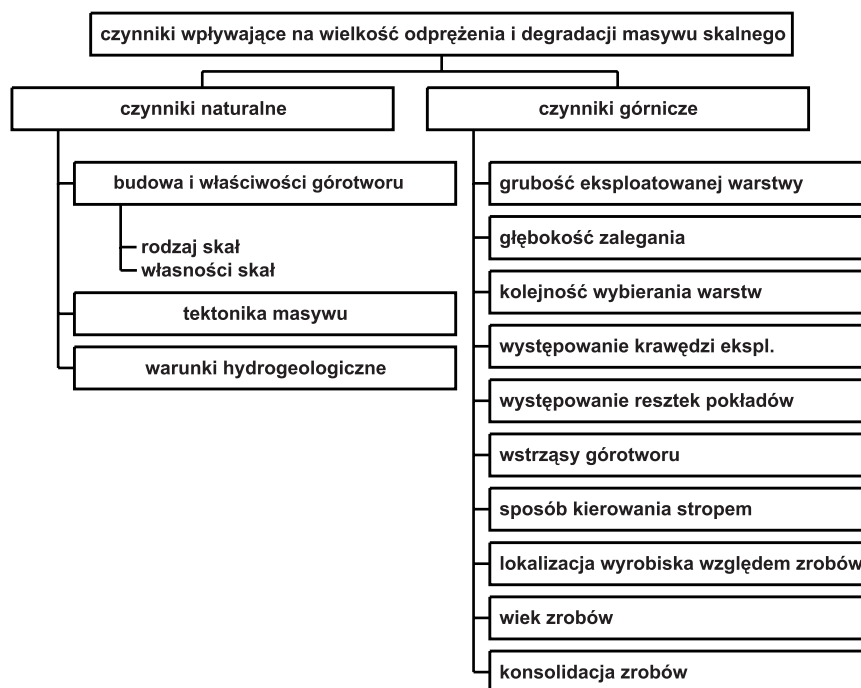
Wprowadzenie

Pokład o dużej miąższości, dla ułatwienia jego eksploatacji, można podzielić na warstwy poziome lub pochyłe. Wybór podziału zależy od rodzaju, wielkości i położenia złoża w przestrzeni oraz technologii jego wybierania. Można je wybierać systemami długofrontowymi (ścianowe) lub krótkofrontowymi (systemy chodnikowe, ubierkowe, zabierkowe, itp) z zawałem stropu, podsadzką suchą lub podsadzką hydrauliczną, warstwami z góry do dołu, z dołu do góry lub w mieszanej kolejności.

W każdej z wymienionych powyżej sytuacji wyrobisko przygotowawcze zlokalizowane w kolejnej warstwie znajdować się będzie w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów (w różnej odległości nad lub pod zrobami). Stan taki powoduje, że ocena stateczności wyrobiska w tych warunkach powinna uwzględniać podstawowe czynniki takie jak: odprężenie i degradacja masywu. Pod pojęciem degradacja masywu skalnego rozumie się pogorszenie jego własności wytrzymałościowych i odkształceniowych spowodowane wpływem dodatkowych czynników takich jak np. eksploatacja górnicza, a objawiające się wzrostem spękania górotworu lub jego zniszczeniem.

Stosowane powszechnie metody doboru obudowy wyrobisk korytarzowych oparte są na założeniu, że otaczający projektowane wyrobisko górotwór zbudowany jest ze skał zwięzłych. Takie przyjęcie nie odpowiada często rzeczywistym warunkom eksploatacji pokładu grubego z podziałem na warstwy, a przyjmowanie w obliczeniach degradacji

* Dr inż., Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska w Gliwicach;
e-mail: stanislaw.duzy@polsl.pl



Rys. 1. Czynniki wpływające na wielkość odprężenia i degradacji masywu skalnego

Fig. 1. Features influencing the size of decompression and degradation of rock massive

masywu skalnego wyrażanej obniżeniem własności wytrzymałościowych skał, uzyskuje się znaczne przewymiarowanie obudowy.

Warunki gospodarki rynkowej wymuszają na kopalni możliwie maksymalne obniżenie kosztów eksploatacji. Stan taki powoduje, że najbardziej efektywnym systemem eksploatacji pokładów grubych jest podział na warstwy równoległe do uwarstwienia i wybieranie ich systemem ścianowym z zawałem stropu kolejno począwszy od warstwy najwyższej (podstropowej) do najniższej (przyspągowej).

1. Przykłady zachowania się wyrobisk przygotowawczych w warunkach eksploatacji pokładów grubych z podziałem na warstwy systemem ścianowym z zawałem stropu z góry w dół

1.1. Ogólna charakterystyka obudowy wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi

Do obudowy wyrobisk korytarzowych zastosowano odrzwia ŁP8/V25 o rozstawie co 1,0 m, lub ŁP10/V25, o rozstawie co 0,75 m (Chudek i in. 1999). W trudniejszych warunkach

górnictwo-geologicznych stosowano zagęszczony rozstaw odrzwi odpowiednio do 0,75 m i 0,5 m. Do połączenia łuków stropnicowych z łukami ociosowymi zastosowano strzemiona SDOD 25 i SDOG 25. Łuki ociosowe posadowiono na podkładkach drewnianych o wymiarach min. $0,20 \times 0,50 \times 0,05$ m.

Do stabilizacji odrzwi ŁP8/V25 zastosowano 9 rozpór, a odrzwi ŁP10/V25 11 rozpór, rozmieszczonych w odległości nie przekraczającej 1,2 m, wśród których występowały:

- 3 rozpory typu WRG, zakładane w następujący sposób: jedna w strzałce łuku stropnicowego, a dwie pozostałe na łukach ociosowych, jako pierwsze poniżej połączenia łuku stropnicowego z łukiem ociosowym,
- 2 rozpory typu RZL1, zakładane na łukach ociosowych, jako pierwsze od spagu,
- 4 rozpory drewniane z króciaków o średnicy min. 10 cm – dla odrzwi ŁP8/V25 lub 6 rozpór drewnianych z króciaków o średnicy min. 10 cm – dla odrzwi ŁP10/V25.

Do zabezpieczenia obrysu wyrobiska pomiędzy odrzwiami obudowy odcinkowo zastosowano przemiennie:

- w stropie króciaki drewniane o średnicy min. 8 cm, a w ociosach siatkę MM lub króciaki drewniane, lub
- w stropie okładziny żelbetowe układane ażurowo lub siatki zgrzewane, a w ociosach okładziny żelbetowe układane ażurowo lub siatki MM.

1.2. Zachowanie się wyrobisk przygotowawczych przy eksploatacji z zawałem stropu warstwami z dołu do góry

Obserwacje makroskopowe przeprowadzone w kilkunastu chodnikach, wykonanych pod zrobami zawałowymi wykazują, że dobór obudowy dla tych warunków został przeprowadzony w sposób właściwy. Nie stwierdzono deformacji obudowy, jak również innych objawów świadczących o znacznym wyężeniu poszczególnych elementów obudowy, czy osiągnięciu ich nośności granicznej (Chudek i in. 1999; Duży i in. 2002; Urbaś i in. 2002).

Obudowa analizowanych wyrobisk korytarzowych (zlokalizowanych w większości w warstwie 3) zachowuje w pełni kształt jak i wielkość przekroju poprzecznego wyrobiska. Nie widać śladów zsuwu w złączach odrzwi obudowy, czy też innych deformacji plastycznych zarówno odrzwi, jak i innych akcesoriów. Na uwagę zasługuje fakt, że zastosowane jako okładziny elementy drewniane nawet w stropie wyrobiska nie wykazują śladów zgniatania. Fakty te potwierdzają, iż w przedmiotowych wyrobiskach obciążenie obudowy mimo bezpośredniego kontaktu z strefą zawału jest małe. Jedynie lokalnie stwierdzono zwiększone ciśnienie na obudowę, objawiające się w przedziale pomiędzy odrzwiami obudowy deformacjami lub złamaniem okładzin drewnianych.

Przeprowadzone obserwacje wykazały, że nawet na odcinku, w którym obudowa odrzwiowa posadowiona była na podsadce hydraulicznej, a w stropie posiadała bezpośredni kontakt z zrobami zawałowymi zachowywała stateczność. Obudowa ta posadowiona była na podkładkach drewnianych, co w pełni zabezpieczało ją przed wbijaniem łuków ociosowych w podsadzkę.

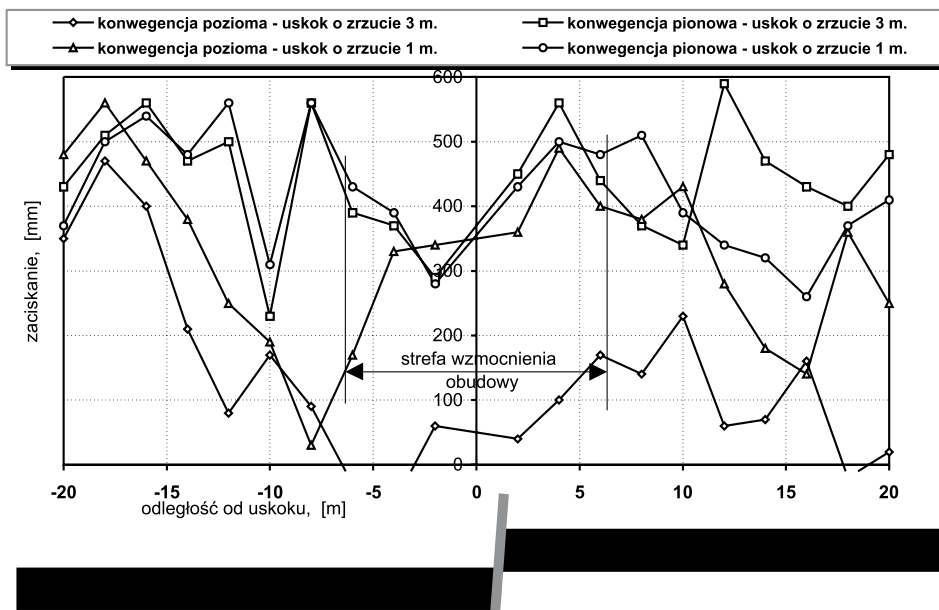
W obserwowanych chodnikach lokalnie stwierdzono występowanie wycieków wody z górotworu. W rejonie wycieków nie stwierdzono natomiast objawów zwiększonych obciążeń obudowy, co wskazuje na małą rozmakalność skał.

Przeprowadzone obserwacje makroskopowe strefy zawału nad obserwowanym wyrobiskiem potwierdzają zachowanie w długim (nawet kilkuletnim) okresie czasu strefy zawału charakteru praktycznie sypkiego rumoszu skalnego o zróżnicowanym uziarnieniu. W analizowanych warunkach nie obserwowano klasycznego procesu rekonsolidacji zawału.

1.3. Zachowanie się wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi w strefie wpływu uskoku

Stosowane powszechnie zasady doboru i wykonywania obudowy wyrobisk korytarzowych w strefach wpływu uskoków zalecają wzmocnienie obudowy uzasadniając to zagęszczoną siatką spękań górotworu oraz oddziaływaniem zwiększonych naprężeń. Zasada ta zastosowana była w zasadzie we wszystkich obserwowanych wyrobiskach (Duży i in. 2002; Urbaś i in. 2002).

Na rysunku 2 przedstawiono kształtowanie się pomierzonych wielkości zaciskania chodników zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi w rejonie uskoków o małej wysokości zrzutów. Przeprowadzone obserwacje wykazały, że wybranie z zawałem stropu



Rys. 2. Kształtowanie się konwergencji wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi w strefie wpływu uskoku (Urbaś i in. 2002)

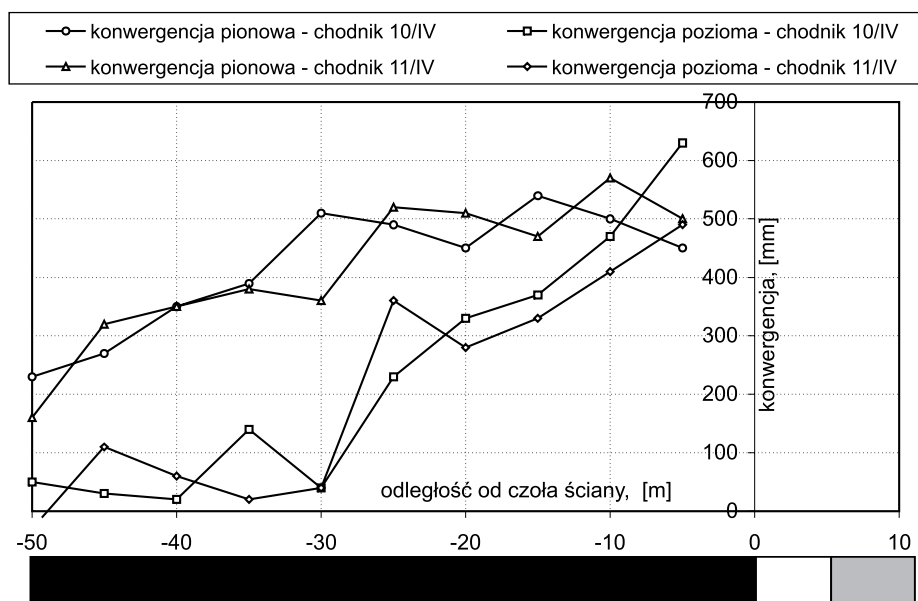
Fig. 2. The shaping of preparatory headings, localised directly under caving goveas in the area of fault influence, convergence (Urbaś et al. 2002)

warstw wyżej leżących spowodowało tak znaczne odprężenie, że trudno wydzielić w górotworze strefy oddziaływania uskoku. Szczególnie obserwowane jest to w rejonie małych uskoków o zrzutach nie większych niż 3 m.

1.4. Zachowanie się wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi w strefie wpływu czynnego frontu eksploatacyjnego

Znaczne odprężenie górotworu ma również istotny wpływ na zachowanie się wyrobisk przygotowawczych w strefach wpływu eksploatacji górniczej. Przeprowadzone obserwacje wykazały, że wybranie warstw wyższych powoduje sytuację, w której trudno jest wydzielić te strefy na wybiegu wyrobiska. Nie obserwuje się występowania stref zwiększonych obciążeń obudowy w przypadku drażenia wyrobiska w rejonie krawędzi eksploatacyjnej w innej warstwie pokładu, w przypadku gdy krawędź ta została odprężona przez wybranie innej sąsiedniej warstwy. Podobne obserwacje dotyczą zachowania się wyrobisk przyścianowych w strefie wpływu czynnego frontu eksploatacyjnego (rys. 3).

W warunkach górotworu odprężonego obserwuje się stosunkowo niewielkie wartości konwergencji chodników przyścianowych, łagodny przyrost zaciskania wyrobiska oraz stosunkowo mały zasięg oddziaływania czynnego frontu eksploatacyjnego.



Rys. 3. Kształtowanie się konwergencji wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi w strefie wpływu czynnego frontu eksploatacyjnego (Urbaś i in. 2002)

Fig. 3. The shaping of preparatory headings, localised directly under caving goveas in the area of active working front influence, convergence (Urbaś et al. 2002)

2. Podstawowe zasady doboru obudowy wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi

Zagadnienie doboru obudowy dla wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych w górotworze zdegradowanym mogą obejmować następujące przypadki:

- wyrobiska zalegające bezpośrednio pod zrekonsolidowanymi zrobami zawałowymi,
- wyrobiska zalegające bezpośrednio pod niezreksolidowanymi zrobami zawałowymi,
- wyrobisko zlokalizowane w caliznie poddanej odprężeniu eksploatacją podbierającą lub nadbierającą,
- wyrobiska zlokalizowane w caliznie pod zrobami zawałowymi, jednak oddzielonymi od niego półką węglową.

Podstawowym czynnikiem decydującym o stateczności wyrobiska jest dobrze zaprojektowana obudowa, a podstawowym parametrem wejściowym do projektowania obudowy jest jej obciążenie. Obciążenie obudowy wyrobisk zależy od charakteru procesów naprężeniowo-deformacyjnych zachodzących w otoczeniu wyrobiska, które zależą od szeregu czynników. Do najważniejszych z nich zaliczyć można: rodzaj i własności skał budujących masyw, lokalizacja wyrobiska, wielkość przekroju poprzecznego wyrobiska, rodzaj obudowy wyrobiska, technologia drażenia wyrobiska.

W zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny proces doboru i projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych objęty jest szeregiem norm, zasad lub wytycznych. Poszczególne dokumenty obowiązują przy doborze i projektowaniu określonej konstrukcji obudowy i zawierają przepisy dotyczące toku postępowania oraz konkretne metody obliczeniowe. Poszczególne dokumenty posiadają jednak również ograniczone zakresy stosowania, których podstawowym ograniczeniem jest wytrzymałość na ściskanie skał dla przyjętego profilu. Minimalną wartością wytrzymałości na ściskanie skał dla omawianych dokumentów jest 15 MPa.

Biorąc pod uwagę warunki geologiczno-górnice wyrobisk zlokalizowanych w kolejnych warstwach eksploatowanego pokładu należy stwierdzić, że w przypadku wyrobisk zlokalizowanych w zdegradowanym górotworze wymienione dokumenty, ze względu na przyjęte modele obliczeniowe, nie powinny być stosowane.

Dobór obudowy dla wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami może być przeprowadzony na podstawie:

- a) metod empirycznych opartych na doświadczeniach praktycznych,
- b) metod analitycznych opartych na modelu deformacji ośrodków rozdrobnionych lub spękanych,
- c) metod modelowania numerycznego ośrodków sypkich lub ośrodków spękanych.

W praktyce projektowej w Polsce do doboru obudowy wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi często stosowana jest metoda opracowana w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach (Konopko 1998).

Metoda prognozowania obciążenia obudowy wyrobisk korytarzowych oparta jest na wzorach wiążących wysokość sklepienia ciśnień z wytrzymałością skał otaczających projektowane wyrobisko i wymiarami przekroju poprzecznego wyrobiska. Potrzebną do projektowania

wartość wytrzymałości na ściskanie skał w wymienionej powyżej pracy określono na podstawie pomiarów dołowych strzałki sklepienia ciśnień, w oparciu o którą z zależności Protodiakonowa określono ekwiwalentną wytrzymałość skał stropowych tworzących strefę zawału.

W dalszej części metoda ta opiera się na pracy pt. „Sposób doboru obudowy łukowej podatnej wyrobisk chodnikowych wykonywanych w pokładzie węgla i pozostających poza wpływem eksploatacji górniczej” (Biliński i in. 1996).

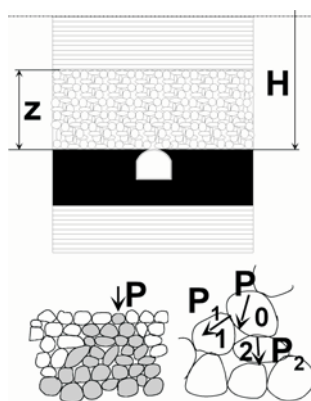
Wyrobisko korytarzowe przylegające bezpośrednio do zrobów znajduje się w specyficznym układzie obciążenia, którego nie można opisać równaniami stosowanymi dla opisu górotworu zbudowanego ze skał zwięzłych. Zroby zawałowe często nie podlegają procesowi rekonsolidacji i pozostają w stanie, który można opisać jako stan luźny. Zasadę tą można również odnieść do przypadku pozostawienia półki węglowej. Półka ta przy prowadzeniu robót górniczych często ulega spękaniu prowadzącemu do jej zniszczenia. Z drugiej strony prowadzenie eksploatacji złoża powoduje odprężenie górotworu.

2.1. Określenie odprężenia górotworu pod zrobami

Sytuację panującą w rejonie wyrobiska korytarzowego zlokalizowanego bezpośrednio pod zrobami można przedstawić w sposób podany na rysunku 4. Na rysunku tym przedstawiono ideę odprężenia górotworu, które występuje pod wybraną warstwą pokładu.

Uwzględnienie dyskretnej struktury skały sypkiej możliwe jest albo przez badanie ośrodka zastępczego, albo przez zastosowanie metod probabilistycznych.

W podanych powyżej rozwiązaniach ośrodek traktowany jest jako statystyczny układ elementów o dowolnym kształcie, nie powiązanych ze sobą, lecz wspartych na sobie w taki sposób, że pomiędzy nimi występują siły na stykach. Obciążenie zewnętrzne przekazuje się poprzez styki elementów w głąb ośrodka (Kisiel i in. 1982). W zależności od tego, czy ośrodek utworzony jest ze wspartych o siebie mniej lub bardziej regularnych bloków, czy też składa się ze zbioru ziaren o zwartym i regularnym kształcie rozróżnia się ośrodek



Rys. 4. Schemat mechanizmu odprężenia górotworu pod zrobami zawałowymi (Duży, Kleta 2001)

Fig. 4. Scheme of rock massive decompression, under caving goveas, mechanism (Duży, Kleta 2001)

bezzropowy, w którym nie powstaje rozpór pomiędzy poszczególnymi blokami oraz ośrodek rozporowy, w którym wskutek nieregularnego kształtu ziaren i dowolnego położenia styków powstają także siły poziome – tzw. rozpór (Kandaurov 1966).

Obciążenie działające na ziarno I przekazywane jest na dwa ziarna podpierające na ogół pod dowolnymi kątami zależnymi od kształtu ziaren, sposobu podparcia i położenia styków.

Dla dowolnego obciążenia $q(x)$ rozłożonego na odcinku stropu warstwy luźnej $-b \leq \xi \leq b$ obciążenie spągu tej warstwy wyraża się wzorem:

$$\sigma_z = \frac{2}{z} \cdot \sqrt{\frac{K}{\pi}} \cdot \int_{-b}^b q(x) \cdot \exp\left[-\frac{4 \cdot K}{z^2} \cdot (x - \xi)^2\right] \cdot d\xi \quad (1)$$

gdzie:

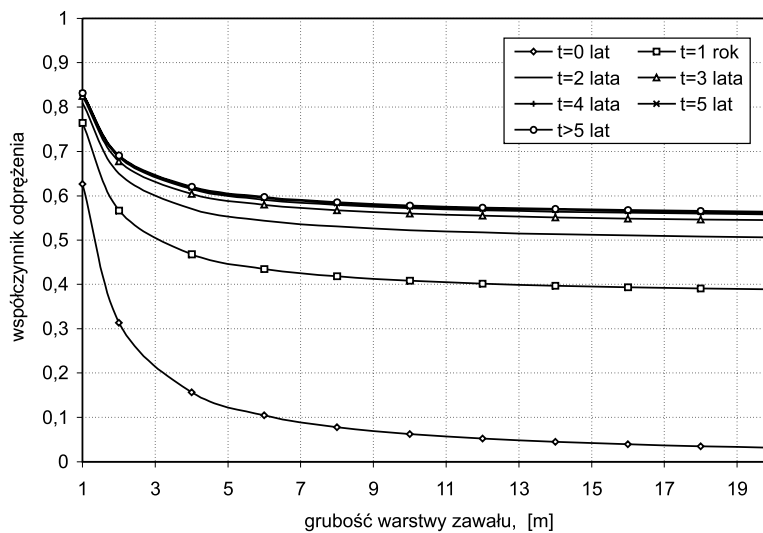
z – grubość warstwy skały sypkiej,

K – parametr równania; według Mullera związany jest z współczynnikiem rozpierania bocznego w ośrodku sypkim (Kisiel i in. 1982):

$$K = \frac{1}{8 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)} \quad (2)$$

gdzie:

φ – kąt tarcia wewnętrzznego ośrodka



Rys. 5. Kształtowanie się współczynnika odprężenia warstwy niższej dla zrobów zawałowych o wartości kąta tarcia wewnętrzznego $\varphi = 25^\circ$

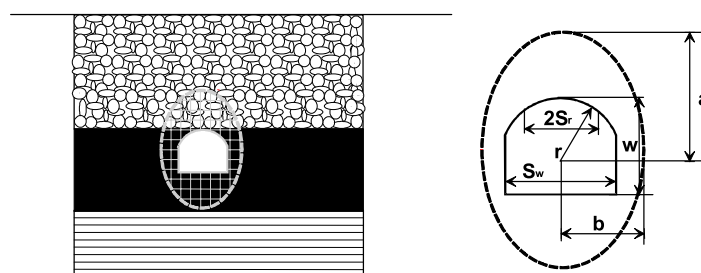
Fig. 5. Shaping of the lower layer, for caving goveas, decompression coefficient, with the inner friction angle value of $\varphi = 25^\circ$

Uwzględniając fakt, iż w miarę upływu czasu wielkość i rozkład naprężeń w górotworze naruszonym eksploatacją górniczą ulega zmianie w wyniku relaksacji naprężeń, dla uwzględnienia wpływu czasu na wielkość odprężenia górotworu można stosować zasady stosowane w klasycznych metodach określania wielkości i rozkładu naprężeń w górotworze (np. wykorzystując równania ośrodka reologicznego).

Wykorzystując przedstawione powyżej zasady na rysunku 5 przedstawiono przykładowy wykres kształtowania się współczynnika odprężenia warstwy niższej dla zrobów zawałowych o wartości kąta tarcia wewnętrznego $\varphi = 25^\circ$. Przez współczynnik odprężenia rozumie się stosunek wartości składowej pionowej naprężenia w warstwie niższej z uwzględnieniem wybrania warstwy wyższej do składowej pionowej naprężenia w tej warstwie przed eksploatacją warstw wyższych.

2.2. Obciążenie obudowy wyrobiska zlokalizowanego w sąsiedztwie strefy naruszonego górotworu

W wyniku wykonania wyrobiska w jego otoczeniu powstanie strefa rozluźnienia skał w kształcie elipsy (rys. 6) (Gałczyński 1977; Chudek i in. 2000; Duży, Kleta 2001).



Rys. 6. Schemat obliczenia obciążenia obudowy w rejonie strefy naruszonego górotworu (Duży, Kleta 2001)

Fig. 6. Evaluation scheme of support load, in the region of the unbalanced rock massive area (Duży, Kleta 2001)

W strefie zawałowej utworzy się sklepienie w przypadku spełnienia następującego warunku:

$$\frac{2 \cdot S_r}{w} \geq \sqrt{\frac{K^2 \cdot (f^2 + K)}{K \cdot f^2 + 1}} \quad (3)$$

gdzie:

K – parametr obliczany z zależności:

$$K = \frac{p_x}{p_z} \quad (4)$$

S_r – rozpiętość wyrobiska – dla obudowy łukowej obliczana z zależności:

$$S_r = \frac{r}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

- r – promień sklepienia obudowy wyrobiska,
 p_x – naprężenie poziome w górotworze nienaruszonym,
 p_z – naprężenie pionowe w górotworze nienaruszonym,
 h – wysokość wyrobiska,
 f – współczynnik tarcia górotworu określany z zależności:

$$f = \operatorname{tg} \left(\varphi + k \cdot \log \frac{R_c}{\sigma_z} \right) \quad (6)$$

- φ – kąt tarcia wewnętrznego gruzowiska zawałowego,
 k – współczynnik szorstkości (dla powierzchni bardzo szorstkich $k = 20$),
 R_c – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie skał stropowych przed przejściem w stan zawału,
 σ_z – naprężenie pionowe w górotworze.

W przypadku wytworzenia się w strefie zawału sklepienia, obciążenie obudowy pochodzić będzie od ciężaru skał zawartych w obrębie strefy odprężonej w kształcie półelipsy. Wielkości półosi elipsy opisującej strefę odprężoną oblicza się z zależności:

$$a = \frac{S_r}{K \cdot f} \cdot \sqrt{1 + f^2 \cdot K} \quad (7)$$

$$b = \frac{S_r}{\sqrt{K} \cdot f} \cdot \sqrt{1 + f^2 \cdot K}$$

W przypadku niespełnienia warunku (3) wymiary strefy odprężonej określa się z warunku równowagi ociosów. Rozmiary strefy odprężonej określa się z zależności:

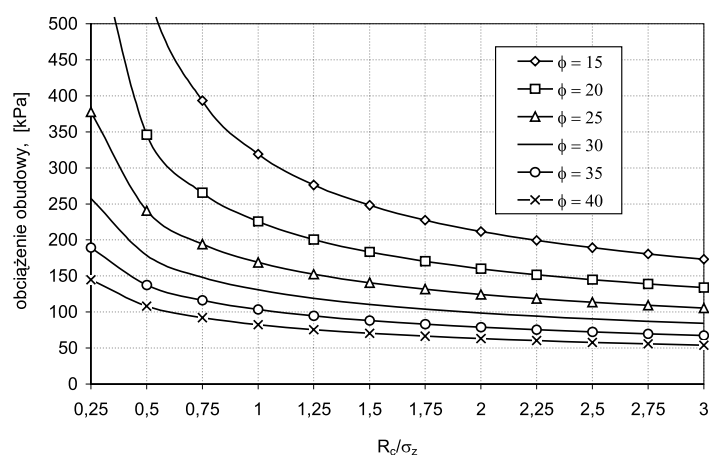
$$a = \frac{w}{2 \cdot f} \cdot \sqrt{f^2 + K} \quad (8)$$

$$b = \frac{w \cdot \sqrt{K}}{2 \cdot f} \cdot \sqrt{f^2 + K}$$

Obciążenie obudowy na 1 mb wyrobiska oblicza się z zależności:

$$Q_0 = \frac{2}{3} \cdot S \cdot (a-r) \cdot \gamma \quad (9)$$

Na rysunku 7 przedstawiono przykładowe kształtowanie się obciążenia obudowy wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi w zależności od gabarytów wyrobiska, kąta tarcia wewnętrznego skał stropowych oraz stosunku wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie skał stropowych przed przejściem w stan zawału do wielkości naprężeń pionowych w górotworze.



Rys. 7. Kształtowanie się obciążenia obudowy wyrobisk korytarzowych dla wyrobiska o wymiarach odpowiadających obudowie ŁP-8 oraz stosunkowi $p_x/p_z = 1/3$

Fig. 7. Shaping of the heading support load for a heading which meets the criteria of the ŁP-8 support and the $p_x/p_z = 1/3$ ratio

Z przedstawionych na wykresach zależności wynika, że dokładna znajomość budowy górotworu w rejonie analizowanych wyrobisk, jak i własności skał ma kluczowe znaczenie dla wielkości obciążenia obudowy. Jednym z podstawowych wielkości decydujących o wielkości obciążenia obudowy jest kąt tarcia wewnętrznego zawału. Przy jego określaniu uwzględnić należy stopień rekonsolidacji zawału, jak również warunki lokalne takie jak np. zawodnienie górotworu, które lokalnie może powodować zmniejszenie współczynnika tarcia górotworu, a co za tym idzie wzrost obciążenia obudowy wyrobiska.

2.3. Zasady doboru obudowy wyrobisk korytarzowych

Jednym z podstawowych parametrów decydujących o stateczności budowli podziemnych jest nośność obudowy rozumiana jako wielkość maksymalnego obciążenia, jakie może przenieść obudowa bez utraty stateczności.

Nośność stalowej obudowy łukowej podatnej w procesie projektowania, podobnie jak w powszechnie stosowanych metodach, określana jest najczęściej przy wykorzystaniu me-

tody opartej na analizie rozkładu i wielkości sił wewnętrznych w obudowie przy uwzględnieniu dwóch kryteriów, a mianowicie:

- kryterium wytrzymałości kształtownika,
- kryterium nośności złącz obudowy (Chudek 1986).

Dobór obudowy wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi realizowany powinien być jednak z zachowaniem dodatkowych zasad, a mianowicie:

- w wyrobiskach należy stosować obudowę podporową (odrzwiową),
- w obudowie odrzwiowej, ze względu na nierównomierność obciążenia, szczególną uwagę należy zwrócić na stabilizację odrzwi poprzez stosowanie na obwodzie obudowy większej liczby rozpór lub zabudowę podciągów,
- obudowa powinna osłaniać przestrzeń wyrobiska przed ewentualnym opadem zruszonej skały do wyrobiska (opinka ciągła lub nieciągła z odpowiednim zabezpieczeniem),
- obudowa powinna posiadać odpowiednie posadowienie zabezpieczające przed wbiżaniem się odrzwi obudowy w podsadzkę,
- obudowa powinna izolować wyrobisko przed niekontrolowaną wymianą gazów, wody itp.(np. obudowa ciągła powłokowa, kombinowana).

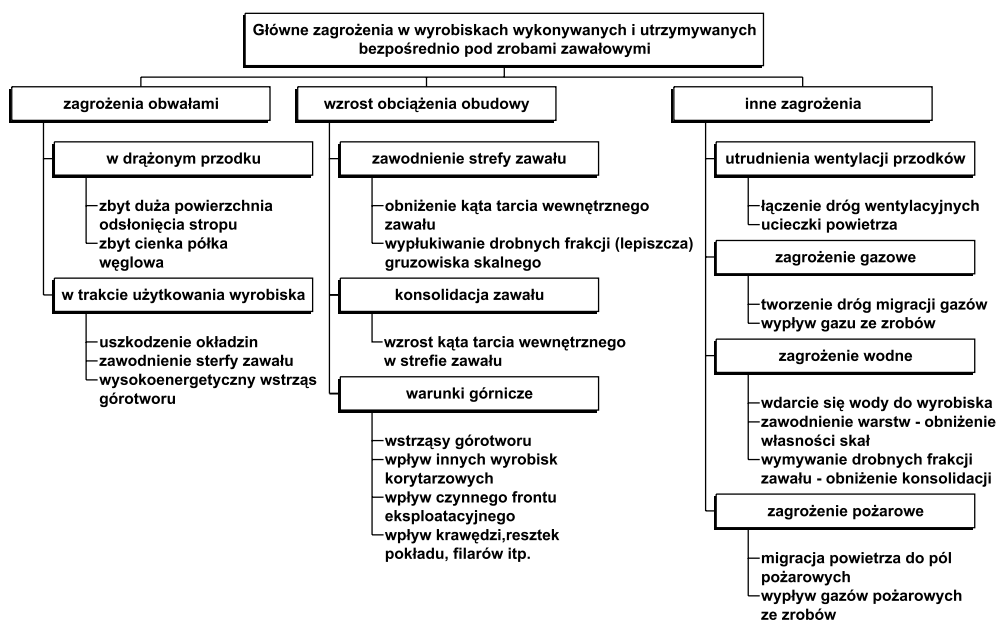
3. Główne zagrożenia występujące w wyrobiskach przygotowawczych wykonywanych i utrzymywanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi

Projektowanie, wykonywanie i użytkowanie wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych w rejonie strefy zruszonego górotworu niesie w sobie wiele zagrożeń, które należy uwzględnić. Na rysunku 8 przedstawiono systematykę podstawowych zagrożeń występujących w wyrobiskach przygotowawczych wykonywanych i utrzymywanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi.

Główne zagrożenia występujące w wyrobiskach zlokalizowanych w górotworze naruszonym to zagrożenie obwałami lub zawałem spowodowane niedostatecznym zabezpieczeniem stropu. Innym zagrożeniem jest możliwość wystąpienia zwiększonych obciążeń obudowy spowodowane zmianą warunków geologiczno-górnich takich jak np. stosunki wodne w górotworze, zmiany własności górotworu, zmiana warunków górniczych, itp. Oprócz zagrożeń związanych ze statecznością wyrobisk górniczych w warunkach utrzymywania wyrobisk w górotworze zniszczonym mogą również występować inne zagrożenia utrudnienia technologiczne takie jak m.in. zagrożenia wodne, gazowe, pożarowe, wentylacyjne itp.

Występowanie w górotworze wody, jak wykazują dotychczasowe badania, może powodować istotne, dodatkowe oddziaływanie na warunki utrzymania stateczności wyrobisk górniczych. Oddziaływanie to może występować w postaci:

- dodatkowego ciśnienia hydrostatycznego obciążającego obudowę wyrobiska – obserwowane jest to w przypadku wyrobisk zlokalizowanych w warstwach zawod-



Rys. 8. Zagrożenia występujące w wyrobiskach przygotowawczych wykonywanych i utrzymywanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi

Fig. 8. Dangers occurring in preparatory headings made and maintained directly under caving goveas

nionych i wykonanych w obudowie ciągłej, która uniemożliwia swobodny wypływ wody do wyrobiska;

- wywoływania zmian własności wytrzymałościowych i odkształceniowych górotworu – woda gromadząca się w skałach zwięzłych budujących masyw powoduje obniżenie wytrzymałości na ściskanie, co znalazło wyraz w geomechanice w definicji tzw. wskaźnika rozmakalności określanego jako stosunek wytrzymałości skał w stanie naturalnym (wilgotnym) do wytrzymałości skał w stanie powietrzno-suchym. W przypadku skał sypkich zawodnienie skał powoduje obniżenie wartości kąta tarcia wewnętrznego, co również obniża nośność warstwy;
- wpływ wody z górotworu może spowodować również wzrost szczelinowatości masywu poprzez wypłukiwanie z zasklepionych szczelin materiału scalającego masyw lub spowodować powstanie nowych spękań w masywie. W przypadku wystąpienia takich zjawisk w rejonie wyrobisk, może dojść do obniżenia własności wytrzymałościowych masywu i w konsekwencji wzrostu obciążenia obudowy.

O stopniu bezpieczeństwa wyrobisk górniczych w dużym stopniu decyduje nośność obudowy, na wartość której znaczący wpływ ma geometria konstrukcji. Dokładność wykonania poszczególnych elementów obudowy, jak i całej konstrukcji ma tu szczególne znaczenie. Biorąc pod uwagę degradację górotworu otaczającego z reguły wyrobiska utrzymywane w warstwie niższej po wybraniu warstw wyższych, należy się liczyć ze nierównomiernym rozkładem obciążenia obudowy. W takiej sytuacji szczególnego znaczenia

nabiera stabilizacja odrzwi obudowy. Należy zatem stosować zagęszczoną na obwodzie odrzwi zabudowę rozpór lub zabudowę podciągów stabilizujących odrzwia.

Wykonywanie wyrobisk górniczych wiąże się z naruszeniem równowagi w górotworze. W początkowym etapie drążenia wyrobiska odsłania się skałę na obwodzie wyłomu, co powoduje utratę podparcia skał w strefie zruszonych skał. Może to spowodować wyzwolenie fali przemieszczeń górotworu w stronę wyrobiska i wzrost obciążenia obudowy. Zjawisko to może wystąpić szczególnie w przypadku nadmiernego odsłonięcia stropu powodującego utratę podparcia na większej powierzchni górotworu.

Odnosząc to zagrożenie do warunków występujących w przodku drążonego wyrobiska stwierdzić można, że naruszenie równowagi panującej w masywie w bezpośrednim otoczeniu analizowanych wyrobisk może być spowodowane następującymi czynnikami:

- zbyt duży postęp przodka powodujący utratę podparcia stropu na dużej powierzchni,
- zbyt mała podporność obudowy wykonywanej bezpośrednio w przodku drążonego wyrobiska,
- zbyt słabe zabezpieczenie obudowy w strefie przyprzodkowej,
- utrata parametrów posadowienia odrzwi.

Utrzymywanie wyrobiska w strefie zdegradowanego górotworu stwarza również zagrożenia wentylacyjne związane z możliwością połączenia prądów świeżego i zużytego powietrza, przepływu gazów, przepływu powietrza do ognisk pożarowych itp. (rys. 8).

Podsumowanie

Zagadnienie doboru obudowy wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi ma istotne znaczenie dla kopalń prowadzących eksploatację w pokładach grubych. Względy ekonomiczne wymagają, aby minimalizować koszty eksploatacji, o wysokości których głównie decyduje system eksploatacji. Prowadzenie eksploatacji systemem ścianowym z zawałem stropu powoduje, że w warunkach eksploatacji pokładów grubych eksploatację prowadzi się z góry w dół. Wyrobiska przygotowawcze w warstwach niższych wykonuje się zatem w górotworze zdegradowanym w sąsiedztwie zrobów.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji i pomiarów dołowych oraz rozważań teoretycznych można stwierdzić, że:

- wyrobiska korytarzowe drążone w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów, pomimo bezpośredniego kontaktu z rumowiskiem zawałowym, zwykle nie wymagają zastosowania obudowy o wiele większej nośności,
- przy projektowaniu i drążeniu przedmiotowych wyrobisk należy zwrócić szczególną uwagę na właściwe określenie odprężenia masywu oraz jego degradacji,
- w trakcie drążenia wyrobiska wymagana jest szczególna dyscyplina w zakresie wykonawstwa oraz niedopuszczanie do nadmiernego otwarcia nieosłoniętego stropu w czole drążonych wyrobisk,

- znacznie ograniczona jest potrzeba dodatkowego wzmocnienia obudowy przedmiotowych wyrobisk w przypadku występowania w sąsiedztwie frontu eksploatacyjnego, małych uskoków itp.,
- duże zagrożenie może powodować występowanie lub niespodziewany dopływ wody do górotworu otaczającego wyrobisko,
- do doboru obudowy wyrobisk zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów powinno stosować się metody uwzględniające specyfikę ośrodka i zachodzących w nim procesów. Przyjmowany model obliczeniowy zależy od lokalizacji wyrobiska względem zrobów, zasobu informacji o warunkach geologiczno-górnich, posiadanych sił i środków do realizacji zadania oraz kwalifikacji wykonawcy.

Opierając się na dotychczasowych doświadczeniach w zakresie projektowania, wykonywania i utrzymywania wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów można stwierdzić, że możliwa jest bezpieczna i efektywna eksploatacja pokładów grubych systemem ścianowym z zawałem stropu. Realizować to można poprzez podział pokładu na warstwy równoległe do uwarstwienia i wybieranie ich kolejno z góry w dół bez konieczności pozostawiania w złożu dużej części zasobów.

LITERATURA

- Biliński A., Perek J., Stałęga S., Chudek M., Zorychta A., Stępień A., Kowina W., Małesza A., 1996 – Sposób doboru obudowy łukowej podatnej wyrobisk chodnikowych wykonywanych w pokładzie węgla i pozostających poza wpływem ciśnienia eksploatacyjnego. WUG-GIG, Katowice.
- Chudek M., 2002 – Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. Wyd. Pol. Śl., Gliwice.
- Chudek M., 1986 – Obudowa wyrobisk górniczych. Cz. I. Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. „Śląsk”, Katowice.
- Chudek M., Duży S., Kleta H., 2000 – Geotechniczne aspekty doboru obudowy wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi. IX Międzynarodowe Sympozjum „Geotechnika '2000”, Gliwice-Ustroń, 91–100.
- Duży S., Kleta H., 2001 – Analiza geomechanicznych warunków utrzymania stateczności wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów. Budownictwo Górnicze i Tunelowe, nr 1, 10–14.
- Duży S., 2007 – Ekspertyza dotycząca określenia możliwych przyczyn zawału zaistniałego w dniu 23 kwietnia 2007 r w rejonie skrzyżowania dowerzchni 3a z rozcinką ściany 01a w pokładzie 510 w KWK „Staszic” ze szczególnym uwzględnieniem prawidłowości doboru obudowy do występujących w przedmiotowym rejonie warunków górniczo-geologicznych. Praca Katedry Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice (praca niepublikowana).
- Gałęczyński S., 1977 – Ocena ciśnienia górotworu na obudowę wyrobisk chodnikowych i tunelowych metodami inżynierskimi. Zeszyty Problemowe Górnictwa, t. 5, z. 2, Warszawa-Kraków.
- Kandaurow I.I., 1966 – Mechanika zernistych sred i ee primenienije w stroitelstwie. Strojizdat, Leningrad – Moskwa
- Konopko W., 1998 – O projektowaniu obudowy chodników drażonych pod gruzowiskiem zawałowym. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, Nr 6 (46), 10–14.
- Nierobisz A., Prusek S., 1994 – Zasady bezpiecznego prowadzenia wyrobisk korytarzowych pod zrobami zawałowymi i podsadzowymi. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 4 (12), 19–27.

- Kisiel I., 1982 – Mechanika skał i gruntów. Praca zbiorowa pod red. I. Kisiela. PWN, Warszawa.
- Chudek M., 1999 – Analiza doboru obudowy dla wyrobisk korytarzowych projektowanych w celu eksploatacji warstwy pokładu 510 pod zrobami zawałowymi w warunkach górniczo-geologicznych KWK „Kazimierz-Juliusz”. Praca zbiorowa pod red. M. Chudka. Katowice (praca niepublikowana).
- Duży S., 2002 – Analiza doboru obudowy dla wyrobisk korytarzowych projektowanych w kolejnej warstwie pokładu 510 w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów w warunkach górniczo-geologicznych KWK „Kazimierz-Juliusz” w aspekcie zwiększenia ilości rozpór wieloelementowych dwustronnego działania na obrysie odrzwi obudowy. Praca zbiorowa pod red. S. Dużego. Katowice (praca niepublikowana).
- Urbaś M., Cudny T., Ambroży A., Duży S., 2002 – Utrzymanie wyrobisk korytarzowych wykonanych w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów zawałowych warstw wyższych w świetle obserwacji dołowych. *Budownictwo Górnicze i Tunelowe*, nr 4, 21–26.
- Urbaś M., Cudny T., Ambroży A., Duży S., 2002 – Doświadczenia w utrzymaniu wyrobisk korytarzowych wykonanych w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów zawałowych warstw wyższych, w warunkach KWK „Kazimierz-Juliusz”. *ZN Pol. Śl., Zeszyt Specjalny Wydziału Górniczego i Geologii, X Jubileuszowe Międzynarodowe Sympozjum „GEOTECHNIKA 2002”*, Gliwice-Ustroń, 463–472.

**GEOMECHANICZNE ASPEKTY UTRZYMANIA STATECZNOŚCI WYROBISK PRZYGOTOWAWCZYCH
W WARUNKACH EKSPLOATACJI POKŁADÓW GRUBYCH Z PODZIAŁEM NA WARSTWY**

Słowa kluczowe

Górnictwo, wyrobiska przygotowawcze, stateczność

Streszczenie

Eksploatacja pokładów grubych z podziałem na warstwy może być prowadzona z góry w dół, z dołu do góry lub w sposób mieszany, a pustka poeksploacyjna może być likwidowana poprzez zastosowanie podsadzki lub zawału stropu. W każdej sytuacji wyrobisko przygotowawcze w kolejnej warstwie zlokalizowane będzie w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów. Stan taki powoduje, że ocena stateczności wyrobiska w tych warunkach powinna uwzględniać podstawowe czynniki takie jak: odprężenie i degradacja masywu.

Na podstawie pomiarów i obserwacji w kopalniach przedstawiono przykłady zachowania się wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi. Prezentowane przykłady uwzględniają również wpływ czynnego frontu eksploatacyjnego oraz zaburzeń tektonicznych.

W warunkach górotworu odprężonego, obserwuje się stosunkowo niewielkie wartości konwergencji wyrobisk przygotowawczych, łagodny przyrost zaciskania wyrobisk oraz stosunkowo mały zasięg oddziaływania czynnego frontu eksploatacyjnego. Przeprowadzone obserwacje wykazały również, że wybranie z zawałem stropu warstw wyżej leżących spowodowało tak duże odprężenie, że trudno wydzielić w górotworze strefy oddziaływania uskoku.

Dla celów doboru obudowy wyrobisk korytarzowych zdefiniowano podstawowe modele obliczeniowe wzajemnego położenia analizowanego wyrobiska i zrobów. Przedstawiono podstawowe zasady doboru obudowy wyrobisk korytarzowych z uwzględnieniem odprężenia masywu skalnego. Stopień odprężenia górotworu bezpośrednio pod zrobami zawałowymi określono równaniami Kandaurowa. Obciążenie obudowy określono przy założeniu, że w wyniku wykonania wyrobiska w jego otoczeniu powstanie strefa rozluzowania skał w kształcie elipsy. Nośność stalowej obudowy łukowej podatnej określano przy wykorzystaniu metody opartej na analizie rozkładu i wielkości sił wewnętrznych w obudowie przy uwzględnieniu dwóch kryteriów, a mianowicie kryterium wytrzymałości kształtownika oraz kryterium nośności złącz obudowy odrzwiowej.

Wykorzystując doświadczenia praktyczne zdobyte w kopalniach węgla kamiennego przedstawiono warunki utrzymania stateczności wyrobisk zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi oraz wskazano główne zagrożenia, jakie mogą wystąpić w trakcie drażenia i utrzymywania wyrobisk przygotowawczych. Główne zagrożenia występujące w wyrobiskach zlokalizowanych w górotworze naruszonym to:

- zagrożenie zawaleniem spowodowane niedostatecznym zabezpieczeniem stropu,
- możliwość wystąpienia zwiększonych obciążeń obudowy spowodowane zmianą warunków geologiczno-górnictwowych, takich jak np. stosunki wodne w górotworze, zmiany właściwości górotworu, zmiana warunków górniczych itp.
- zagrożenia wodne,
- zagrożenie gazowe,
- zagrożenie pożarowe itp.

**GEOMECHANICAL ASPECTS OF PREPARATORY HEADING STABILITY MAINTENANCE IN THICK SEAM EXPLOIT
CONDITIONS UNDERTAKING LAYERS**

Key words

Mining engineering, development excavations, stability

Abstract

Thick seam exploit undertaking layers can be conducted from downwards, upwards or in a mixed method, and the after-exploit emptiness can be eliminated through the usage of stowing or caving of the roof. In every situation the preparatory heading in the next layer will be localised in a direct neighbourhood of goveas. This evaluation of the heading stability in these conditions has to undertake basic features such as: decompression and degradation of the massive.

On the basis of measurements and observations in mines, examples of preparatory headings localised directly under the caved goveas. The presented examples undertake also the influence of active exploit front and tectonic disturbance.

In the conditions of decompressed rock strata, insignificant convergence values of preparatory headings, a gentle increase of heading grip and a small active front influence range are observed. Observations have also shown that mining the higher layers with the caving caused such a big decompression that it is difficult to separate fault influence areas in the rock strata.

To choose a heading support, basic calculation models of location of the analysed heading and goveas, were defined. Basic rules of heading support choice undertaking rock massive decompression, were presented. The decompression level directly under caved goveas is defined by equations of Kandaurov. The support load is defined with the assumption that the making of the heading causes the occurrence of an ellipse shaped, broken up rock area. Steel arch yielding support load capacity is defined using the method based on inner forces distribution and value analysis in the support, undertaking two criteria: shape stamina and arch support connections load capacity.

Using the practical experience in collieries, conditions of heading stability maintenance localised directly under the caved goveas and main dangers, which can occur during drilling and maintaining preparatory heading stability, were shown. The main dangers occurring in headings localised in unbalanced rock strata are:

- the danger of caving caused by insufficient roof protection,
- the chance of greater support loads occurring, caused by a change of geological-mining conditions such as: water ratio in rock strata, change of rock strata properties, change of mining conditions etc.,
- water dangers,
- gas dangers,
- fire dangers etc.