ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 246 Nr kol. 1480

Stanisław DZIERŻĘGA
OUG, Rybnik
Piotr GŁUCH
Politechnika Śląska, Gliwice

OCENA STOPNIA BEZPIECZEŃSTWA WYROBISKA WYKONANEGO W OBUDOWIE KOTWIOWEJ

Streszczenie. Ocenę stopnia bezpieczeństwa wyrobiska korytarzowego wykonanego w obudowie kotwiowej najkorzystniej jest prowadzić za pomocą rutynowego wizualnego pomiaru rozwarstwienia skał stropowych. W celu prowadzenia bardziej prawidłowej oceny pracy skotwionego stropu zaprojektowano system trzypoziomowego pomiaru rozwarstwień skał stropowych, który w zależności od warunków geologiczno–górniczych może być stosowany jako system z dodatkowym pomiarem rozwarstwienia stropu bezpośredniego lub z dodatkowym pomiarem rozwarstwienia strefy stabilnej przykotwienia kotwi na poziomie l_k–0,3 m do l_k + 0,3 m. Przy pomiarach należy stosować właściwe zagęszczenie punktów pomiarowych rozwarstwień oraz ich analizę w czasie w zakresie badania przyrostów i oceny ich trendów.

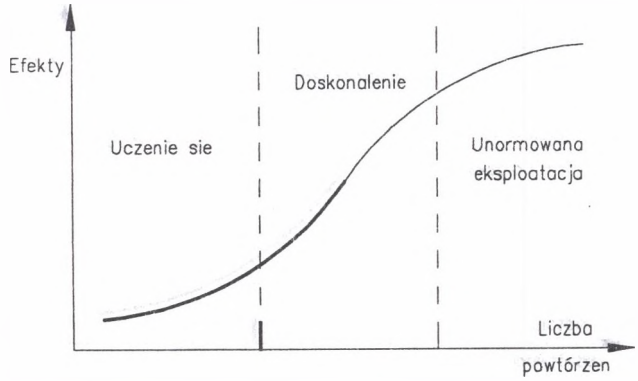
SAFETY FACTOR OF A WORKING WITH ROOF BOLTING

Summary. An estimation of the safety factor of narrow working with roof bolting can be done by routine visual measurement of the roof stratification. For a proper estimation of the bolted roof behavior a three-level measuring system of the stratificated roof rock has been designed. Depending on the geological and mining conditions this system can be used for additional measurement of stratification in the direct roof or for additional measurement of stratification of the stable zone of anchoring at level l_k – 0,3 m to l_k + 0,3 m. By measuring a proper concentration of measuring points and their periodical analysis regarding the tested increments and estimation of trends will be used.

1. Wstęp

Ocena stopnia bezpieczeństwa wyrobiska wykonanego w obudowie kotwiowej jest jednym z podstawowych wymogów stawianych stosowaniu obudowy kotwiowej w kopalniach węgla kamiennego. Zabudowane do skał kotwie są od strony wyrobiska widoczne jedynie w niewielkim zakresie, tj. widoczne są końce kotwi, nakrętki, podkładki, blachy profilowane, siatki zgrzewane. O ile przy stosowaniu obudowy podporowej odrzwiowej o stopniu bezpieczeństwa wyrobiska ze względu na jego stateczność można wnioskować na podstawie zachowania się i stopnia deformacji obudowy podporowej, o tyle przy obudowie kotwiowej główna ocena bezpieczeństwa wyrobiska musi być analizowana na podstawie zachowania się skał wokół wyrobiska.

Stosowanie obudowy kotwiowej w warunkach polskiego górnictwa węglowego w stosunku do obudowy podporowej należy traktować jako nowe przedsięwzięcie, które musi przejść przez trzy podstawowe fazy, tj. uczenie się, doskonalenie i unormowaną eksploatację. Do graficznej ilustracji tego zjawiska wykorzystuje się literę S.



Rys.1. Fazy wdrożenia nowego przedsięwzięcia
Fig. 1. Stages of practical application

Realizacja obudowy kotwiowej to proces złożony, i jak każde przedsięwzięcie, wymaga odpowiedniego przygotowania, zatwierdzenia, dopuszczenia i co jest najistotniejsze, trwa w ograniczonym czasie i w ramach jednej kopalni jest niepowtarzalne w konwencjonalnie przyjętym przedziale czasu.

Należy mieć świadomość istniejących barier, szczególnie psychicznych, które często są wzmocnione niepowodzeniami notowanymi w stosowaniu kotwienia. Bariery psychiczne skutecznie przełamują **dobre przykłady - bezpieczne i efektywne wdrożenia** i z tego punktu widzenia zapewnienie warunków bezpiecznego wykonania obudowy kotwiowej jest niezbędne. Za równie ważne należy uznać posiadanie właściwej wiedzy uzyskanej drogą szkolenia teoretycznego i praktycznego prowadzonego dla dozoru, jak i górników wykonujących roboty, po to, aby wdrożenie skończyło się sukcesem technicznym. Przy wykonywaniu kotwienia istnieje konieczność zatrudnienia specjalistycznych zespołów roboczych lub niezależnych przedsiębiorstw z następujących przyczyn:

- konieczność zapewnienia wysokiej jakości robót przy wysokim bezpieczeństwie,
- konieczność posiadania przez wykonawcę dużego doświadczenia praktycznego,
- możliwość zastosowania wysoko wydajnego sprzętu do kotwienia,
- koncentracji sprzętu, bazy materiałowej i warsztatowej,
- możliwość uzyskania wysokich postępów drążenia w obudowach kotwiowych.

2. Problematyka bezpieczeństwa przy upowszechnianiu samodzielnej i wspomaganej kotwiami obudowy podporowej w kopalniach

Kotwienie skał stosowane jako samodzielna obudowa wyrobisk lub jako wzmocnienie obudowy innego typu musi spełniać wszystkie wymagania stawiane obudowie górniczej z punktu widzenia praw mechaniki górotworu i zasad bezpieczeństwa pracy. Należy zaznaczyć, że kotwienie każdorazowo musi być projektowane niezależnie, z uwzględnieniem rzeczywistych uwarunkowań geologiczno-górniczych. Istotną rolę odgrywa uwzględnienie rzeczywistych uwarunkowań geologicznych. Minimalizacja zagrożeń na etapie rozpowszechniania i stosowania obudowy kotwiowej wymaga realizacji działań technicznych i organizacyjnych obejmujących dwa zintegrowane obszary problemowe:

1. Obszar obejmujący działania mające na celu eliminowanie zagrożeń w fazie doboru obudowy kotwiowej do warunków występujących w danej kopalni.
2. Obszar obejmujący działania mające na celu przewidywanie i eliminowanie zagrożeń w fazie wykonawstwa i ruchowego nadzoru współpracy obudowy kotwiowej z górotworem.

Główne działania mające na celu wyeliminowanie zagrożeń w fazie projektowania obudowy kotwiowej to:

- przebadanie wytrzymałości skał stropowych w otoczeniu projektowanego wyrobiska w obudowie kotwiowej,
- przebadanie szczelinowatości stropu zasadniczego i bezpośredniego oraz skał otaczających projektowane wyrobisko,
- przebadanie stopnia naturalnego spękania skał (np. metodą pomiaru długości odcinków rdzenia wiertniczego - wskaźnik RQD),
- określenie skłonności kotwionych skał do pełzania (odkształcenia z upływem czasu pod wpływem stałego naprężenia),
- określenie wpływu zawilgocenia i wody na wytrzymałości różnych typów skał (warstw),
- określenie odporności systemu obudowy kotwiowej na spodziewane wstrząsy górnicze (wielkość energii, lokalizacji i spodziewany okres wystąpienia wstrząsów),
- określenie typowych przebiegów konwergencji,
- szczegółowe obliczanie stanu naprężenia i stopnia wytężenia skał otaczających kotwione wyrobiska (np. w technice komputerowej),
- dublowanie przy projektowaniu pełnej nośności obudowy kotwiowej w pierwszej fazie stosowania przez obudowę podporową (przynajmniej w pierwszym etapie rozpowszechniania),
- spełnianie odpowiednich wymagań jakościowych przez materiały i elementy stosowane do kotwienia,
- uzyskanie dla wszystkich materiałów i elementów stosowanych w technologii kotwienia odpowiednich dopuszczeń do stosowania w wyrobiskach górniczych (badania atestacyjne – cecha dopuszczenia górniczego nadana przez Prezesa WUG),
- wyszkolenie specjalistów technologów kotwienia obejmujących kadrę inżynierską, kadrę wykonawczą oraz kadrę inspekcyjno-kontrolną.

Podstawowe kierunki działalności służącej wyeliminowaniu zagrożeń w fazie wykonawstwa i nadzoru ruchowego to:

- maksymalizacja stopnia bezpieczeństwa we wszystkich przypadkach, zwłaszcza gdy przy wykonawstwie obudowy kotwiowej występują wielkości lokalnie zmienne; należy

przyjmować najmniej korzystne wartości wskaźników osłabienia wytrzymałości skał, a także uwzględniać sumaryczne naprężenia efektywne (także dynamiczne),

- wzajemne powiązanie elementów obudowy kotwiowej w spójną całość, eliminującą możliwość wystąpienia zawału, a nawet lokalnego opadu stropu,
- zapewnienie pełnej nośności obudowy kotwiowej, przez obudowę podporową dla przypadku współdziałania obudowy kotwiowej z podporową (ze względu na odmienny tryb pracy tych obudów - jedna aktywna, druga pasywna),
- kontrola prawidłowego i zgodnego z projektem wykonania obudowy kotwiowej. Powinna ona obejmować między innymi: sprawdzenie długości, typu, rozmieszczenia, odstępów i nachylenia kotwi, sprawdzenie wklejenia kotwi na całej długości, sprawdzenie mocowania okładzin i siatek, sprawdzenie, czy wiercenie odbywa się z miejsca pod zabudowanym stropem,
- kontrola używania ochron osobistych przy stosowaniu żywicznych ładunków klejowych (rękawice ochronne, ochrona oczu, technika wprowadzania ładunków do otworów itp.),
- kontrola nośności kotwi na wyrywanie (wyrywanie losowo wybranych kotwi z otworu),
- kontrola rozwarstwienia stropu, polegająca na pomiarze względnych, pionowych ruchów skotwionych skał stropowych w stosunku do wylotu otworu,
- opracowanie systemu zdalnego monitorowania obudowy kotwiowej współpracującego z systemem informacyjnym z wykorzystaniem np. kotwi oprzyrządowanych.

Bezpieczne i niezawodne działanie obudów kotwiowych zawsze jednak będzie uzależnione od jakości materiałów i elementów stosowanych do kotwienia, od naukowego i praktycznego rozpoznania otoczenia skalnego oraz od poczucia odpowiedzialności człowieka podejmującego decyzje wykonawcze.

3. Objawy utraty stateczności wyrobiska w obudowie kotwiowej

Przy wykonawstwie obudowy kotwiowej w wyrobiskach górniczych mogą zostać popełnione błędy, które spowodują nieprawidłową pracę obudowy.

Do podstawowych błędów można zaliczyć:

- wykonanie otworów o większej długości w stosunku do długości nagwintowanej części żerdzi,

- wykonanie zbyt dużej średnicy otworu w stosunku do średnicy stosowanej kotwi,
- nadanie złego kierunku otworowi, niezgodnego z projektem,
- zastosowanie niewłaściwych materiałów nie atestowanych lub nie sprawdzonych albo od różnych dostawców tak, że układ kotwienia nie stanowi jednolitego systemu,
- niewłaściwe wymieszanie kleju w otworach i niezapewnienie sklejania kotwi na całej jej długości,
- zastosowanie siatek okładzinowych lub okładzin z blach stalowych o niewłaściwych parametrach wytrzymałościowych i odkształceniowych lub nieodpornych na korozję przy dłuższym stosowaniu obudowy,
- niewłaściwe przyleganie podkładek kotwiowych do okładzin siatkowych między sobą itp.,
- brak przylegania siatek, okładzin do skały w miejscach podkładek stalowych.

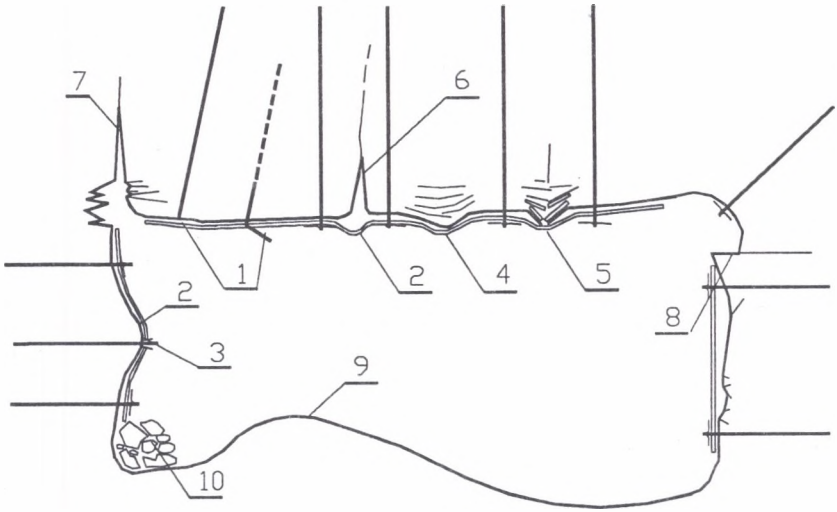
Objawy zwiększonej deformacji obudowy kotwiowej występują zwłaszcza gdy zostają zakłócone warunki równowagi górotwór – obudowa. Objawy te są obserwowane zarówno na obudowie kotwiowej jak i na konturze wyrobiska.

Do objawów zwiększonej deformacji występujących na obudowie należą (rys.2):

- ścięta końcówka kotwi z podkładką i nakrętką (1),
- silnie miejscowo wygięta i zdeformowana okładzina lub siatka okładzinowa (2),
- nakrętka i podkładka przeciśnięta przez pęczniejącą skałę (3) ,
- wygięcie nieckowe skał między końcami kotwi (4).

Do uszkodzeń górotworu, które obserwuje się na obwodzie wyrobiska, można zaliczyć (rys.2):

- spękania miejscowe z silnym kruszeniem warstw (5),
- pęknięcia podłużne i przemieszczenia warstw (6),
- pęknięcia w narożach z kruszeniem skały (7),
- przesunięcia na ociosach przez poziome ścinanie warstw (8),
- wyciskanie spągu (9),
- pękanie, kruszenie i obsypywanie się skał ociosowych(10).



Rys.2. Przykład deformacji wyrobiska w obudowie kotwiowej
Fig. 2. Example of working deformation (roof bolting)

4. Rutynowy pomiar rozwarstwień w celu oceny stopnia bezpieczeństwa obudowy kotwiowej

Rutynowy pomiar rozwarstwień skał stropowych na bieżąco dokonywany przez załogę przebywającą w wyrobisku górniczym, stanowi podstawową ocenę stateczności wyrobiska w obudowie kotwiowej.

Przepisy górnicze dotyczące obudowy kotwiowej [1] wymagają stosowania do bieżącej kontroli pomiarów:

- **rozwarstwienia niskiego**, w odstępach nie większych niż 50 m na długość l_k+0,3 m przy dopuszczalnej wartości rozwarstwienia 2% ·l_k, gdzie l_k – długość pakietu skotwionych skał. Przykładowo przy długości zakotwienia stropu l_k = 2,4 m, rozwarstwienia niskie mierzone na odcinku l_k+0,3 m wynosi r_n = 0,02·2400 = 48 mm. Względne odkształcenie pakietu skał na długości pomiarowej wynosi:

$$\varepsilon_n = r_n / (l_k+300)\cdot 100 = 48/(2400+300)\cdot 100\% = 1{,}78\%,$$

- **rozwarstwienie wysokie** jest mierzone na odcinku 2l_k+0,3 m, lecz nie mniejszym od 4,5 m w rozstawie nie większym niż 100 m przy dopuszczalnej wartości rozwarstwienia r_w=1,5%·S

(szerokość wyrobiska). Przykładowo przy szerokości wyrobiska 6 m wartość rozwarstwienia wysokiego wynosi: r_w=0,015·6000 = 90 mm.

W praktyce do pomiaru wartości rozwarstwień stosuje się rozwiązania polegające na wykonaniu dwóch niezależnych otworów (do pomiaru każdego rozwarstwienia oddzielnie) lub za pomocą rozwarstwieniomierzy dwupoziomowych teleskopowych Tell – Tale wg rozwiązania australijskiego stosowanego również powszechnie w Anglii. Pomiar rozwarstwień skał stropowych za pomocą systemu pomiarów na dwóch poziomach (tj. niskim i wysokim) nie daje pełnej możliwości przeprowadzenia analizy wielkości rozwarstwień w celu oceny stateczności wyrobiska.

Zasadnicze mankamenty istniejącego systemu pomiaru rozwarstwień to:

- zbyt duża dopuszczalna odległość między rozwarstwieniomierzami (co 50 m i 100 m),
- pomiar rozwarstwień wysokich nad strefą zakotwienia w rozstawie do 100 m nie daje pełnego obrazu rozwarstwienia wysokiego na pośrednich punktach, gdy odczytuje się na nich jedynie rozwarstwienia niskie,
- zamocowanie punktów pomiarowych nad horyzontem kotwienia plus 0,3 m nie daje możliwości oceny położenia strefy rozwarstwionej na skotwionym horyzoncie skalnym,
- określenie wielkości dopuszczalnego rozwarstwienia wysokiego w stosunku do szerokości wyrobiska mogą dopuszczać do znacznych rozwarstwień skały nad skotwionym stropem [2].

Wymienione mankamenty w praktyce ogranicza się przez:

- obniżenie poziomów wartości rozwarstwień dopuszczalnych do wartości 50% wielkości określonej rozporządzeniem [1], tj. r_n=1% ·l_k , r_w=0,75% ·S,
- rozmieszczenia punktów do pomiaru rozwarstwienia w rozstawach co 20 m z zagęszczeniem w rejonach zaburzeń, skrzyżowań wyrobisk, występowania dodatkowej koncentracji naprężeń ,
- pomiar rozwarstwienia wysokiego i niskiego w każdym punkcie pomiarowym.

Podejście takie zwiększa bezpieczeństwo,jak również obniża koszty utrzymania wyrobiska w przypadku konieczności jego wzmocnienia jedynie w wymaganych rejonach które,dokładniej można określić przy rozstawie rozwarstwieniomierzy co 20 m.

5. Trójpoziomowy pomiar rozwarstwień skał stropowych w celu oceny bezpieczeństwa obudowy kotwiowej

Z punktu widzenia stref skalnych mających wpływ na stateczność wyrobiska wokół wyrobiska z wykonaną obudową kotwiową można wyróżnić (rys. 3):

1. Strefę skał skotwionych, którą określa się na odcinku o długości skotwionego stropu pomniejszonej o 0,3 m. W strefie tej praktycznie wielkość odkształcenia nie powinna przekraczać 2%, wielkość rozwarstwienia wynosi zatem:

$$r_k=2\%\cdot(l_k-0{,}3\ \mathrm{m})$$

$$\text{co przy } l_k=2{,}4\ \mathrm{m}$$

$$r_k=0{,}02\cdot(2{,}4-0{,}3)=0{,}042\ \mathrm{m}=42\ \mathrm{mm}$$

Praktycznie przy wystąpieniu w strefie skotwienia odkształceń o wielkości 2% należy stwierdzić, że strefa ta jest zniszczona i może ulec zawałowi do wyrobiska. Zawał takiej strefy do wyrobiska nastąpi wtedy, gdy zostanie zniszczona strefa stabilna, do której są przykotwione końce kotwi. Jeżeli strefa stabilna nie będzie zniszczona, to cały układ może być stateczny w zakresie możliwego wydłużenia się kotwi i wzajemnego zablokowania się skał.

2. Strefę zakotwienia, stanowiącą odcinek końca kotwi o długości 0,3 m ze strefą nad kotwiami o długości 0,3 m. Strefa ta decyduje o bezpiecznym utrzymaniu wyrobiska w obudowie kotwiowej. Na końcu kotwi przy źle zaprojektowanej ich długości występują naprężenia rozciągające, które przenoszone na górotwór powodują jego rozwarstwienia, co w efekcie po ścięciu pionowych płaszczyzn w rejonie naroży prowadzi do zawału stropu. Stosowany tzw. polski system kotwienia z odchyleniem kotwi stropowych w rejonie naroży o kąt 15° do 20° w stosunku do pionu nie gwarantuje przeniesienia ciężaru odspojonych skał stropowych. Przy uwzględnieniu dynamiki obciążenia daje on wartości siły ścinającej działającej w pionowym przekroju na ociosie:

$T=(S\cdot l_k\cdot\gamma_{sr}\cdot s_d)/2$; co średnio dla $S=4{,}5$ m, $l_k=2{,}4$ m, $\gamma_{sr}=25$ kN/m^3, $s_d=2$ daje siłę:

$$T=(4{,}5\cdot 2{,}4\cdot 25\cdot 2)/2=270\ \mathrm{kN}.$$

Do przeniesienia tak wysokiej siły konieczne byłoby stosowanie kilku kotwi na 1 m wyrobiska. Projektowanie obudowy kotwiowej przez podwieszenie strefy odprężonej do strefy stabilnej górotworu (wymóg stawiany przez załącznik nr 3 [1]) jest jednoznaczne z przyjęciem, że w strefie tej skała nie może być rozwarstwiona, a zatem wartość odkształceń nie powinna przekroczyć:

$$\varepsilon_{at} \leq \varepsilon_{gr}$$

gdzie: – ε_{at} – odkształcenia na wysokości strefy przykotwienia,

– ε_{gr} – graniczne odkształcenie skały na poziomie strefy przykotwienia.

Wielkość rozwarstwienia dla tej strefy przy przyjęciu jej szerokości 0,6 m, tj. 0,3 m nad poziomem końca kotwi i 0,3 m pod poziomem kotwi, określa wzór:

$$r_s = \varepsilon_{gr} \cdot 0{,}6 \text{ m}$$

Przyjmując dla skał średnią wartość ε_{gr}=0,7%, wartość rozwarstwienia:

$$r_s = 0{,}007 \cdot 600 \text{ mm} = 4{,}2 \text{ mm}$$

A zatem rozwarstwienia strefy zakotwionej muszą być szczególnie małe, aby strefa ta mogła być traktowana jako strefa stabilna.

3. Strefę nad poziomem kotwi o wysokości równej długości kotwi liczona od poziomu horyzontu kotwienia + 0,3 m do wartości $2 \cdot l_k$+0,3 m. W strefie tej, gdzie występuje już trójosiowy stan naprężenia, odkształcenia graniczne przyjmuje się na poziomie:

$$\varepsilon_{wk} = 1{,}5 \cdot \varepsilon_{gr}$$

gdzie: ε_{gr} – graniczne odkształcenie skały badanej na jednoosiowe ściskanie średnio ε_{gr}=0,7%,

Wartość odkształceń strefy nad poziomem kotwienia wynosi

$$\varepsilon_{wk} = 1{,}5 \cdot 0{,}7 \approx 1{,}05\%$$

Rozwarstwienie tej strefy może wynosić do

$$r_{wk} = \varepsilon_{wk} \cdot l_k = 1{,}05\% \cdot 2{,}4 \text{ m} = 25{,}4 \text{ mm}$$

4. Strefę stropu bezpośredniego, występującą umownie do grubości 1 m. Często w stropach pokładu zalegają słabe skały zbudowane z łupków ilastych skłonne do pęknięć i rozwarstwień. Występujące dla takich stropów wartości rozwarstwień nie są groźne, jeżeli nie dojdzie do wystąpienia wielkości rozwarstwienia powodującego zerwanie pręta. Przy założeniu, że w najgorszym przypadku rozwarstwienie ma przebieg w postaci jednej szczeliny, to należy przyjąć, że wartość tego rozwarstwienia nie powinna być większa od

$$r_b = A_5 \cdot 200/1{,}5$$

gdzie: A_5 – względne odkształcenia graniczne wyznaczone na długości równej 5-krotnej średnicy pręta,

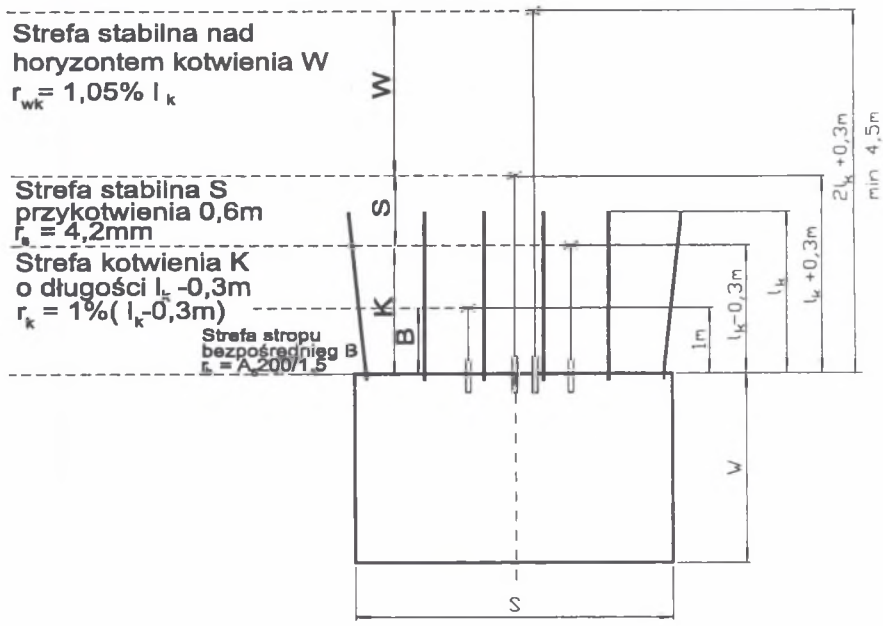
200 – odcinek w mm długości pręta, który jest rozciągany,

1,5 – współczynnik bezpieczeństwa.

Przykładowo dla A_5=22% r_b=0,22·200/1,5=29,3 mm

Odkształcenie względne na długości 1m stropu bezpośredniego będzie wynosiło:

$$\varepsilon_b = \frac{r_b}{1000} \cdot 100\% = \frac{29,3}{1000} \cdot 100\% = 2,93\%$$



Rys. 3. Strefy skalne w wokół wyrobiska w obudowie kotwiowej dla oceny jego stateczności
Fig. 3. Rock zones around the working (roof bolting) for stability estimation

Pomiar rozwarstwień bezpośrednich na wysokości 1m bardzo często może pozwolić uniknąć niepotrzebnego wzmacniania wyrobiska w obudowie kotwiowej przy pojawieniu się rozwarstwień, a tym samym znacznie obniżyć koszty. Przykładowo przy drążeniu przecinki ścianowej [1] po wystąpieniu rozwarstwień niskich na poziomie 22 mm, a wysokich na 32 mm, podjęto decyzję wzmocnienia przecinki podciągiem podłużnym. Dopiero przeprowadzenie pomiarów rozwarstwień na trzech poziomach z pomiarem rozwarstwienia w stropie bezpośrednim pozwoliło stwierdzić, że główne rozwarstwienia występują w słabym łupku utrzymywanym w celu zapewnienia wymaganej wysokości wyrobiska.

Ostatecznie przy trójpoziomowym pomiarze rozwarstwień stropu korzystnie jest wyróżnić następujące strefy:

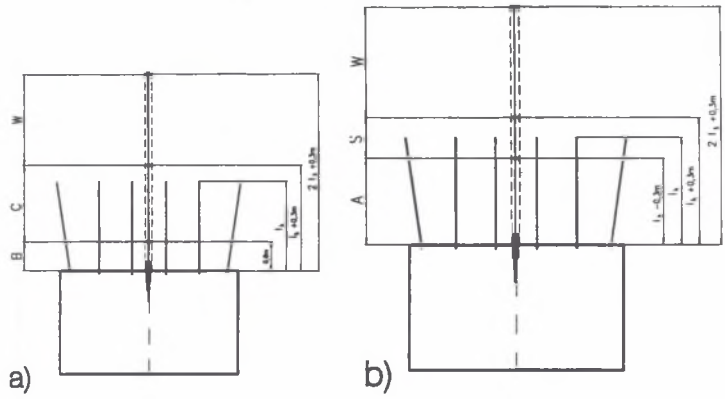
- **strefa stabilna nad horyzontem kotwienia (W) w odległości l_k+0,3 do 2l_k+0,3, o wysokości l_k i rozwarstwieniu dopuszczalnym r_{wk}=1,05%·l_k,**
- **strefa stabilna (S) przykotwienia o wysokości 0,6 m na odcinku od l_k - 0,3 do l_k+0,3, o wartości rozwarstwienia r_s=4,2 mm,**
- **strefa kotwienia (K) o długości l_k - 0,3 o wartości rozwarstwienia r_k=2%(l_k-0,3),**
- **strefa stropu bezpośredniego (B) o wysokości do 1 m stropu o dopuszczalnym rozwarstwieniu r_b=A_5·200/1,5.**

Przekroczenie wartości podanych rozwarstwień w poszczególnych strefach oznacza, że istnieje konieczność podjęcia działań mających na celu wzmocnienie skał wokół wyrobiska w celu zwiększenia jego stateczności.

Wyróżnienie czterech stref do prowadzenia obserwacji przy założeniu wykonywania pomiarów wskaźnikiem trójpoziomowym wymaga przemiennej zabudowy wskaźników przez:

- rozwarstwienia z pomiarem rozwarstwienia stropu bezpośredniego,
- rozwarstwienia z pomiarem rozwarstwienia w strefie stabilnej na horyzoncie kotwienia.

Ogólne schematy pomiaru rozwarstwień stropu na trzech poziomach przedstawia rys.4. W praktyce istnieje konieczność zabudowy na długości wyrobiska rozwarstwieniomierzy trzypoziomowych w rozstawie max co 20 m w układzie z pomiarem rozwarstwień stropu bezpośredniego i z pomiarem rozwarstwień strefy stabilnej nad kotwiami. Należy zaznaczyć, że każdorazowo należy indywidualnie rozpatrzyć poziomy założenia rozwarstwieniomierzy w stropie wyrobiska na jego długości. Przy wykorzystaniu programu komputerowego istnieje możliwość analizy wartości rozwarstwień w czasie i dokonywania na bieżąco analizy stopnia bezpieczeństwa wyrobiska wykonanego w obudowie kotwiowej.



Rys.4. System pomiaru rozwarstwień skał stropowych rozwarstwieniomierzem trójpoziomowym
a – sposób z pomiarem rozwarstwienia stropu bezpośredniego,
b - sposób z pomiarem rozwarstwienia strefy stabilnej przykotwienia
Fig. 4. Measuring system on the roof stratification with a three – level stratification measuring device
a – stratification measuring of direct roof,
b – stratification measuring in the stable anchored zone

6. Wnioski końcowe

1. Ocenę stopnia bezpieczeństwa wyrobiska korytarzowego wykonanego w obudowie kotwiowej najkorzystniej jest prowadzić za pomocą rutynowego wizualnego pomiaru rozwarstwienia skał stropowych. Pomiary rozwarstwień powinny dać możliwość:
   - oceny stopnia bezpiecznego utrzymania stropu wyrobiska,
   - wykorzystania możliwości odkształceniowych skotwionego stropu wyrobiska.
2. Na podstawie doświadczeń w zakresie zachowania się skotwionego stropu wyrobiska w celu dokonania bardziej prawidłowej oceny jego pracy zaprojektowano system trzypoziomowy pomiaru rozwarstwień skał stropowych, który w zależności od warunków geologiczno–górniczych może być stosowany jako system z dodatkowym pomiarem rozwarstwienia stropu bezpośredniego lub z dodatkowym pomiarem rozwarstwienia strefy stabilnej przykotwienia kotwi na poziomie l_k – 0,3 m do l_k + 0,3 m.
3. Aby prawidłowo ocenić stopień bezpieczeństwa wyrobiska, należy zastosować właściwe zagęszczenie punktów pomiarowych rozwarstwień oraz ich analizę w czasie w zakresie

badania przyrostów i oceny ich trendów. Właściwe rozwiązanie stanowi oprogramowanie komputerowe pozwalające na długości wyrobiska dokonywać analizy rozwarstwień stropu.

4. Szersze stosowanie obudowy kotwiowej wymaga w celu oceny stopnia bezpieczeństwa stropu wyrobiska, prowadzenia szerokich badań monitoringowych [6], pozwalających w pełni zinterpretować zachowanie się obudowy.

LITERATURA

1. Zasady projektowania, wykonywania oraz kontroli obudowy kotwiowej w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Załącznik nr 3 do rozporządzenia Ministra Przemysłu i Handlu, 1995.
2. Głuch P.: Problemy projektowania obudowy kotwiowej w kopalniach węgla kamiennego Projektowanie „Cuprum" Czasopismo Naukowo–Techniczne Górnictwa Rud, nr 8, 1998.
3. Podgórski W., Podgórski K.: Obudowa kotwiowa wyrobisk górniczych. Katowice, 1969.
4. Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. Wydawnictwo „Śląsk", Katowice 1982.
5. Kłeczek Z. : Geotechnika górnicza, ŚWT, Katowice, 1994.
6. Polok J., Głąb L., Głuch P.: Monitoring - gwarancja bezpieczeństwa i rozwoju obudowy kotwowej. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie WUG, nr 11, 1996.

Recenzent Prof. dr hab. inż. Andrzej Zorychta

Abstract

An estimation of the safety factor of narrow working with roof bolting can by done by routine visual measurement of the roof stratification.

The measurements of stratification enable

- the estimation of the safety factor of roof maintenance,
- the use deformational possibilities of arched roof.

On the base of arched roof behaviour experiments and for more proper estimation of an arched roof a three – level roof stratification measuring system has been designed. Depending on the geological and mining conditions this system can by used for additional measurement of stratification of the stable zone of anchoring at level $l_k - 0,3$ m to $l_k + 0,3$ m.

To achieve a right estimation of the working safety factor a proper density of the stratification measuring points along with the periodical analysis regarding the tested increments and the estimation of trends will by used. The right solution is the software which enables the analysis of roof stratification along the working. Wider application of roof bolding needs for the roof factor estimation additional monitoring research (6) that make the interpretation of the support's behaviour possible.