



Stanisław DUŻY<sup>1</sup>, Piotr GŁUCH<sup>2</sup>, Grzegorz MICHALIK<sup>3</sup>, Adam RATAJCZAK<sup>3</sup>

## Skuteczność kotwienia dla ochrony skrzyżowania ściana–chodnik w świetle doświadczeń KWK Knurów–Szczygłowice

Streszczenie: Skuteczna ochrona (wzmocnienie obudowy) skrzyżowania ściana–chodnik zapewnia ciągłość cyklu produkcyjnego, a mianowicie szybkie przesunięcie przenośnika ścianowego do czoła ściany. Stosowanie niskiego bądź wysokiego kotwienia jako elementu wzmacniającego obudowę podporową skrzyżowania ściana–chodnik, pozwala na wyeliminowanie tradycyjnych sposobów utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik, a tym samym pozwala na efektywne wykorzystanie wysokiej wydajności nowoczesnych kompleksów ścianowych. W artykule przedstawiono długoletnie doświadczenia dołowe kopalni Knurów–Szczygłowice w zakresie stosowania, dla skutecznego utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik, obudowy przykotwionej do górotworu przy pomocy dwóch par kotwi, wykazując pełną przydatność techniczną i ekonomiczną takiego sposobu wzmocnienia obudowy. W artykule zwrócono również uwagę na bezpieczeństwo pracy oraz na coraz powszechniejsze wykorzystanie badań endoskopowych przy określeniu zasięgu strefy spękań rzutujące bezpośrednio na właściwy dobór odpowiedniej liczby, nośności oraz długości stosowanych kotew. Przeprowadzone badania dołowe zasięgu strefy spękań i rozwarstwień stropu (endoskopowe i przy pomocy rozwarstwieniomierzy linkowych) przed frontem czynnej ściany, a także przeprowadzone badania laboratoryjne (stanowiskowe) pozwoliły określić współczynnik bezpieczeństwa utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik rzutujący bezpośrednio na konieczność zabudowy dodatkowego wzmocnienia. Wartość współczynnika bezpieczeństwa  $S_{bśc-ch}$  większa od 1 jest korzystna i bezpieczna, a wartość mniejsza lub równa 1 może prowadzić do znacznego pogorszenia warunków utrzymania skrzyżowania w obudowie podporowej przykotwionej.

Słowa kluczowe: obudowa kotwowa, strefa spękań, badania dołowe, bezpieczeństwo pracy

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Gliwice; e-mail: stanislaw.duz@polsl.pl

<sup>2</sup> PRO-KOM, Paniówki; e-mail: piotr-gluch@wp.pl

<sup>3</sup> JSW SA KWK Knurów–Szczygłowice, Knurów; e-mail: gmichalik@jsw.pl; aratajczak@jsw.pl

## Effectiveness of bolting for wall and heading crossings in light of the Knurów–Szczygłowice Coal Mine experience

Abstract: The efficient protection (support reinforcement) of a wall and heading crossing ensures continuity of the production cycle, and that is a quick moving of the scraper conveyor to the wall. Using low or high bolting as a support reinforcement element in wall and heading crossings allows for the elimination of traditional methods of maintaining longwall-gate crossings, and therefore allows for the efficient use high performance modern wall complexes. The paper presents the long underground experience, of the Knurów–Szczygłowice mine of efficient support wall and heading crossing maintenance, which was bolted to the rock mass with the usage of two pairs of bolts, showing full technical and economical usefulness of this support reinforcement method. The article also highlights work safety and the increasingly common usage of endoscopies when specifying the range of crack areas which directly effects the proper choice in number, load-capacity and length of the used bolts. The underground studies the measurements of the reach of the zones of fracturing and roof stratification (using endoscopes and wire type stratification meters) and the laboratory tests (using the test stand) have allowed to determine the safety factor for maintenance of the longwall gangway crossing, directly resulting in the necessity to install additional reinforcement. The value of the safety factor  $S_{psc-ch}$  greater than 1 is advantageous and safe, and the value less than or equal to 1 can lead to a significant deterioration of the conditions of maintenance of a wall and heading crossing which was bolted.

Keywords: roof bolting, fracture zone, underground measurements, work safety

## Wprowadzenie

Właściwy dobór wzmocnienia obudowy skrzyżowania ściana–chodnik przyścianowy jest gwarancją pełnego wykorzystania wysokowydajnych kompleksów ścianowych. Praktyka górnicza wykazuje, że stosowanie obudowy przykotwionej na skrzyżowaniu ściany z wyrobiskiem przyścianowym znacząco wpływa na komfort i bezpieczeństwo pracy w odniesieniu do tradycyjnej ochrony skrzyżowania ściana–chodnik (Nierobisz i Jeziorowski 2009). Ponadto stosowanie przykotwienia obudowy chodników przyścianowych przed frontem ściany w zróżnicowanych warunkach geologiczno-górnicych (występowanie zaszłości eksploatacyjnych, występowanie wstrząsów górotworu, głębokość eksploatacji poniżej głębokości 850 m), pozwala jednocześnie na zapewnienie gabarytów ruchowych przekroju poprzecznego wyrobiska dla zabudowanych w nich urządzeń odstawy oraz pociągów aparaturowych, a także zapewnia możliwość prowadzenia transportu kolejkami podwieszanymi.

Projektowanie obudowy odrzwiowej przykotwionej do górotworu wiąże się z określeniem zasięgu strefy spękań w stropie wyrobiska przyścianowego, a tym samym z określeniem długości, liczby oraz nośności zastosowanych kotew dla zapewnienia stateczności obudowy skrzyżowania ściana–chodnik. Pomocną metodą przy określaniu parametrów obudowy skrzyżowania ściana–chodnik jest zastosowanie badań endoskopowych, które umożliwiają obserwację propagacji rozwarstwień górotworu w otworach badawczych wraz ze zbliżającym się frontem ściany i weryfikację przyjętych założeń projektowych (Herezy 2012; Herezy 2015; Duży i in. 2017a; Walentek i Lubosik 2017). Uzupełnieniem badań endoskopowych są badania rozwarstwień warstw stropowych przy użyciu rozwarstwieniomierzy linkowych. Zastosowanie tego typu sprzętu umożliwia określenie sumarycznych rozwarstwień warstw stropowych na poszczególnych głębokościach (przedziałach) otworów badawczych, jak również charakteryzuje ruchy górotworu przed zbliżającym się frontem

ściany – zaciskanie i rozwieranie szczelin związane z wyciskaniem i wciąganiem wskaźników rozwarstwieniometry do górotworu (Dzierżęga i Głuch 2000; Dzierżęga i in. 2001; Herezy 2012, 2015; Lubosik i Walentek 2016; Małkowski i in. 2017; Walentek i Lubosik 2017).

Przeprowadzone badania dołowe pomiarów rozwarstwień stropu przy pomocy rozwarstwieniometry linkowych, a także przeprowadzone badania laboratoryjne (stanowiskowe) pozwalają określić współczynnik bezpieczeństwa utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik  $S_{bsc-ch}$  rzutujący bezpośrednio na konieczność zabudowy dodatkowego wzmocnienia (Duży i in. 2017a).

Powszechnie stosowane w polskim górnictwie węgla kamiennego kotwy strunowe wymagają zabudowy podciągów stalowych z otworami, przez które są instalowane w górotworze (Zimończyk i in. 2006). Stosowanie takiego sposobu ochrony skrzyżowania ściany z chodnikiem przyścianowym zapewnia zachowanie stateczności skrzyżowania, jednakże niesie za sobą spore nakłady pracy i trudności przy demontażu podciągów wraz z kotwami za frontem ściany w procesie likwidacji chodników przyścianowych (Głuch i Ratajczak 2013). Innym sposobem zapewnienia stateczności obudowy skrzyżowania ściana–chodnik w sprzyjających warunkach geotechnicznych (zasięg strefy spękań nie przekracza 2,5 m) jest stosowanie kotwi prętowych o długości 2,7–3,1 m, czego przykładem mogą być wieloletnie doświadczenia kopalni Knurów–Szczygłowice (Matuszewski i in. 2011; Duży i in. 2016). Stosowanie niskiego kotwienia zapewnia stateczność skrzyżowania ściana–chodnik (rys. 1), a jednocześnie znacznie ułatwia proces likwidacji chodnika za frontem ściany. Zagadnienie skuteczności kotwienia skrzyżowania ściana–chodnik przedstawiono na przykładzie badań przeprowadzonych w chodniku podścianowym 40b w pokładzie 357+358.



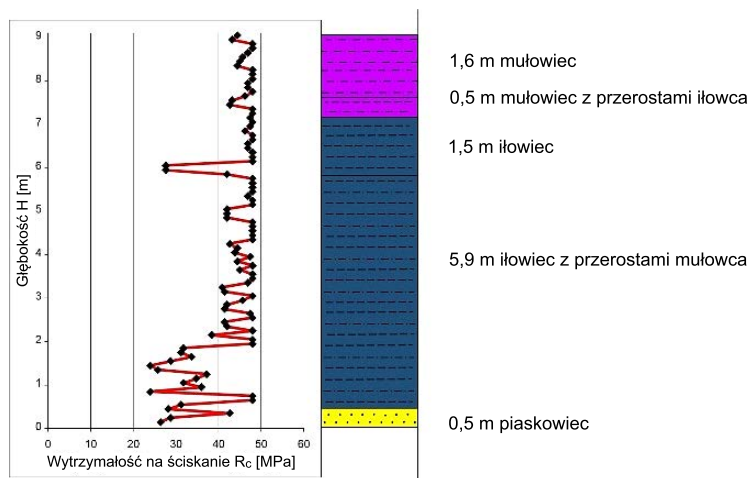
Rys. 1. Przykład ochrony skrzyżowania ściana–chodnik przy pomocy krótkiego kotwienia (Duży i in. 2017b)

Fig. 1. Example of a longwall-gate crossings protection with the use of short bolting

## 1. Warunki geologiczno-górniczne w rejonie chodnika 40b w pokładzie 357+358

Chodnik podścianowy 40b wykonano w pokładzie 357+358, którego miąższość wynosiła od 2,0 do 2,6 m. Nachylenie pokładu wahało się w granicach 12–18°. Chodnik został zlokalizowany na poziomie 850 m, a jego obudowę tworzyła obudowa ŁP10/V32/3/A ze stali 25G2 w rozstawie odrzwi od 0,75 do 1,0 m. O rozstawie odrzwi decydował wpływ krawędzi pokładu niżej leżącego 361 w odległości pionowej około 35 m.

W chodniku 40b w pokładzie 357+358 w trakcie jego drażenia wykonano badania wytrzymałości na ściskanie warstwach stropowych przy pomocy hydraulicznego penetrometru otworowego. Badania wykonano w następujących otworach badawczych:  $G_p-25/10$  (otwór o długości 9,0 m wykonany na 10 mb chodnika o średniej wytrzymałości na ściskanie  $R_{c\acute{s}r} = 43,01$  MPa),  $G_p-36/10$  (otwór o długości 10,0 m wykonany na 639 mb chodnika, gdzie  $R_{c\acute{s}r} = 40,47$  MPa) oraz otwór  $G_p-49/10$  (otwór o długości 6,5 m wykonany na 1563 mb chodnika, gdzie  $R_{c\acute{s}r} = 39,46$  MPa). Natomiast wytrzymałość na ściskanie skał stropowych na odcinku od wlotu otworu do 3 m przedstawiała się następująco: dla  $G_p-25/10$   $R_{c\acute{s}r} = 37,68$  MPa, dla  $G_p-36/10$   $R_{c\acute{s}r} = 40,16$  MPa, dla  $G_p-49/10$   $R_{c\acute{s}r} = 36,24$  MPa. Profile geologiczno-wytrzymałościowe dla poszczególnych otworów penetrometrycznych przedstawiono na rysunkach 2, 3 i 4.

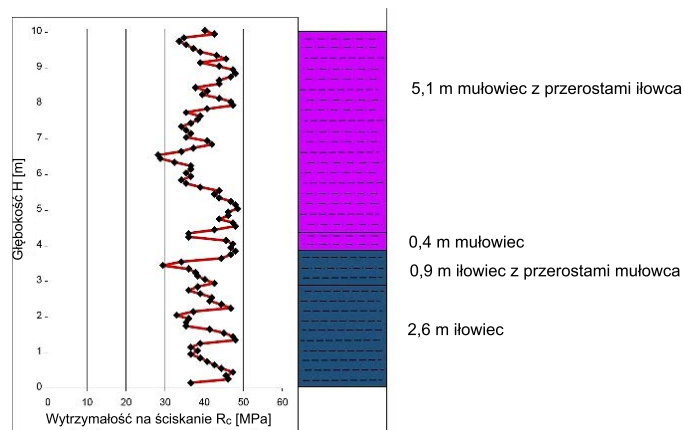


Rys. 2. Profil wytrzymałościowy i geologiczny górotworu wg otworu penetrometrycznego  $G_p-25/10$

Fig. 2. Geological and strength profile of rock mass according to hole  $G_p-25/10$

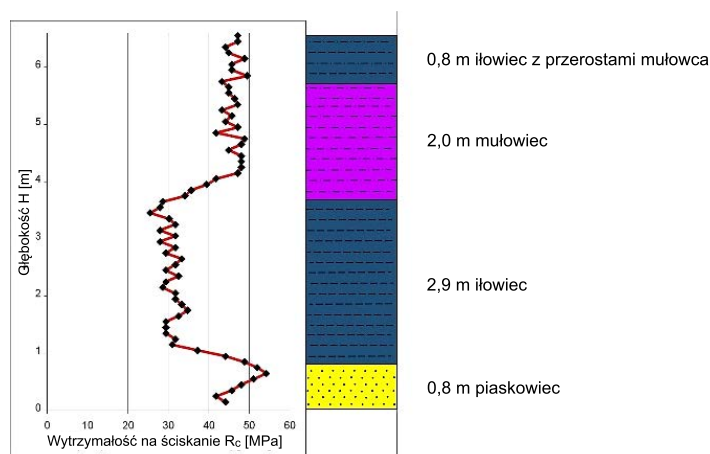
## 2. Wyznaczenie zasięgu strefy spękań

Pierwszy model analityczny dla określenia zasięgu strefy spękań przedstawił Protodikonow w 1908 roku (Salustowicz 1968). Wraz z rozwojem badań i poznaniem górotworu



Rys. 3. Profil wytrzymałościowy i geologiczny górotworu wg otworu penetrometrycznego G<sub>p</sub>-36/10

Fig. 3. Geological and strength profile of rock mass according to hole G<sub>p</sub>-36/10



Rys. 4. Profil wytrzymałościowy i geologiczny górotworu wg otworu penetrometrycznego G<sub>p</sub>-49/10

Fig. 4. Geological and strength profile of rock mass according to hole G<sub>p</sub>-49/10

powstawało wiele teorii odnoszących się do wyznaczenia zasięgu strefy spękań w stropie wyrobiska korytarzowego. Do najbardziej znanych należy tu zaliczyć teorię według Cymbariewicza, Sałustowicza, Bieniawskiego oraz Kłeczka.

W warunkach kopalni Knurów–Szczygłowice do określenia zasięgu strefy spękań przyjęto założenia modelu według prof. Kłeczka (Kłeczek 1994), który po uwzględnieniu wpływu zaszłości eksploatacyjnych, zaburzeń geologicznych oraz osłabienia skał stropowych wynikającego z czasu istnienia wyrobiska i budowy górotworu, przyjmował następującą postać:

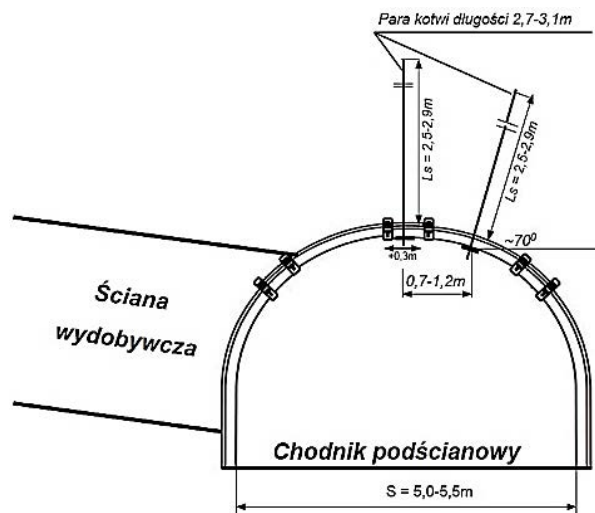
$$h_{sn} = \frac{S_w}{2} \sqrt{\frac{3 \cdot k_n \cdot \gamma_{sr} \cdot H}{k_o \cdot R_{cg\acute{s}r}} - \frac{S_w}{2}} \quad (1)$$

gdzie:

- $h_{sn}$  – zasięg strefy spękań [m],
- $S_w$  – szerokość wyrobiska w wyłomie [m],
- $H$  – głębokość zalegania wyrobiska [m],
- $R_{cg\acute{s}r}$  – średnia wytrzymałość na ściskanie skał stropowych na odcinku od 0 do 3 m [MPa],
- $\gamma_{sr}$  – średni ciężar objętościowy skał stropowych [MN/m<sup>3</sup>],
- $k_n$  – współczynnik koncentracji naprężeń,
- $k_o$  – współczynnik osłabienia skał stropowych uwzględniający podzielność skał, ich zawilgocenie oraz czas istnienia wyrobiska.

Wykorzystując wzór (1) określono zasięg strefy spękań w warunkach geologiczno-górnicznych dla chodnika 40b w pokładzie 357+358, który wyniósł odpowiednio 1,7 i 2,2 m (w rejonie wpływu krawędzi pokładu 361). Uzyskane na drodze obliczeń wielkości zasięgu strefy spękań w chodniku 40b w pokładzie 357+358 w pełni potwierdziły przeprowadzone badania endoskopowe.

Słuszność przyjętych założeń potwierdzają również wieloletnie doświadczenia kopalni Knurów–Szczygłowice w zakresie stosowania niskiego kotwienia dla ochrony skrzyżowania ściana–chodnik w układzie przedstawionym na rysunku 5 (Matuszewski i in. 2011; Duży i in. 2017b). Instalowanie w górotworze dwóch par kotew w kierunku nieurabianego ociosu chodnika przyścianowego w warunkach geologiczno-górnicznych KWK Knurów–Szczygło-



Rys. 5. Schemat przykotwienia obudowy odrzwiowej chodnika przyścianowego (Duży i in. 2017b)

Fig. 5. Schema of wall heading yielding support bolting

wice zapewniała stateczność chodnika przyścianowego w strefie wpływu czynnego frontu eksploatacyjnego oraz skrzyżowania ściana chodnik w prawie wszystkich przypadkach.

### 3. Badania dołowe

#### 3.1. Badania endoskopowe

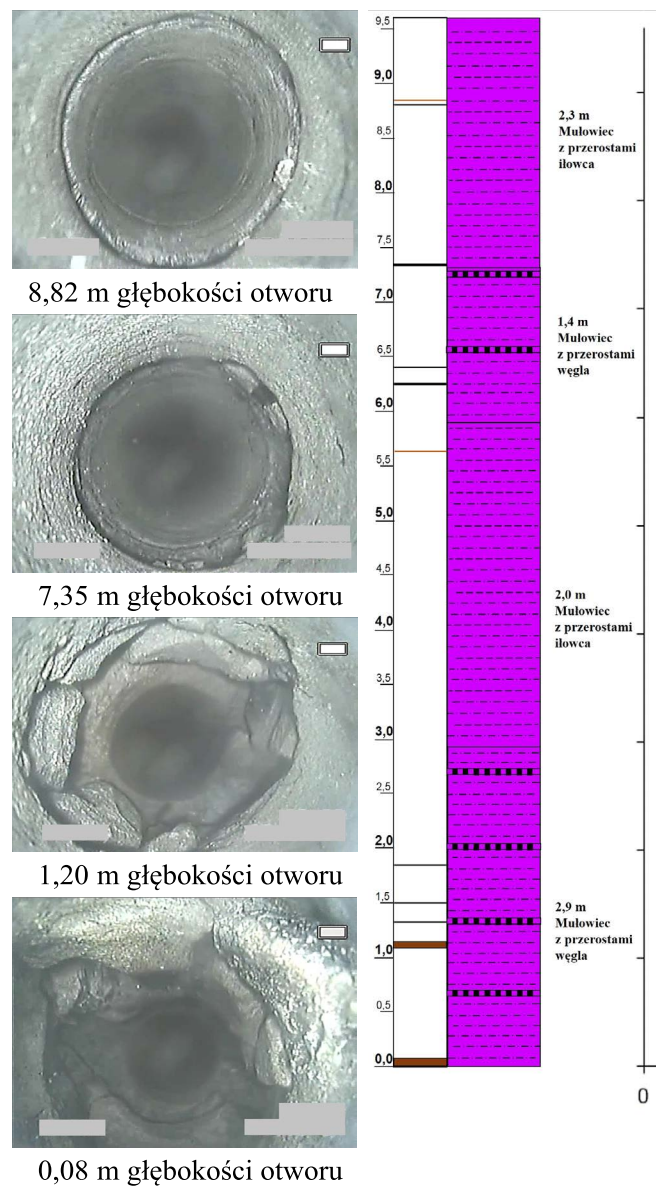
Badania endoskopowe przeprowadzono przy pomocy systemu inspekcyjnego VIS 350 (rys. 6) z obrotową-uchylną głowicą w zakresie  $360^{\circ}/180^{\circ}$  (Dyduch i Czempas 2015; Duży i in. 2017a).

Badania endoskopowe warstw stropowych w chodniku 40b w pokładzie 357+358 przeprowadzono w dwóch otworach badawczych wykonanych na 641 mb chodnika o długości 9,5 m i 10,0 m. Pierwszy otwór był otworem pionowym, wykonanym w osi wyrobiska, natomiast drugi otwór był otworem kierunkowym pod kątem  $45^{\circ}$  w kierunku ściany. Badania te wykonano w odległości 137, 46 i 7 m przed frontem czynnej ściany, obserwując powstałe nieciągłości górotworu w postaci szczelin i pęknięć. Przeprowadzone badania nie wykazały żadnych propagacji nieciągłości w otworach wraz ze zbliżającym się frontem ściany. Analiza badań endoskopowych wykazała powstanie 11 nieciągłości w otworze pionowym, co pozwoliło określić gęstość spękań  $\Gamma = 1,14$  1/m, odstęp spękań  $d = 0,87$  m oraz łączne rozwarstwienie  $S_I$  na poziomie około 147 mm. W otworze kierunkowym stwierdzono występowanie 15 nieciągłości o gęstości spękań  $\Gamma = 1,50$  1/m, odstęp spękań  $d = 0,67$  m oraz łącznym rozwarstwieniu  $S_I$  na poziomie około 682 mm, które wynikało najprawdopodobniej z techniki wiercenia (wiercenie pod znacznym kątem przez warstwy skalne). Rozkład nieciągłości na długości poszczególnych otworów przedstawiono na rysunku 7 i 8.



Rys. 6. System inspekcyjny VIS 350 (Duży i in. 2017a)

Fig. 6. VIS 350 inspection system



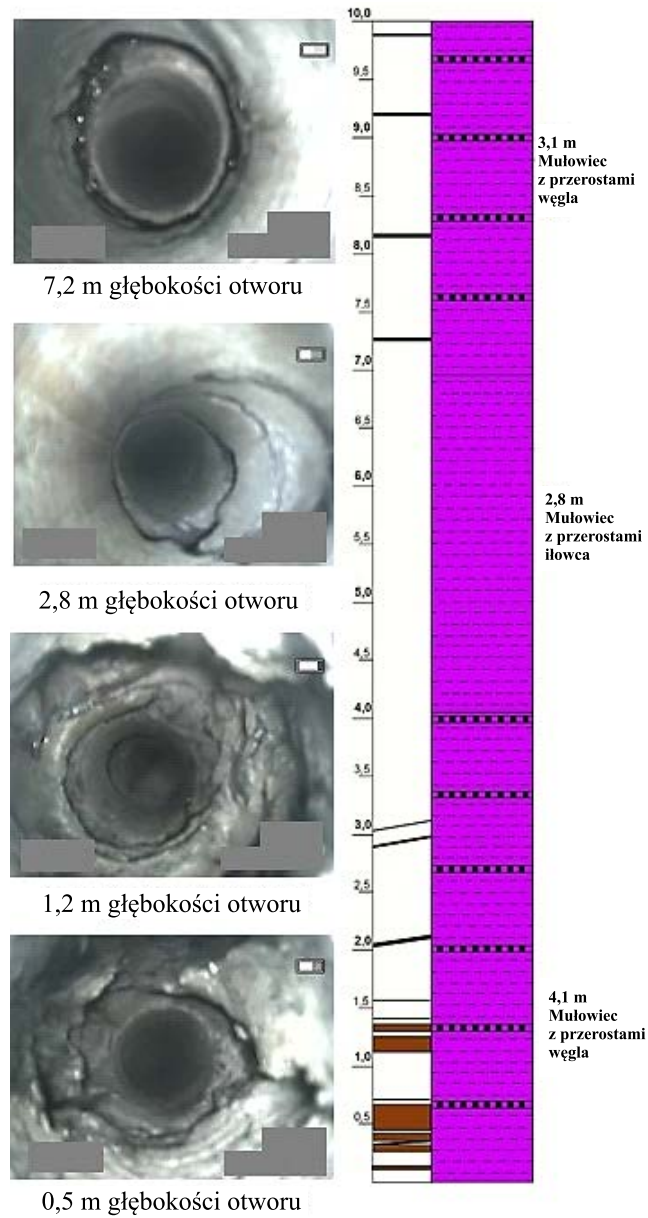
Legenda:

- szczelina wypełniona rumoszem
- szczelina
- pęknięcie

Rys. 7. Wyniki badań endoskopowych warstw stropowych pokładu 357+358 – otwór pionowy

Fig. 7. Results of endoscopies of roof layers in seam 357+358 – vertical hole





Rys. 8. Wyniki badań endoskopowych warstw stropowych pokładu 357+358 – otwór kierunkowy

Fig. 8. Results of endoscopies of roof layers in seam 357+358 – directional hole

### 3.2. Badania rozwarstwień warstw stropowych

Badania rozwarstwień skał stropowych w chodniku 40b w pokładzie 357+358 prowadzono przy pomocy trójpoziomowych rozwarstwieniomierzy (rys. 9), które obrazowały ruchy górotworu wraz ze zbliżającym się frontem ściany (Duży 2001; Herezy 2012, 2015; Lubosik i Walentek 2016; Duży i in. 2017a). Rozwarstwieniomierze osadzono w otworze badawczym zlokalizowanym obok otworów w których przeprowadzono badania endoskopowe na głębokości 3,0, 5,2 i 7,0 m. Wyniki pomiarów rozwarstwień warstw stropowych przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 9. Trójpoziomowy rozwarstwieniomierz linkowy (Duży i in. 2017a)

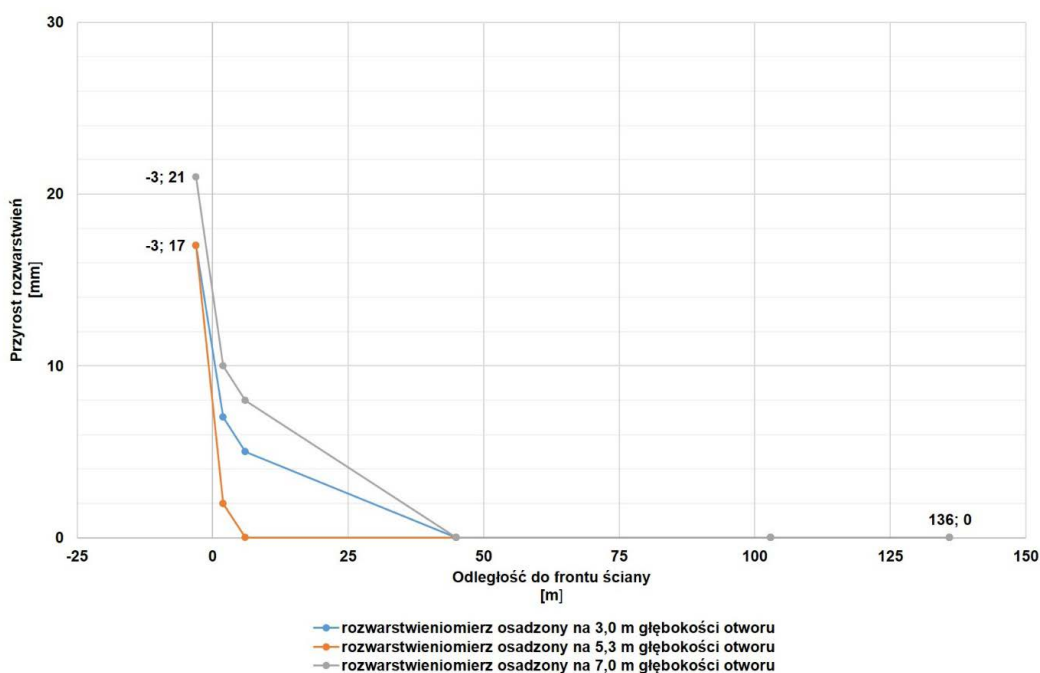
Fig. 9. Three-point extensometr

TABELA 1. Pomiarzy rozwarstwień skał stropowych w chodniku 40b w pokładzie 357+358

TABLE 1. Measurements of strata separation of roof rocks in mine drift 40b in seam 357+358

Lp.	Odległość do frontu ściany $L_c$ [m]	Głębokość osadzenia rozwarstwieniomierza w otworze					
		3,0 m		5,2 m		7,0 m	
		pomiar na wskaźniku [mm]	przyrost rozwarstwienia $\Delta r$ [mm]	pomiar na wskaźniku [mm]	przyrost rozwarstwienia $\Delta r$ [mm]	pomiar na wskaźniku [mm]	przyrost rozwarstwienia $\Delta r$ [mm]
1	136	97	–	110	–	105	–
2	103	97	0	110	0	105	0
3	45	97	0	110	0	105	0
4	6	92	5	110	0	97	8
5	2	90	2	108	2	95	2
6	–3	80	10	93	15	84	11
Wielkość końcowa rozwarstwienia $r_{sk}$ [mm]		17		17		21	

Pierwsze nieznaczne ruchy górotworu zaobserwowano pomiędzy 45 a 6 m przed frontem ściany, następowo wciąganie wskaźników. Końcowe pomiary rozwarstwień zanotowano już bezpośrednio na skrzyżowaniu ściana–chodnik, a dokładniej 3 m za frontem ściany. Graficzne przedstawienie przebiegu rozwarstwień ukazano na rysunku 10.



Rys. 10. Przebieg rozwarstwień warstw skalnych w stropie chodnika 40b w pokładzie 357+358

Fig. 10. Strata separation course of rock layers in the roof of mine drift 40b in seam 357+358

#### 4. Graniczne wydłużenie kotwi

Nośność kotwi można wyznaczyć laboratoryjnie w specjalnie do tego celu zbudowanych stanowiskach badawczych (Nierobisz i in. 2001; Skrzypkowski i in. 2015). Badania te wykazały wielkości przemieszczeń (wysuw żerdzi kotwi z rury stalowej wraz z jej wydłużeniem) kotew prętowych typu RM na poziomie 24–35 mm (Nierobisz i in. 2001).

Wielkość wydłużenia kotwi można również wyznaczyć w oparciu o wydłużenie względne  $A_5$  materiału żerdzi. Dla typowych stali, z których produkuje się kotwy prętowe, wydłużenie względne  $A_5$  wynosi około 17%. Wówczas graniczne wydłużenie kotwi przyjmuje postać (Dzierżęga i in. 2001):

$$w_{gk} = A_5 \cdot \frac{L_p}{1,5} \quad (2)$$

gdzie:

- $w_{gk}$  – graniczne wydłużenie kotwi,
- $A_5$  – wydłużenie względne wyznaczone na długości równej pięciokrotnej średnicy pręta,
- $L_p$  – odcinek długości pręta, który jest rozciągany (przyjmuje się jego średnią wartość około 30 cm),
- 1,5 – współczynnik.

Przykładowo dla  $A_5 = 17\%$  i  $L_p = 300$  mm wartość  $w_{gk}$  wynosi 34 mm, co potwierdzają przeprowadzone badania laboratoryjne (Nierobisz i in. 2001).

### 5. Współczynnik bezpieczeństwa utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik

Na podstawie pomiarów i obserwacji rozwarstwień stropu proponuje się wyznaczyć współczynnik bezpieczeństwa utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik przyjmując założenie, że gdy wartość współczynnika  $S_{bsc-ch}$  jest większa od 1 świadczy to o korzystnych i bezpiecznych warunkach pracy na skrzyżowaniu ściana–chodnik, natomiast gdy wartość jego jest mniejsza lub równa 1 dochodzić wówczas może do znacznego pogorszenia warunków utrzymania skrzyżowania w obudowie podporowo-kotwowej. Współczynnik bezpieczeństwa utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik należy wyznaczyć z następującej zależności (Duży i in. 2017a):

$$S_{bsc-ch} = \frac{w_{gk}}{r_{sk}} \quad (3)$$

gdzie:

- $S_{bsc-ch}$  – współczynnik bezpieczeństwa utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik,
- $w_{gk}$  – wydłużenie graniczne systemu kotwi z obejmą, przy którym dochodzi do jej zerwania lub utraty nośności,
- $r_{sk}$  – sumaryczne pomierzone rozwarstwienie skał stropowych na odcinku skotwionego stropu.

Dla przeprowadzonych badań rozwarstwień warstw stropowych w chodniku przyścianowym 40b w pokładzie 357+358 można zatem określić współczynnik bezpieczeństwa utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik  $S_{bsc-ch}$ . Wielkości rozwarstwień skotwionego stropu wyniosła  $r_{sk} = 17$  mm, co wówczas daje współczynnik bezpieczeństwa  $S_{bsc-ch} = 2$ . Można zatem stwierdzić, że wartość współczynnika bezpieczeństwa utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik była większa od 1, a tym samym zostały spełnione warunki bezpiecznego utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik przy zastosowaniu niskiego kotwienia.

## Podsumowanie

Zapewnienie stateczności skrzyżowania ściana–chodnik jest ważnym elementem utrzymania ciągłości produkcji w procesie wydobywania węgla systemami ścianowymi. Zachowanie właściwych gabarytów ruchowych w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem przyścianowym wpływa bezpośrednio na komfort i bezpieczeństwo pracy. Istotnym elementem jest zatem właściwy dobór systemu wzmocnienia obudowy podporowej skrzyżowania ściana–chodnik w warunkach głębokich kopalń. Zastosowanie obudowy podporowej przykotwionej jest jednym z aktualnie stosowanych sposobów utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik.

Przeprowadzone badania endoskopowe zasięgu strefy spękań oraz badania rozwarstwień skał stropowych w chodniku przyścianowym przedstawiły zachowanie się górotworu przed frontem ściany wydobywczej. Zaobserwowane nieciągłości w górotworze w odległości 137 m przed frontem ściany nie ulegały propagacji wraz ze zbliżającym się jej frontem, a także nie miały żadnego wpływu na niekorzystną zmianę gabarytów chodników przyścianowych. Należy przypuszczać, że nieciągłości te powstały bezpośrednio po wydrążeniu wyrobiska.

Pomierzone rozwarstwienia warstw stropowych przy pomocy trójpoziomych rozwarstwiomierzy linkowych wyniosły 21 mm, co może świadczyć o spękaniu górotworu po wydrążeniu wyrobiska, a na etapie biegu ściany o mniejszym wpływie ciśnienia eksploatacyjnego na obudowę chodników przyścianowych.

Badania endoskopowe pokazały możliwość prowadzenia przykotwienia obudowy podporowej skrzyżowania ściana–chodnik kotwami prętowymi o długości 2,7–3,1 m w warunkach głębokich kopalń – występowanie strefy stabilnej w warstwach stropowych, w której istniała możliwość instalowania kotew.

Wyznaczony współczynnik bezpieczeństwa utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik  $S_{bsc-ch}$  był większy od jedności, co wiązało się z trafnością wyboru zastosowanego wzmocnienia obudowy skrzyżowania ściana–chodnik, z zapewnieniem właściwych warunków pracy na skrzyżowaniu ściana–chodnik i brakiem konieczności stosowania dodatkowych podpór stalowych.

## Literatura

- Duży, S. 2001. Stateczność obudowy kotwiono-podporowej i skał otaczających chodniki przyścianowe poddane oddziaływaniu czynnego frontu eksploatacyjnego w świetle badań kopalni. *Materiały Konferencyjne – Nowoczesne Technologie Górnicze*, Gliwice–Ustroń, s. 97–108.
- Duży i in. 2016 – Duży, S., Gluch, P., Śledź, T., Kleibert, P. i Ratajczak, A. 2016. Geotechniczne aspekty utrzymania skrzyżowania ściana–chodnik w świetle doświadczeń kopalni „Knurów–Szczygłowice” Ruch „Knurów”. *Budownictwo Górnicze i Tunelowe* nr 4, s. 1–13.
- Duży, S. 2016. Ocena stopnia bezpieczeństwa wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych na terenach pogórczych. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* nr 95, Kraków, s. 27–40.
- Duży i in. 2017a – Duży, S., Gluch, P. i Ratajczak, A. 2017a. Badanie strefy spękań w stropie wyrobiska przyścianowego w obudowie podporowo-kotwowej dla oceny bezpieczeństwa skrzyżowania ściana–chodnik. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji* t. 6, nr 3, s. 46–58.
- Duży i in. 2017b – Duży, S., Michalik, G., Śledź, T. i Ratajczak, A. 2017b. Określenie zasięgu strefy spękań dla ochrony skrzyżowania ściana–chodnik w świetle doświadczeń KWK „Knurów–Szczygłowice” Ruch „Knurów”. *Wiadomości Górnicze* nr 7–8, s. 382–391.

- Dyduch, G. i Czempas, A. 2015. Wykorzystanie techniki wizualnej do monitorowania przestrzeni wyrobiska za tamami izolacyjnymi. *Budownictwo Górnicze i Tunelowe* nr 2, s. 14–17.
- Dzierżęga, S. i Głuch, P. 2000. Ocena stopnia bezpieczeństwa wyrobiska wykonanego w obudowie kotwiowej. *Materiały Konferencyjne – Nowoczesne Technologie Górnicze*, Gliwice–Ustroń, s. 201–213.
- Dzierżęga i in. 2001 – Dzierżęga, S., Głuch, P. i Jeziorowski, W. 2001. Trójpoziomy pomiar rozwarstwień skał stropowych w wyrobisku wykonanym w obudowie kotwiowej. *Materiały Konferencyjne – Nowoczesne Technologie Górnicze*, Gliwice–Ustroń, s. 125–134.
- Głuch, P. i Ratajczak, A. 2013. Doświadczenia ze stosowania kotwi strunowych do wysokiego kotwienia górotworu. Monografia CBiDGP „*Problemy bezpieczeństwa w budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń górnictwa podziemnego*”, Łędziny, s. 163–178.
- Herezy, Ł. 2012. Kształtowanie się zasięgu strefy spękań w otoczeniu wyrobisk przyścianowych w warunkach geologiczno-górnictwowych LW „Bogdanka” S.A. *Przegląd Górniczy* nr 5, s. 27–36.
- Herezy, Ł. 2015. Zasięg strefy spękań w otoczeniu wyrobiska przyścianowego w trakcie dwóch faz jego istnienia – za frontem pierwszej i przed frontem drugiej ściany. *Przegląd Górniczy* nr 4, s. 47–51.
- Kłeczek, Z. 1994. *Geomechanik górnictwa*. Katowice: Śląskie Wydawnictwo Techniczne.
- Lubosik, Z. i Walentek, A. 2016. Przejawy ciśnienia eksploatacyjnego w chodnikach przyścianowych zlokalizowanych na głębokości około 1000 m – badania dołowe. *Przegląd Górniczy* nr 3, s. 8–16.
- Małkowski i in. 2017 – Małkowski, P., Majcherczyk, T. i Niedbalski, Z. 2017. Zastosowanie kotwi dla zwiększenia rozstawu odrzwi obudowy podporowej w wyrobiskach korytarzowych. *Przegląd Górniczy* nr 7, s. 12–22.
- Matuszewski i in. 2011 – Matuszewski, J., Ratajczak, A. i Głuch, P. 2011. Doświadczenia z utrzymania skrzyżowania ściana-chodnik w warunkach KWK „Knurów–Szczygłowice” Ruch Knurów. *Górnictwo i Geologia* t. 6, z. 1, s. 159–177.
- Nierobisz i in. 2001 – Nierobisz, A., Pytlik, A. i Nowak, H. 2001. Charakterystyka pracy kotwi przy obciążeniach dynamicznych w świetle badań stanowiskowych. *Materiały Konferencyjne – Nowoczesne Technologie Górnicze*, Gliwice–Ustroń, s. 307–322.
- Nierobisz, A. i Jeziorowski, W. 2009. Obudowa kotwiowa w kopalniach węgla kamiennego. *Wiadomości Górnicze* nr 4, s. 241–249.
- Sałustowicz, A. 1968. *Zarys mechaniki górotworu*. Katowice: Wydawnictwo Śląsk.
- Skrzypkowski i in. 2015 – Skrzypkowski, K., Korzeniowski, W. i Herezy, Ł. 2015. Metody badania obudowy kotwiowej w Katedrze Górnictwa Podziemnego AGH. *CUPRUM – Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud* nr 3, s. 49–60.
- Walentek, A. i Lubosik, Z. 2017. Optymalizacja obudowy wyrobisk przyścianowych zlokalizowanych na głębokości większej niż 1000 m. *Przegląd Górniczy* nr 2, s. 76–84.
- Zimończyk i in. 2006 – Zimończyk, J., Tytko, J., Mąka, B., Pierchała, J. i Głuch, P. 2006. Rozwiązanie wzmocnienia obudowy podporowej podciąganiem zespolonym kotwionym do stropu kotwiami strunowymi. *Materiały Konferencyjne – Nowoczesne Technologie Górnicze*, Gliwice–Ustroń, s. 192–205.