

## Zastosowanie kotwi do rozrzedzania obudowy podporowej w warunkach głębokich kopalń węgla kamiennego – studium przypadku

Eng. Zbigniew Rak Ph.D.; AGH University of Science and Technology, Faculty of Mining and Technology

Eng. Jerzy Stasica Ph.D.; AGH University of Science and Technology, Faculty of Mining and Technology

**Streszczenie.** Obudowa podporowo-kotwowa jest jedną z niewielu szans na obniżenie kosztów drażenia wyrobisk przygotowawczych w polskich kopalniach węgla kamiennego. Zastosowanie obudowy kotwowej do wzmacniania górotworu i przykotwiania odrzwi umożliwia zarówno zwiększenie podziałki obudowy podporowej, a więc ograniczenie zużycia stali, ale także obniżenie kosztów transportu do przodków, zmniejszenie obciążenia pracą załóg przodkowych i ścianowych. Opisany w artykule eksperyment został zrealizowany w LW Bogdanka S.A. i polegał na rekordowym rozrzedzeniu obudowy w warunkach polskich bo aż do 1,5 m. W oparciu o doświadczenia Kopalni oraz analizy i obliczenia dobrano obudowę kotwową złożoną z dwóch systemów kotwi wklejanych – prętowych i długich kotwi strunowych. Roboty realizowane w przodku były całkowicie zmechanizowane dzięki kombajnowi wyposażonemu w lawetę wierząco-kotwiącą. W rezultacie osiągnięto postęp dobowy na poziomie 11,5 m na dobę. W trakcie drażenia, jak i utrzymywania wyrobiska przed frontem ściany prowadzono obserwacje i pomiary, które w znacznej mierze potwierdziły słuszność zastosowanej metody zabezpieczenia chodnika.

**Słowa kluczowe.** *Obudowa podporowo-kotwowa, wykładka mechaniczna, kotew prętowa, kotew strunowa, kopalnie węgla kamiennego*

### 1. Wstęp

Problematyka rozrzedzania odrzwi obudowy łukowej podatnej jest jednym z istotniejszych problemów w aspekcie obniżania kosztów robót przygotowawczych w polskich kopalniach węgla kamiennego. Rosnąca głębokość eksploatacji, co raz trudniejsze warunki geologiczno-górnictwa związane z tektoniką i zaszczościami eksploatacyjnymi, powodują, że materiałochłonność przodków przygotowawczych, a co za tym idzie koszt ich drażenia, systematycznie wzrasta. Dziś podstawowym sposobem reagowania na te trudności jest bowiem, obok stosowania wysokogatunkowych stali do produkcji łuków (S480W i S550W), zagęszczanie podziałki odrzwi. Tematyka wykorzystania obudowy kotwowej dla potrzeb rozrzedzania obudowy podporowej, jakkolwiek pojawia się w literaturze oraz projektach badawczych, o tyle w kopalniach węgla kamiennego często zatrzymuje się na etapie rozważań teoretycznych. Przyczyn dla, których tak się dzieje można doszukiwać się w problemach mechanizacji procesu kotwienia, braku środków na stosowanie nowoczesnych rozwiązań kotwowych, a nawet nieufności załóg w skuteczność pracy obudowy kotwowej. Sytuacja ekonomiczna, w której znalazło się polskie górnictwo, nie pozwala jednak na zaniechanie możliwości jakie daje szerokie wdrożenie obudowy kotwowej. Rozrzedzanie obudowy odrzwi obudowy podporowej w wyrobiska przyścianowych niesie jeszcze jeden aspekt obniżenia kosztów produkcji, o którym często zapominamy. Zwiększenie podziałki redukuje zakres prac na skrzyżowaniu ściana-chodnik, co przyczynia się nie tylko do obniżenia kosztów produkcji, ale zwiększa czasu efektywnej pracy kompleksu ścianowego.

Współpraca obudowy podporowej i kotwowej doczekała się wielu teorii i opracowań naukowych. Te dwa całkowicie różne typy obudów – pasywna i aktywna, sprawiają wiele problemów na etapie projektowym ze

podporowej i górotworem. Pierwszy, najbardziej oczywisty, to zwiększenie nośności odrzwi poprzez ich przykotwienie [6, 7]. Zabieg ten ograniczając swobodę przemieszczania łuków w pewnym stopniu ogranicza podatność zsuwną konstrukcji odrzwi. Drugi aspekt to wykorzystanie kotwi dla wzmocnienia górotworu wokół wyrobiska, którego efektem jest ograniczenie jego deformacji także tych nieciąglych, a w rezultacie zmniejszenie obciążenia obudowy podporowej [8, 9, 10, 11]. Wychodząc z takiego założenia, kompleksowe wzmocnienie obudowy podporowej wyrobiska wymaga nieco szerszego zakresu wykorzystania właściwości kotwi, aniżeli pozwala na to stosowany dzisiaj w wielu kopalniach system przykotwiania oparty jedynie o kotwy strunowe wklejane odcinkowo ładunkami żywicznymi.

Przytoczone poniżej doświadczenia oparte są o projekt zrealizowany w 2018 roku w LW Bogdanka S.A. przy współpracy z Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie. Jego głównym celem było wykazanie skuteczności obudowy podporowo-kotwowej w warunkach pokładu 385/2 w polu Stefanów przy rozrzedzeniu podziałki obudowy ŁP do 1,5 m. Jako założenie podstawowe przyjęto również system bezpodporowego prowadzenia skrzyżowania ściana-chodnik. Wyrobisko, w którym przeprowadzono eksperyment, było chodnikiem podścianowym ściany 4/VII/385 zlokalizowanym na głębokości około 950 m. W ścianie 4/VII/385 prowadzono eksploatację pokładu 385/2 techniką strugową w okresie 2018-2019. Projektem objęto odcinek chodnika o długości 200 m w początkowym biegu ściany.

## 2. Warunki geologiczno-górnice pokładu 385/2

Mięszość pokładu na długości chodnika podścianowego ściany 4/VII/385 kształtowała się na poziomie od około 1,5 do 1,7 m, a średni kąt nachylenia warstw generalnie nie przekraczał 1°. Pokład zaliczony został do pierwszego stopnia zagrożenia wodnego. W wyrobisku jedynie lokalnie występowały niewielkie wykroplenia wody ze stropu i ociosów. Na wybiegu chodnika nie wystąpiły zaburzenia geologiczne w postaci uskoków, pofałdowań lub fleksur. Odcinek objęty projektem wolny był także od oddziaływania krawędzi pokładów wyżej i niżej zalegających.

Strop bezpośredni pokładu w rejonie przedmiotowego wyrobiska tworzyła cienka warstwa iłowca o miąższości zazwyczaj poniżej 1 m. Powyżej iłowca zalegała warstwa mułowca o grubości od 1 do około 6 m. Powyżej występowała gruba warstwa piaskowca oraz mułowiec. Lokalnie piaskowiec był przewarstwiony wkładkami mułowca. W spągu pokładu występował iłowiec o grubości zazwyczaj około 1 m. Poniżej zalegała kilkumetrowa warstwa mułowca z wtrąceniami iłowca. Parametry wytrzymałościowe skał określono w oparciu o badania penetrometryczne i laboratoryjne. Doraźna wytrzymałość na ściskanie węgla i skał w tym rejonie przedstawia się następująco:

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| węgiel pokładu 385/2 | – 12 MPa,   |
| iłowiec stropowy     | – 11,1 MPa, |
| mułowiec stropowy    | – 27,5 MPa, |
| piaskowiec stropowy  | – 44,4 MPa, |
| iłowiec spągowy      | – 11 MPa,   |
| mułowiec spągowy     | – 12,6 MPa. |

Wartość wskaźnika RQD dla poszczególnych warstw cechowała się znacznym rozrzutem, tj. dla iłowca poniżej 10%, dla mułowców od 17 do 48%, a dla piaskowców od 55 do 95%. Wskaźnik RQD skał spągowych w zakresie objętych opróbowaniem (5 m) wyniósł zero dla wszystkich warstw.

## 3. Obudowa i technologia drążenia chodnika podścianowego ściany 4/VII/385

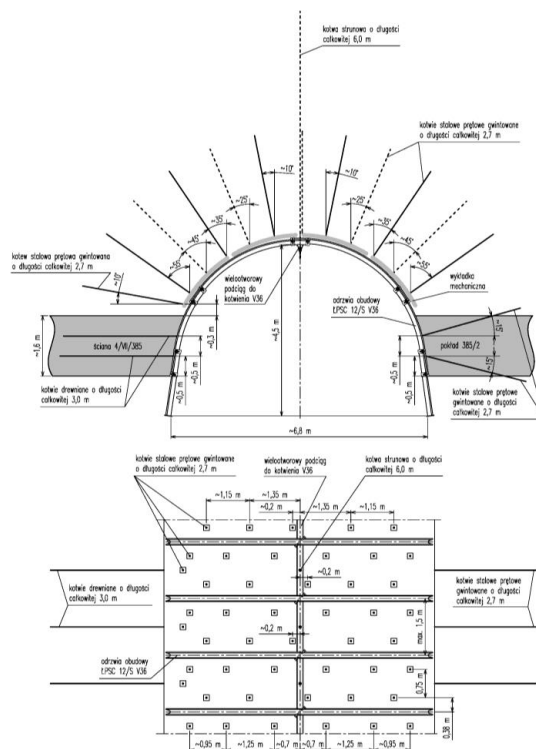
Podstawową obudowę wyrobiska stanowiły odrzwia obudowy ŁPSC 12/S wykonane z kształtownika V36 ze stali S480W, budowane w podziale 1,5 m, o wymiarach w świetle 6,8 × 4,5 m. W przodku wyrobiska wykonywano obok obudowy podporowej wzmocnianie górotworu kotwami prętowymi. Kilkadziesiąt metrów za przodem realizowano przykotwianie obudowy kotwami strunowymi. Przodek drążony był kombajnem dh R75t z urządzeniem wierząco-kotwiącym dh ABSE, którego budowę przedstawia schematycznie rys. 1.



Rys. 1. Kombajn dh R75t z urządzeniem wierząco-kotwiącym dh ABSE (rys. z DTR producenta)

Kombajn ten, należący do kombajnów klasy średniej (odpowiednik kombajnów AM75 i MR340), pozwalał na zachowanie tempa realizacji zabioru przy podziale obudowy 1,5 m na poziomie 40 minut. Natychmiast po wykonaniu włomu oraz obrywki przodka, przystępowano do montażu łańcuchowo-węzłowych siatek opinkowych na całym obwodzie wyrobiska. Kolejną czynnością była zabudowa 12 kotew prętowych w stropie wyrobiska z wykorzystaniem lawety wierząco-kotwiącej zabudowanej na kombajnie. Stosowano kotwy stalowe o długości 2,7 m i nośności 250 kN, instalowane ładunkami żywicznymi Lokset na całej długości w otworach o średnicy 28 mm. Kotwy prętowe zainstalowane w polach pomiędzy odrzwiami obudowy podporowej współpracują jedynie z górotworem i siatką stalową opinki za pośrednictwem podkładek płaskich. Schemat rozmieszczenia kotwi w przekroju i rzucie z góry pokazano na rys. 2.

Po zakończeniu kotwienia i złożeniu lawety wierząco-kotwiącej, brygada przodkowa przystępowała do montażu odrzwii obudowy ŁPSC. Podobnie jak we wszystkich pozostałych wyrobiskach przygotowawczych, w przodku chodnika realizowano na bieżąco wykładkę mechaniczną. Jest to jeden z kluczowych, a niestety bagatelizowanych w górnictwie śląskim, elementów obudowy wyrobisk korytarzowych. Szczelna i nieściśliwa wykładka przestrzeni pomiędzy obudową podporową, a włotem pozwala na efektywne wykorzystanie podporności obudowy podporowej, a także osiągnięcie pożądanej równomierności jej obciążenia [12, 13]. Obydwa te elementy odgrywają niezwykle istotną rolę w okresie utrzymywania wyrobiska w strefach wysokich ciśnień górotworu, szczególnie w strefie ciśnień eksploatacyjnych przed ścianą. Wykładka mechaniczna w LW Bogdanka realizowana jest poprzez wypełnianie pojemników tkaninowych (tzw. rękawów) utwierdzonych do łuków stropnicowych obudowy ŁP, spoiwem mineralno-cementowym. Operacja ta powinna być wykonywana możliwie jak najszybciej po dokonaniu zabioru. Ze względów technologicznych realizuje się ją zazwyczaj na przedostatnich odrzwiach zabudowanych w przodku [12]. Proces zatłaczania spoiwa do rękawów tkaninowych realizowany jest z podestu kombajnowego z wykorzystaniem pompy hydraulicznej znajdującej się w strefie przodkowej. Wykładkę w wyrobiskach przygotowawczych realizuje się jedynie na długości łuków stropnicowych, fot. 1.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia kotwi w chodniku podścianowym 4/VII/385



Fot.1 Widok chodnika z wykładką mechaniczną w części stropowej

Jak można zauważyć na powyższej fotografii, starannie wykonana wykładka w chodniku 4/VII/385 gwarantowała pełny kontakt odrzwi ze stropem. Fot. 2 Przedstawia widok w pełni zabezpieczonego stropu obudową podporową z wykładką mechaniczną i kotwieniem międzydrzwiowym.



Fot. 2. Widok chodnika z wykładką mechaniczną i kotwami prętowymi w części stropowej

Ostatnim elementem zabezpieczenia przodka była zabudowa kotew ociosowych. Od strony ściany 4/VII/385 stosowano kotwy drewniane, a w przeciwnym odciosie, kotwy stalowe. Zabudowę kotew ociosowych prowadzono jedynie na zmianie IV. W rezultacie takiej technologii i organizacji robót, uzyskano średnio dobowy postęp przodka na poziomie 11,5 m. Chronometraż poszczególnych czynności realizowanych na zmianach od I do III pokazuje tabela 1.

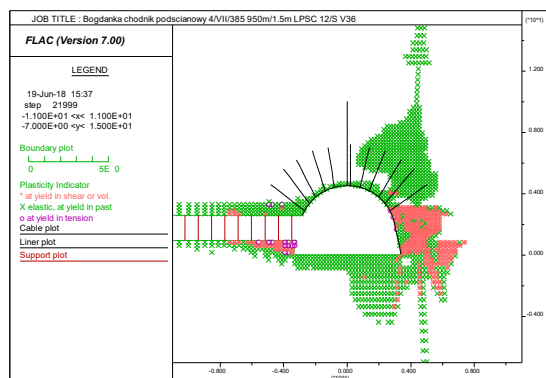
Tabela 1. Chronometraż robót w przodkowych chodnika 4/VII/385

| Lp  | Czynność  | Czas [min.] |
|---|---|-------------|
| 1.  | Urabianie kombajnem górotworu do zabudowy jednych odrzwi przy rozstawie obudowy 1,5 m | 40          |
| 2.  | Siatkowanie wylomu (ociosów i stropu)   | 10          |
| 3.  | Rozkładanie wiertnicy   | 5           |
| 4.  | Kotwienie 12 kotew 2,7 z gwintem  | 36          |
| 5.  | Składanie wiertnicy   | 4           |
| 6.  | Zabudowa odrzwi z wykładką mechaniczną  | 15          |
| <b>Sumaryczny czas zabudowy 1 odrzwi z kotwieniem</b> |   | <b>110</b>  |

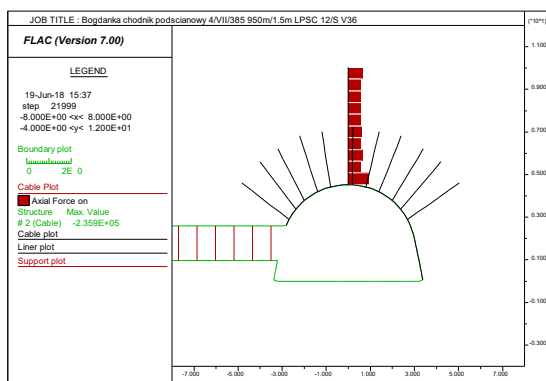
W trakcie drążenia chodnika, kilkadziesiąt metrów za przodkiem, instalowano kotwy strunowe o długości całkowitej 6 m i nośności gwarantowanej 340 kN. Zastosowane kotwy strunowe typu IR służyły do przykotwiania odrzwi do stropu poprzez podciąg stalowy z prostek V36 [7, 8]. Podciąg budowany był w jednym rzędzie usytuowanym w osi wyrobiska. Prostki tworzące podciąg budowano na zakład na minimum jednych odrzwiach obudowy podporowej oraz wiązano z każdymi odrzwiami za pomocą śrub hakowych. Kotwy strunowe budowane w każdym polu pomiędzy odrzwiami podporowej były wklejane na końcu otworu trzema ładunkami żywicznymi, tj. dwoma 3-minutowymi o długości 60 cm każdy i jednym 60-sekundowym o długości 30 cm.

#### 4. Wyniki obliczeń numerycznych obudowy chodnika podścianowego ściany 4/VII/385

Doboru obudowy dokonano w oparciu o dotychczasowe doświadczenia LW Bogdanka S.A oraz wyniki obliczeń numerycznych. Do obliczeń przygotowano prostokątną tarczę o wymiarach 100×100 metry w płaskim stanie odkształcenia. Przyjęto model sprężysto-plastyczny Coulomba-Mohra dla wszystkich warstw. Tarczę podzielono zgodnie z profilem geologicznym w rejonie chodnika. W obliczeniach korzystano z metody różnic skończonych. Dyskretyzację przeprowadzono przy pomocy programu FLAC wersja 7.0 firmy ITASCA. Tarczę podzielono siatką o wymiarach 138 na 120 oczek zagęszczoną wokół wyrobiska tak, że najmniejsze oczko ma wymiary ok. 20x20 cm. Na pionowych brzegach modelu przyjęto podparcia poziome (swoboda ruchu w kierunku osi pionowej), na dole modelu podparcia pionowe (swoboda ruchu w kierunku osi poziomej). Modelowano wyrobisko utrzymywane na skrzyżowaniu za ścianą, a jako kryterium oceny zastosowanych rozwiązań przyjęto wyężenie kotwi strunowych w tym miejscu. Rysunek 3 obrazuje zachowanie się górotworu w bezpośrednim otoczeniu przedmiotowego chodnika. Górotwór pracuje w modelu numerycznym w części plastycznej swej charakterystyki głównie w ociosie i w spągu chodnika. Kotwy po stronie calizny wykazują możliwość pracy w górotworze spękanym i narażone są na intensywniejsze oddziaływanie sił ścinających. Górne zamocowanie kotew po stronie ściany pozostaje w górotworze pracującym sprężysto. W górotworze niespękanym pracują kotwy strunowe. W spągu chodnika obserwuje się strefy spękań powstające pod działaniem naprężeń rozciągających. Zasięg stref spękanych wynosi w modelu do 4 m w ociosie i w spągu. W stropie nad ociosem przeciwnym do ściany uwidaczniają się strefy spękań. Pokazane na rys. 4 obciążenia kotew strunowych wskazują na wartość obciążenia na poziomie 240 [kN] co stanowi nieco ponad 70% ich nośności gwarantowanej.



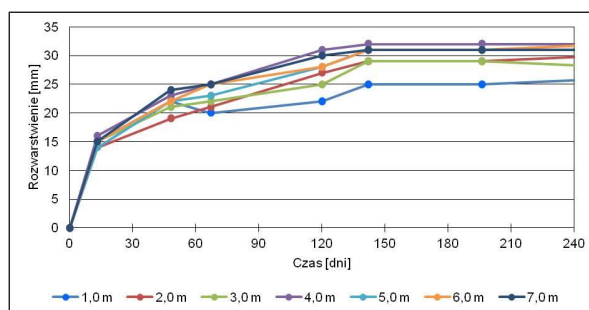
Rys. 3. Strefy uplastycznienia modelu górotworu wokół wyrobiska



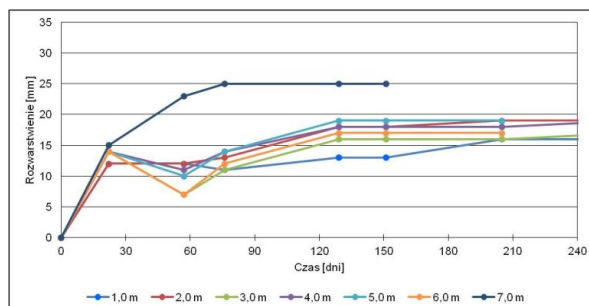
Rys. 4. Siły osiowe w kotwach strunowych

## 5. Wyniki pomiarów i obserwacji chodnika podścianowego ściany 4/VII/385

W trakcie drążenia i utrzymywania chodnika przed ścianą prowadzono pomiary rozwarstwień stropu za pomocą rozwarstwiomierzy wielopunktowych zabudowanych w czterech punktach pomiarowych zlokalizowanych w pobliżu osi wyrobiska. Kotwki pomiarowe były usytuowane co 1 m do wysokości 7 m od pułapu wyrobiska. Jednocześnie realizowano pomiary kamerą introskopową w otworach kontrolnych zlokalizowanych w pobliżu rozwarstwiomierzy [14]. Pomiary prowadzono okresowo co 3 do 4 tygodni. Po uruchomieniu ściany, pomiary prowadzono do momentu zaciśnięcia otworów lub uszkodzenia rozwarstwiomierzy, co następowało zwykle w odległości około 50 m od czoła ściany. Przykładowe przebiegi rozwarstwień pokazano na rys. 5 i 6.



Rys. 5. Przebieg rozwarstwień w punkcie pomiarowym nr 1



Rys. 6. Przebieg rozwarstwień w punkcie pomiarowym nr 1

Jak można zauważyć w obydwu przypadkach rozwój rozwarstwień ma zbliżony przebieg i zakres. Intensywny przyrost rozwarstwień obserwowany jest do około 120 dni od wykonania wyrobiska, potem następuje stabilizacja, a sumaryczne rozwarstwienia nie przekraczają 35 mm. Weryfikacja pomiarów realizowana poprzez obserwacje rozwoju strefy spękań stropu za pomocą kamery introskopowej potwierdziła wyniki uzyskane na bazie pomiarów rozwarstwiomierzy wielopunktowych. W obydwu metodach uzyskano również informację o rozwarstwień i pęknięciach stropu w pakiecie skał stropu powyżej zasięgu kotwienia kotwami prętowymi (powyżej 2,5 m). Niepokojącym był fakt, że zasięg spękań przekroczył zasięg kotwienia wysokiego (rys. 5.2), co jest wyraźną wskazówką, że zastosowana długość kotwi, oszacowana na podstawie obliczeń numerycznych, była niewystarczająca. Wynika to z jednej strony z pewnych uproszczeń modelowych, z drugiej zaś jest efektem niepoprawnej technologii wklejania kotwi strunowych. Wklejanie odcinkowe tych kotwi, a co za tym idzie brak adhezyjnego połączenia kotwi i górotworu na całej długości wysokiego kotwienia oraz brak naciągu wstępnego, prowadzą do deformacji w pakiecie kotwionym wskutek odkształceń sprężystych ciężna kotwi strunowej [7, 8]. Wklejanie kotwi na całej długości wyraźnie ogranicza ten efekt, co wykazano podczas wdrażania obudowy kotwowej w PG Silesia, gdzie zastosowano długie kotwy iniekcyjne do wzmocnienia w wyrobisk przeznaczonych do utrzymania za ścianą [15].



Brak możliwości prowadzenia pomiarów, wskutek zaciśnięcia otworów, uniemożliwił ocenę rozwoju rozwarstwień w strefie bezpośredniego oddziaływania ciśnień eksploatacyjnych ściany. W tej strefie prowadzono jeź tylko pomiary wielkości zaciskania obudowy. W tym zakresie, zastosowane rozwiązania obudowy podporowej i kotwowej, spełniły swoje zadania w stopniu bardzo dobrym. Zaciskanie poziome obudowy bezpośrednio przed ścianą wynosiło około 0,7 – 1,2 m, co skutkowało wyprostowaniem łuku ociosowego obudowy ŁPSC przy spągu, który w pierwotnej pozycji jest skierowany do ociosu wyrobiska, rys. 2 i fot. 3. Efekt ten był znacznie intensywniejszy po stronie ociosu naprzeciwległego do ściany 108, co już sugerowały wyniki obliczeń numerycznych. Uzyskano jednocześnie gabaryty pozwalające na bezkolizyjne prowadzenie napędów przenośnika i struga na chodniku, fot. 3 i fot. 4.



Fot. 3. Widok chodnika na wysokości wysypu czołowego ze ściany



Fot. 4. Widok chodnika bezpośrednio przed wysypem

Intensywne zaciskanie spągu, charakterystyczne dla złoża LW Bogdanka wymagało systematycznych jego pobierek (zwykle trzy pobierki przed ścianą) celem zapewnienia odpowiedniej wysokości wyrobiska na skrzyżowaniu ze ścianą, fot 5. Jak wspomniano we wstępie, warunkiem pozytywnej oceny zastosowanych wzmocnień było nie tylko zachowanie stateczności i gabarytów obudowy wyrobiska w strefie ciśnień eksploatacyjnych, ale także możliwość bezpodporowego prowadzenia ściana-chodnik, fot. 6.





Fot. 5. Widok chodnika na wysokości wlotu do ściany



Fot. 6. Widok wlotu do ściany z wypiętymi łukami ociosowymi obudowy ŁPSC

Także w tym aspekcie nie odnotowano w trakcie przejścia ściany żadnej sytuacji awaryjnej, która wymusiłaby zastosowanie podpierania obudowy na wysokości wlotu do ściany, przy wypiętych zazwyczaj 4 łukach ociosowych (otwarcie o rozpiętości 6 m).

## 6. Podsumowanie

Przytoczony w niniejszym artykule przykład wykorzystania obudowy podporowo-kotwowej potwierdza zasadność tego rozwiązania dla obniżenia kosztów robót przygotowawczych. Pomimo znacznych ciśnień górotworu spowodowanych zarówno głębokością, jak i oddziaływaniem frontu eksploatacyjnego oraz podziałki obudowy podporowej rozrzedzonej do 1,5 uzyskano zamierzone cele, tj. zachowanie właściwych gabarytów na skrzyżowaniu, jak i możliwość bezpodporowego prowadzenia skrzyżowania ściana-chodnik. Wydatnie ograniczono jednocześnie zakres robót na skrzyżowaniu związanych z wypinaniem łuków ociosowych. Przytaczając korzyści proponowanego rozwiązania, trudno pominąć także redukcję kosztów transportu stali do przodka. Opisany przypadek powinien stać się przyczynkiem do szerszych działań w przedmiotowym zakresie w polskich kopalniach węgla kamiennego. Nie należy jednocześnie przenosić wszystkich doświadczeń w sposób bezkrytyczny. Także zaprezentowany powyżej system miał swoje słabe strony. Z całą pewnością zaznaczyć należy, że zdecydowanie lepsze efekty można uzyskać stosując kotwy strunowe wklejane na całej długości w miejsce instalowanych na ładunkach żywicznych. Wklejenie odcinkowe i brak naciągu wstępnego kotwi strunowych prowadzi wprost do nadmiernego rozwoju sieci spękań górotworu stropowego.

## Literatura

1. Cała M., Flisiak J., Tajduś A. 2001. *Mechanizm współpracy kotwi z górotworem o zróżnicowanej budowie*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej. Kraków, IGSMiE.
2. Rułka i in. 1983. *Zasady projektowania, obliczania i doboru obudów dla długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych*. Mysłowice, ORG BG Budokop.
3. Majcherczyk T., Małkowski P., Niedbalski Z. 2008. *Badania nowych rozwiązań technologicznych w celu rozrzedzenia obudowy podporowej w wyrobiskach korytarzowych*. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza, Uczelniane Wydaw. Naukowo-Dydaktyczne Akademii Górniczo-Hutniczej.
4. Kidybiński A. 1997. *Modelowanie niejednorodnej strefy odspojenia skał – jako podstawa projektów kotwienia oraz doboru obudowy podporowej*. Geotechnika Górnicza i Budownictwo Podziemne. XX Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu. Wrocław. Instytut Geotechniki Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej, s. 203-224.
5. Rak Z., Cieślak J., Stasica J., Dvorak P. 2018. *The importance of pre-tensioning cable bolts used to reinforce of arch yielding support*. International conference on Applied Geophysics. E3S Web of Conferences vol. 66, art. no. 03003, s. 1–10.
6. Masny W., Turek M. *Analiza wsteczna wyników pomiarów dołowych z zastosowaniem modelowania numerycznego. Bezpieczeństwo obudowy podporowo-kotwowej w warunkach występowania wstrząsów górotworu*. Praca zbiorowa pod redakcją M. Turka. Katowice, Główny instytut Górnictwa, s. 101-138.
7. Rak Z., Stasica J. *Kotew strunowa jako element obudowy wyrobisk korytarzowych w polskich kopalniach węgla kamiennego*. Przegląd Górniczy 9, s. 21-29.
8. Rak Z., Burtan Z., Stasica J. 2017. *Skuteczne rozwiązania w systemie wysokiego kotwienia dla wzmocnienia obudowy podporowej*. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN nr 101, s. 101–116.
9. Podgórski K., Podgórski W. 1969. *Obudowa kotwowa wyrobisk górniczych*. Katowice, Wydaw. Śląsk.
10. Tajduś A., Cała M. 1996. *Możliwość zastosowania obudowy kotwowej w warunkach występowania zagrożenia tapaniami*. XIX Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu. Zjawiska dynamiczne w górotworze ze szczególnym uwzględnieniem wstrząsów i tapani. Kraków, Główny Instytut Górnictwa, Akademia Górniczo-Hutnicza, s. 197-213.
11. Tajduś A. i in. *Application of Rock Bolts in Polish Underground Coal Mines*. Proc. Of the Int. Min. Tech. '95 Symp. Ed. Zhu Deren, s. 378-386.
12. Małkowski i in. 2011a – Małkowski, P., Rak, Z., Stasica, J. 2011. *Elementy wykonywania wykładki mechanicznej w świetle dotychczasowych doświadczeń*. Prace Naukowe GIG, Problemy współczesnego Górnictwa. Kwartalnik Nr 1/1 s. 316-326.
13. Małkowski, P., Rak, Z. 2011. *Wpływ wykładki mechanicznej na stan naprężenia i wyłężenia górotworu w otoczeniu chodnika przyścianowego wykonanego w słabych skałach karbońskich*. Prace Naukowe GIG, Problemy współczesnego Górnictwa. Kwartalnik Nr 1/1 s. 251-262.
14. Stasica J., Rak Z. 2012. *Introspective camera to examine rock structure penetrated by drilling operations*. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, vol. 36 no. 3, s. 325–330.
15. Rak Z., Stasica J., Borgiel D., Ciepliński Z. 2006. *Wysoko wydajny przodek chodnikowy w drążeniu wyrobisk przewidzianych do późniejszego wykorzystania w jednostronnym otoczeniu zrobów*. Przegląd Górniczy 6, s. 16-22.