



Zbigniew RAK*

Dobre praktyki w utrzymywaniu wyrobiska w jednostronnym otoczeniu zrobami zawałowymi

Streszczenie: Artykuł prezentuje najnowsze doświadczenia związane z zabezpieczaniem wyrobisk przyścianowych przeznaczonych do dwukrotnego wykorzystania dla dwóch sąsiednich ścian zawałowych. Główną intencją autorów było pokazanie roli, jaką odgrywają z jednej strony projekt obudowy, a z drugiej jakość jej wykonania. Wskazano na istotne aspekty związane z obudową ŁP oraz jej wzmocnieniami w poszczególnych etapach funkcjonowania wyrobiska, tj. drążenia, przechodzenia ścianą oraz okresem utrzymywania w jednostronnym otoczeniu zrobów. W artykule poruszono m.in. tematykę wykładki, wysokiego kotwienia, iniekcji górotworu oraz nowoczesnych wzmocnień wyrobiska za ścianą. Artykuł obok prezentacji technologii zawiera wiele aspektów praktycznych, wynikających z najnowszych doświadczeń, które w sposób decydujący wpływają na stateczność wyrobisk przyścianowych wykorzystywanych dwukrotnie. Przedstawiono dwa przykłady wyrobisk utrzymywanych za ścianą w skrajnie różnych warunkach, tj. pokłady cienkie i grube, poziome i nachylone, górotwór suchy i zawodniony. Prezentowane doświadczenia oparte są na wdrożeniach zrealizowanych w LW Bogdanka oraz PG Silesia. Artykuł zawiera także cenne uwagi w odniesieniu do zagrożeń naturalnych i ich wpływie na wybór technologii utrzymywania wyrobiska w jednostronnym otoczeniu zrobów. Artykuł stanowi podsumowanie kilkunastu lat prac badawczych i wdrożeniowych, a jednocześnie jest próbą uporządkowania tych doświadczeń i przekazania służbom kopalnianym tego, co jest najistotniejsze w omawianej technologii.

Słowa kluczowe: górnictwo węgla kamiennego, obudowa, wzmocnienie obudowy, utrzymywanie wyrobisk w jednostronnym otoczeniu zrobów

Good practices in maintaining the roadways in one-sided surroundings of caving goaf

Abstract: This article presents the latest experiences related to securing roadways designed for double use for two adjacent longwall caving faces. The main intention of the authors was to show the essence of support design on the one hand and the quality of its performance on the other. Significant aspects related to the steel arch yielding support and its reinforcements during the various stages of functioning of roadway, i.e. driving, advan-

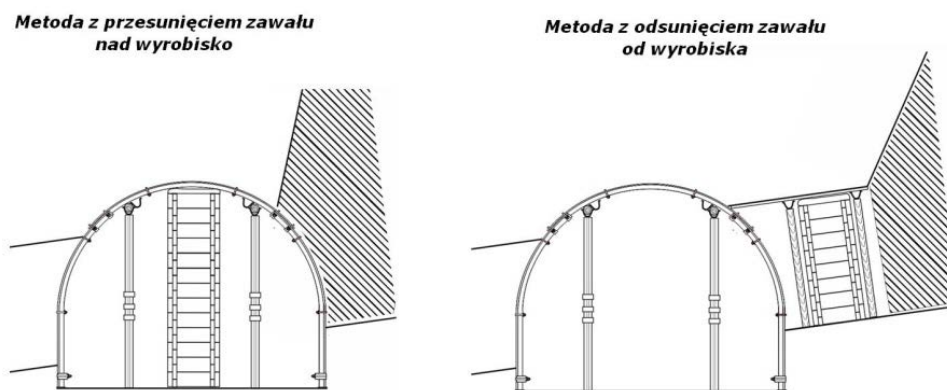
* Dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: zrak@agh.edu.pl

cing of longwall face and the reinforcement period retention in one-sided surroundings of goaf were showed. In the article the issues of lining, long bolting, injection of rock mass and modern reinforcement of the roadways behind longwall face were raised. The article aside from the presentation of the technology contains many practical aspects, resulting from the latest experience, which in decisively manner influence on the stability of the roadways used twice. Two examples of roadways maintained behind the longwall face under extreme conditions, i.e. thin and thick, horizontal and inclined coal seams, dry and wet rock mass were presented. The presented experiences are based on implementations realized in LW Bogdanka and PG Silesia hard coal mine. The article also contains valuable comments regarding to natural hazards, their influence on the choice of reinforcement technology of roadway in one-sided surroundings of goaf. This article summarizes over a dozen years of research and development work and at the same time it constitutes an attempt to organize these experiences and give the mining services the most important guidelines in the scope of this technology.

Keywords: hard coal mining, support, reinforcement of support, maintenance of roadways in one-sided of goaf

Wprowadzenie

Specyfiką polskiego górnictwa węgla kamiennego jest przygotowywanie (rozcinięcie) ścian na podstawie dwóch wyrobisk – transportowego i wentylacyjnego, w kosztownej obudowie podporowej łukowej. Wysoki koszt wykonawstwa tych wyrobisk powoduje, że temat utrzymania jednego z nich za postępującym frontem ściany dla potrzeb ściany kolejnej, jest wciąż aktualny. Metody utrzymania wyrobisk za ścianą ewoluują wraz z rozwojem techniki oraz rosnącą głębokością eksploatacji (Rak 2011a). Wciąż prowadzone są prace badawcze nad poszukiwaniem skutecznych metod w tym zakresie (Prusek 2008; Rak 2011b; Korzeniowski i in. 2013; Majcherczyk i in. 2013; Bobek i in. 2014). Aktualnie stosowane są dwie metody – z przesunięciem zawалу nad wyrobisko oraz z odsunięciem zawalu od wyrobiska.



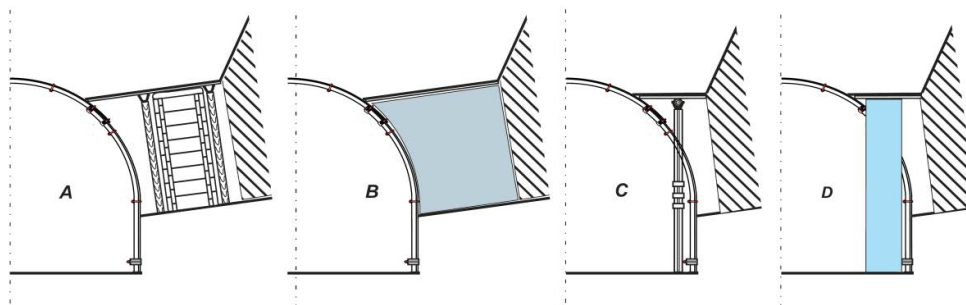
Rys. 1. Metody utrzymania wyrobisk za ścianą

Fig. 1. Methods of maintaining of roadways behind the longwall face

W pierwszej metodzie zachodzi konieczność zabudowy wszystkich wzmocnień podporowych w świetle wyrobiska, co w połączeniu ze zwykle obserwowaną znaczną konwergencją, w sposób zasadniczy ogranicza jego czynny przekrój. W kolejnej ścianie zazwyczaj eliminuje to możliwość jego wykorzystania dla celów transportowych, ogranicza zdolności

wentylacyjne, obniża jego wartość jako drogi ucieczkowej oraz znacznie utrudnia prowadzenie skrzyżowania ściana – chodnik nadścianowy. W metodzie drugiej, zasadnicze podpory znajdują się bezpośrednio przy wyrobisku (czasami jedynie częściowo w świetle wyrobiska), w rezultacie jego czynny przekrój jest znacznie większy. Eliminuje to mankamenty metody pierwszej, a ponadto stwarza lepsze warunki do ewentualnej przebudowy lub pobierki spągu w wyrobisku przed kolejną ścianą. Odsunięcie zawału od wyrobiska realizowane zazwyczaj poprzez jeden z czterech systemów podpór budowanych pod wspornikiem stropowym pomiędzy linią zawału a obudową wyrobiska, których główne elementy to (Barton i in. 2000) (rys. 2):

- kaszt drewniany pusty lub wypełniany skałą płoną, lub spoiwem mineralno-cementowym,
- pas podsadzkowy ze spoiw mineralno-cementowych,
- stojaki (łamacze) stalowe lub drewniane,
- słupy betonowe.



Rys. 2. Systemy podpierania wspornika stropowego.

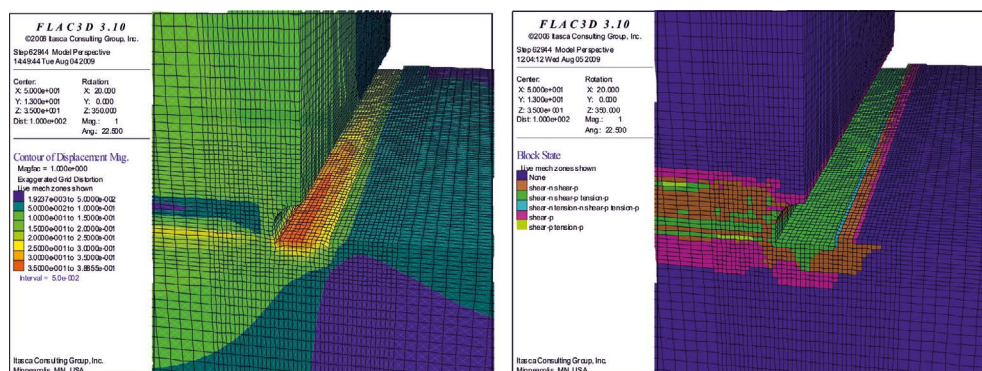
A – z kasztem, B – z pasem podsadzkowym, C – z łamaczem stalowym, D – ze słupem betonowym

Fig. 2. Support systems of roof bracket.

A – with wooden cribs, B – with filling packwall, C – with steel breaker, D – with concrete column

W ostatnim czasie coraz częściej stosowanym system jest ten z wykorzystaniem kasztów wypełnianych spoiwami mineralnymi. Oczywiście poza kasztami wyrobiska wzmocnione są poprzez m.in. zastosowanie przykotwiania odrzwi za pomocą kotwi strunowych, podciągów podpieranych stojakami stalowymi oraz kotwienia belki stropowej kotwami prętowymi instalowanymi między odrzwiami obudowy ŁP. W poniższych rozdziałach zamieszczono opis kompleksowego zabezpieczenia dwóch chodników w skrajnie różnych warunkach wraz analizą uzyskanych efektów oraz wnioskami, które mogą przyczynić się do dalszego rozwoju zastosowanych tam metod. Pierwsze wyrobisko to chodnik podścianowy 1/VI w pokładzie 385/2 w LW Bogdanka SA, zaś drugie to chodnik kierunkowy 3 w pokładzie 325/1 w PG Silesia Sp. z o.o. W obydwu wypadkach dla potrzeb projektowych wykonano obliczenia numeryczne z zastosowaniem metody elementów skończonych. Posłużono się tutaj programem FLAC firmy Itasca. Obliczenia przeprowadzono w trzech etapach, tj. dla wyrobiska utrzymywanego przed czołem ściany, na skrzyżowaniu ściana-chodnik i za ścianą. Wyznaczono m.in. kierunki wektorów i wartości przemieszczeń całkowitych, zasięg stref upła-

styczenia górotworu, a także wartości sił osiowych w elementach podporowych obudowy podporowej chodników i kotwach. Górotwór modelowano jako ośrodek Coulomba-Mohra, a w związku ze znaczną głębokością założono stan naprężenia charakteryzujący się równymi wartościami składowych normalnych tensora naprężenia we wszystkich kierunkach. W toku obliczeń ustalono stopień wyęczenia elementów tworzących system zabezpieczenia chodnika oraz zasięg strefy uplastycznienia górotworu wokół niego. Przykładowe wyniki pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Przeszacowania całkowite (A) i zasięg stref uplastycznienia (B) – chodnik 1/VI

Fig. 3. Total displacements and the range of yielding zones – the roadway 1/VI

1. Chodnik podścianowy 1/VI w pokładzie 385/2 w LW Bogdanka SA

Od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku Kopalnia Bogdanka nie podejmowała prób utrzymywania wyrobisk za ścianą. Prezentowane wyrobisko było więc swego rodzaju poligonem badawczym, w którym zastosowano kompleksowo najnowocześniejsze rozwiązania w tym zakresie. Chodnik podścianowy 1/VI wydrążony został w pokładzie 385/2 na głębokości około 950 m. Pokład 385/2, w rejonie projektowanego wyrobiska, zaliczony został do I stopnia zagrożenia wodnego. W trakcie drążenia i utrzymywania wyrobiska nie obserwowano żadnych wycieków, czy wykropleń wody ze stropu. Nachylenie pokładu i warstw otaczających wynosiło około 2°. Miąższość pokładu 385/2 na wybiegu ściany (ok. 1800 m) wahała się w granicach od 1,3 do około 1,6 m. Budowa litologiczna stropu i spągu wykazywała dużą zmienność. Zasadniczo można przyjąć, że bezpośrednio nad pokładem występowała warstwa iłowca o grubości od 0,8 do niespełna 2 m. Bezpośrednio nad iłowcem zalegał mułowiec o grubości od 0,2 do ponad 7 m, a następnie warstwa piaskowca. Powyżej piaskowca występowały naprzemianległe warstwy mułowców, iłowców oraz węgla, a lokalnie także piaskowca i mułowcowej gleby stigmariowej. W spągu pokładu, praktycznie na całej długości chodnika, występował iłowiec o grubości od 0,3 do niespełna 1,5 m. Lokalnie bezpośrednio pod pokładem występowała iłowcowa gleba stigmariowa o bardzo niskich parametrach wytrzymałościowych. Na całej długości chodnika nie zaobserwowano wystąpienia

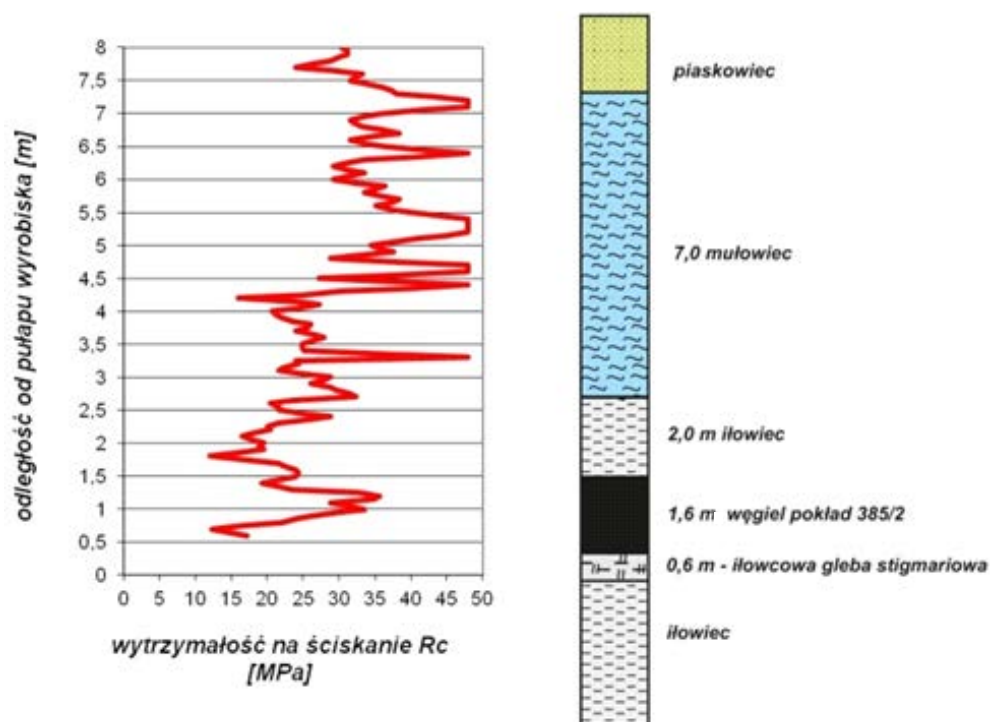
zaburzeń tektonicznych lub sedymentacyjnych. Wyrobisko nie podlegało również wpływom zaszłości eksploatacyjnych w pokładach sąsiednich. Właściwości odkształceniowe i wytrzymałościowe skał i węgla przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Właściwości węgla pokładu 385/2 i skał otaczających

TABLE 1. Properties of coal seam 385/2 and surrounding rocks

Warstwa	Moduł Younga E [MPa]	Wsp. Poissona ν [-]	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ [°]	Kohezja c [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie R_t [MPa]
Mułowiec	11 760	0,25	44,27	1,875	1,15
Ilowiec	4 600	0,25	44,13	1,860	1,15
Węgiel	1 040	0,39	45,34	0,699	0,4
Ilowiec	4 600	0,20	43,95	0,320	0,2
Mułowcowa gleba stigmariowa	2 000	0,20	37,38	0,229	0,2

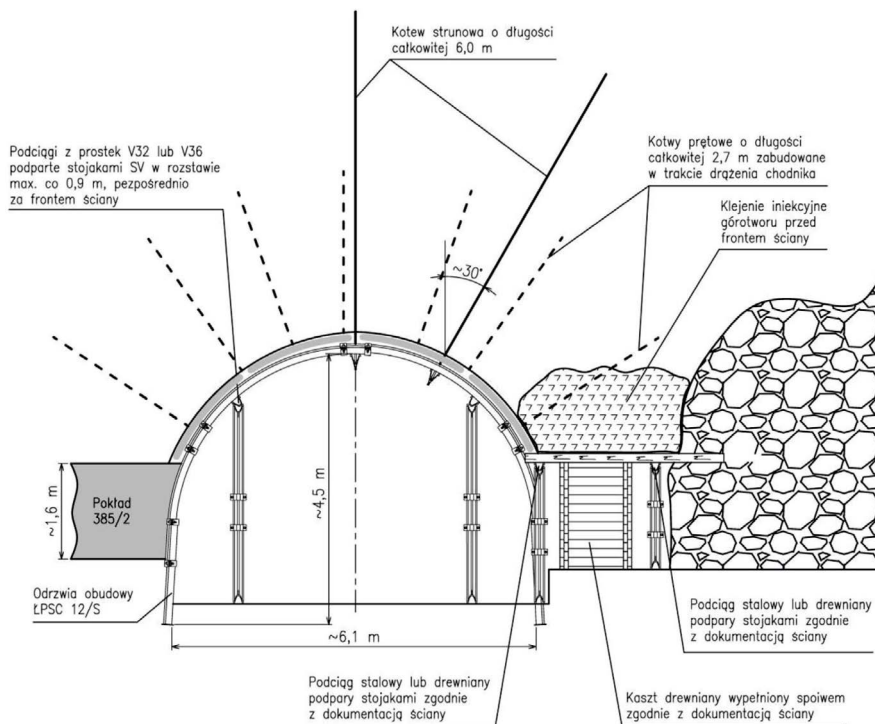
Przykładowy profil geologiczny wraz z wynikami badań penetrometrycznych stropu przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Przykładowy profil geologiczny pokładu 385/2 wraz z wynikami badań penetrometrycznych stropu

Fig. 4. Exemplary geological profile of coal seam 385/2 together with the results of penitrometer tests of roof

Podsumowując, można stwierdzić, że warunki geologiczno-górniczne oraz parametry fizyko mechaniczne skał w ścianie 1/VI w pokładzie 385/2 były typowe dla Kopalni Bogdanka. Co do zasady zaliczyć je można do stosunkowo trudnych, w których utrzymywanie wyrobisk w jednostronnym otoczeniu zrobów wymaga podjęcia kompleksowych zabezpieczeń. Utrzymywanie wyrobisk szczególnie komplikują warstwy iłowców oraz gleb stigmariowych, występujących bezpośrednio nad i pod pokładem. Są to warstwy stosunkowo słabe, skłonne do intensywnego pęknięcia jeszcze w fazie utrzymywania wyrobisk bez wpływu eksploatacji. W odniesieniu do utrzymywania wyrobiska niewątpliwymi zaletami były: brak wody złożowej przenikającej do wyrobiska przy występowaniu łatwo rozmakających skał w otoczeniu pokładu, prawie poziome zaleganie pokładu, brak uskoków oraz brak krawędzi eksploatacyjnych. Docelowy sposób zabezpieczenia chodnika utrzymwanego w jednostronnym otoczeniu zrobów przedstawiono na rysunku 5 (Rak 2011b). Ze względu na znaczne gabaryty napędów struga i przenośnika ścianowego, chodnik podścianowy 1/VI został wykonany w obudowie ŁPSC 12/S.



Rys. 5. Sposób zabezpieczenia chodnika podścianowego 1/VI za ścianą nr 1/VI w pokładzie 385/2

Fig. 5. Protection method of roadway 1/VI behind the longwall face no. 1/VI in coal seam 385/2

Zastosowano odrzwia z kształtownika V36 ze stali o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych S480W w podziałce 0,9 m. Zabezpieczanie wyrobiska utrzymwanego w jednostronnym otoczeniu zrobów, w warunkach występowania skał otaczających pokład

o stosunkowo niskich parametrach wytrzymałościowo-odkształceniowych, wymaga wielu zabezpieczeń już w trakcie jego drążenia. Zabezpieczenia te powinny zmierzać do zminimalizowania spękań w jego otoczeniu. W Kopalni Bogdanka od wielu lat w tym celu stosowana jest wykładka mechaniczna stropu. Worki wykładki wypełniane spoiwami mineralnymi, zlokalizowane pomiędzy łukami stropowymi i ociosowymi a obrysem wyrobiska skutecznie zmniejszają przemieszczenia górotworu i zapobiegają nadmiernemu jego odprężeniu. Wczesne włączenie obudowy do pracy pozwala wyraźnie ograniczyć zasięg odprężenia w stropie wyrobiska w całym okresie jego utrzymywania (Małkowski i in. 2011a, 2011b). Kolejnym zabiegiem poprawiającym parametry odkształceniowe belki stropowej nad wyrobiskiem jest jej kotwienie. W trakcie drążenia chodnika 1/VI, bezpośrednio w przodku, instalowano w tym celu kotwie prętowe o nośności 160 kN i długości całkowitej 2,7 m. Kotwie zabudowano symetrycznie po sześć i siedem sztuk naprzemiennie w polach pomiędzy odrzwiami obudowy ŁPS/C. Kotwie nie były powiązane z odrzwiami obudowy, bowiem ich zadaniem było jedynie wzmocnienie górotworu. Kotwienie stropu realizowano więc jedynie poprzez podkładki płaskie i siatkę opinki chodnika. Dalsze wzmocnienia przebiegały w czterech etapach, tj. około 100 m przed czołem ściany, bezpośrednio przed ścianą, na skrzyżowaniu ściany z chodnikiem i za ścianą. Przed frontem eksploatacji, tj. przed ujawnieniem się spodziewanego ciśnienia eksploatacyjnego (w LW Bogdanka minimum 100 m przed czołem ściany), wyrobisko zabezpieczane było poprzez dwa rzędy krótkich podciągów (dł. ok. 1,3 m) z kształtownika V32 przykotwionych w środku kotwiami strunowymi o nośności min. 280 kN i długości całkowitej 6,0 m (rys. 6).



Rys. 6. Widok przykotwionych odrzwi wraz z wykładką mechaniczną (fot. A. Ruchel)

Fig. 6. A view of bolted door frame together with mechanical lining

Ponadto zabudowano dwa rzędy podciągów z prostek V32 budowanych na zakładkę na min. jednych odrzwiach, wiązanych z każdymi odrzwiami, które usytuowane były symetrycznie w odległości po około 1,8 m od osi wyrobiska. Kolejnym zabiegiem, którego celem było przygotowanie chodnika do utrzymywania za ścianą, było klejenie stropu. Klejenie to miało charakter doraźny i prowadzono je w przypadku stwierdzenia spękań w stropie

pokładu bezpośrednio przy chodniku (rys. 5). Prace te realizowane były w odległości kilku do kilkunastu metrów przed ścianą. Do iniekcji wykorzystywano płynne żywice dwuskładnikowe. Celem tych prac było sklejenie warstw dla poprawy stateczności stropowej belki wspornikowej, która była podpierana bezpośrednio za ścianą. Na skrzyżowaniu ze ścianą wyrobisko zabezpieczano poprzez system opinki, stropnic, stojaków i kasztów. Jednym z najistotniejszych elementów technologii na tym etapie była zabudowa kasztu drewnianego wykonanego z elementów prefabrykowanych z drewna twardego bukowego o wymiarach zewnętrznych $1,2 \times 1,2$ m (wymiary wewnętrzne $0,9 \times 0,9$ m) (rys. 7).



Rys. 7. Widok kasztów budowanych za ścianą (fot. A. Ruchel)

Fig. 7. A view of built-up of wooden cribs behind longwall face

Na odcinku od 700 do 1400 mb dokonano zmiany kasztu na mniejszy, tj. o wymiarach zewnętrznych $0,9 \times 0,9$ m (wymiary wewnętrzne to $0,6 \times 0,6$ m), co okazało się kluczowym dla stateczności wyrobiska i zostało skomentowane w dalszej części artykułu.

Poza kasztem na skrzyżowaniu budowano stojaki stalowe SV pod wcześniej zabudowanymi podciągami (rys. 7). W ostatniej fazie, tj. bezpośrednio za czołem ściany, realizowane było wypełnienie wcześniej zabudowanego kasztu szybkowiązującym i wysokosprawnym spoiwem mineralno-cementowym o końcowej wytrzymałości na ściskanie wynoszącej powyżej 40 MPa. Teoretyczna podporność końcowa takiego kasztu kształtuje się na poziomie ponad 3200 kN. W praktyce można przyjąć, że jest ona o połowę mniejsza ze względu na niską jakość wykonania w warunkach dołowych. Jednocześnie przestrzeń pomiędzy kasztami a obudową chodnika, po wcześniejszym wyłożeniu płótna podsadzkowego, wypełniano tym samym spoiwem. Wykonana w taki sposób izolacja, zwana potocznie w górnictwie „ogianką”, miała na celu uszczelnienie zrobów przed migracją powietrza. Taka profilaktyka pożarowa była niezbędna, gdyż ściana 1/VI była przewietrza systemem na Y z prądem odświeżającym wzdłuż zrobów. Widok wybranego, a następnie zabezpieczonego ociosu chodnika za ścianą przedstawia rysunek 8.



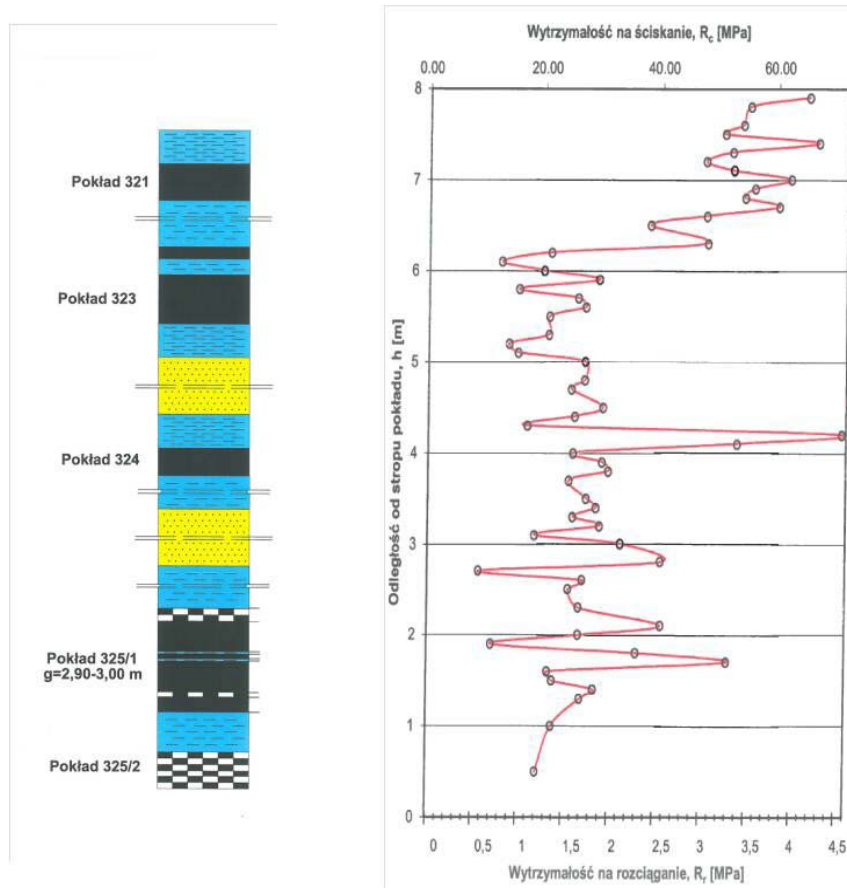
Rys. 8. Widok ociosu chodnika za ścianą po wypełnieniu kasztów i wykonaniu izolacji (fot. A. Ruchel)

Fig. 8. A view of roadway sidewall behind longwall face after filling the wooden cribs and carrying out a isolation

2. Chodnik kierunkowy 3 w pokładzie 325/1 w PG Silesia

Próbie utrzymania chodnika kierunkowego 3 (chodnik podścianowy) za ścianą nr 102 podjęto w 3 lata po wynikach uzyskanych z wyżej przedstawionym system w LW Bogdan-ka. Ze względu na pozytywne rezultaty tego pierwszego eksperymentu, kierownictwo PG Silesia zgodziło się na zaadoptowanie tych samych rozwiązań w chodniku kierunkowym 3. W tym wypadku warunki geologiczno-górnice były jednak zdecydowanie trudniejsze. Pokład 325/1 w rejonie ściany nr 102 posiadał sumaryczną miąższość od 2,4 do 3,4 m i zalegał z nachyleniem na poziomie 10–15°, a lokalnie dochodzącym nawet do niespełna 20°. W jego stropie występowała warstwa iłowca o grubości około 3,0–6,0 m, która lokalnie ulegała zupełnemu wyklinowaniu, a w stropie pojawiał się zawodniony piaskowiec orzeski, z dopływem wody około 30 dm³/min. Powyżej warstwy iłowca zalegała ława piaskowca o miąższości około 18 m przewarstwiona lokalnie warstwą łupku ilastego. Ponad piaskowcem występowała warstwa iłowca o grubości 3 do 4 m, ponad którym zalegał pokład 324 o miąższości około 1 m. W spągu pokładu 325/1 występowała warstwa iłowca o miąższości około 10 m o dużej podatności na wypiętrzenie oraz oddziaływanie wody, a poniżej pokład 325/2. Pod pokładem 325/2 zalegały iłowce i łupki ilaste. Przykładowy profil geologiczny wraz z wynikami badań penetrometrycznych stropu przedstawia rysunek 9. Właściwości odkształceniowe i wytrzymałościowe skał i węgla przedstawiono w tabeli 2. W chodniku kierunkowym nr 3 nie stwierdzono poważniejszych zaburzeń geologicznych. Lokalnie pojawiały się jedynie niewielkie prześladowania pokładu oraz pojedyncze uskoki o zrzutach nieprzekraczających 1 m. Na linii biegu chodnika kierunkowego nr 3 występowały krawędzie eksploatacyjne pokładów wyżej zalegających: 212/2, 214/1-2, 304, 308, 312 oraz 315.

Odległość pionowa pomiędzy wymienionymi pokładami a pokładem 325/1 przekraczała 100 m. W odniesieniu do utrzymywania wyrobiska największe obawy wzbudzały znaczne nachylenie pokładu oraz dopływ wody złożowej przenikającej ze strefy zawału, a którego źródłem były zdrenowane piaskowce orzeskie. Dopływ wody do wyrobiska przy otoczeniu pokładu rozmakającymi łupkami był szczególnie niebezpieczny ze względu na prowadzenie ściany 102 w systemie podłużnym z wentylacją na U i systematycznym, co



Rys. 9. Przykładowy profil geologiczny pokładu 325/1 wraz z wynikami badań penetrometrycznych stropu

Fig. 9. Exemplary geological profile of coal seam 325/1 together with the results of penetrometer tests of roof

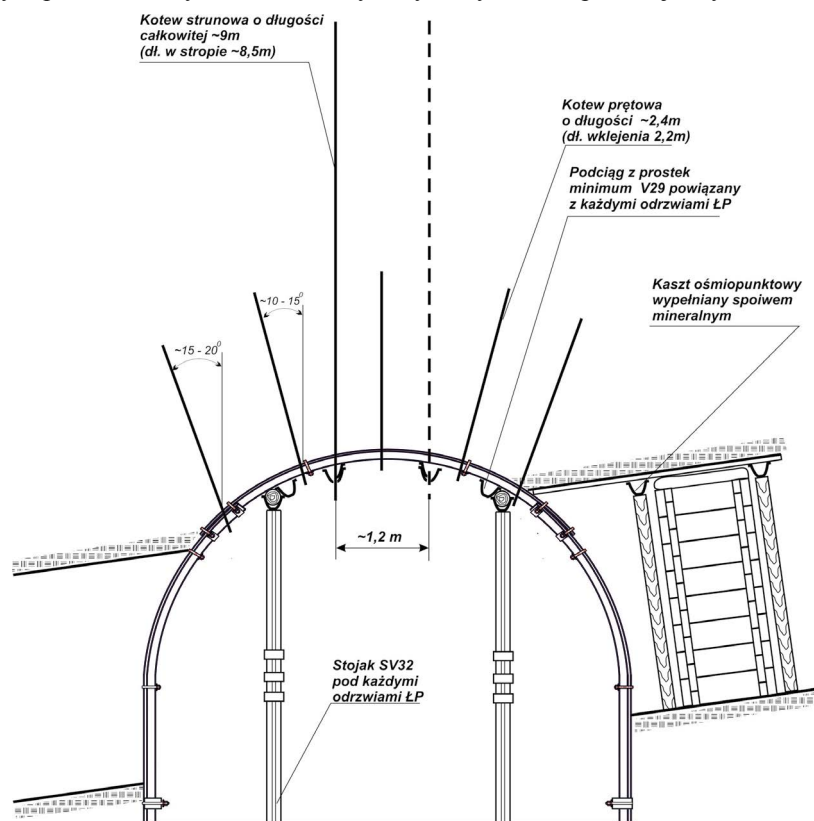
TABELA 2. Wybrane parametry pokładu węgla 325/1 i skał otaczających

TABLE. 2. The chosen parameters of 325/1 coal bed and surrounding rocks

Rodzaj skały	Ciężar objętościowy γ [kN/m ³]	Moduł Younga E [MPa]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
Piaskowiec	24,50	8500	34,5
Łupek ilasty	25,23	4340	25,2
Węgiel pokładu 325/1	12,3	1310	17,3
Łupek ilasty	25,23	4340	18,3

kilkadziesiąt metrów, tamowaniem chodnika kierunkowego 3. W tej sytuacji dopływająca ze zrobów do chodnika woda nie mogła być odpompowywana na bieżąco. Docelowy sposób zabezpieczenia chodnika utrzymywanego w jednostronnym otoczeniu zrobów przedstawio-

no na rysunku 10. Ze względu na rozmiary napędu przenośnika ścianowego i zastosowany wysyp czołowy chodnik został wykonany w obudowie ŁP/12/V32/4/A. Zastosowano odrzwia z kształtownika V32 ze stali o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych S480W w podziałce 0,75 m. Chodnik drążono z zastosowaniem kombajnu MR340X-Ex/201 wyposażonego w kotwiarzkę typu VSB18-4329, co pozwoliło na realizację kotwienia bezpośrednio w przodku (Rak i in. 2015). Na tym etapie, bezpośrednio po zabudowie opinki ze siatki stalowej, przystępowano do instalowania 5 kotwi prętowych o długości 2,5 m w każdym polu obudowy, rozmieszczonych symetrycznie w przekroju wyrobiska (rys. 10).

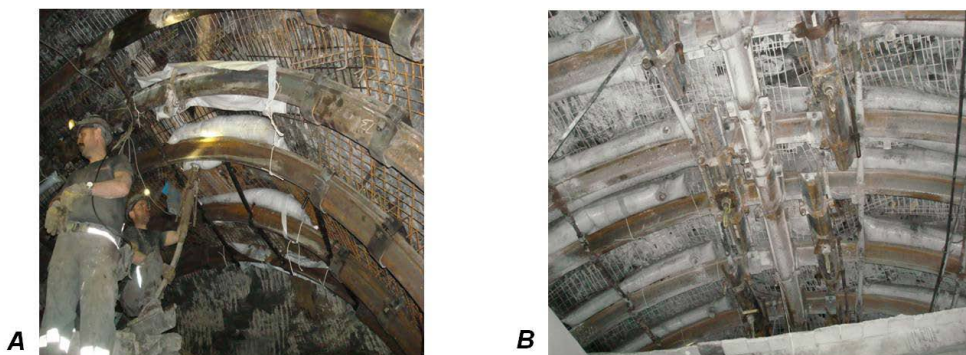


Rys. 10. Sposób zabezpieczenia chodnika kierunkowego 3 za ścianą nr 102 w pokładzie 325/1

Fig. 10. Protection method of directional roadway 3 behind the longwall face no. 102 in coal seam 325/1

Także w przodku, na koniec każdej zmiany, wykonywano wykładkę mechaniczną pustki pomiędzy obudową, a wyłomem (Rak i in. 2015) (rys.11).

Zastosowano tu sprawdzoną w warunkach LW Bogdanka technologię wykorzystującą worki z płótna polipropylenowego wypełniane spoiwem mineralno-cementowym. W odległości od 60 do 200 m od czoła przodka realizowano przykotwianie odrzwi obudowy ŁP za pomocą krótkich prostek z kształtownika V32 oraz kotwi strunowych o długości 9 m (rys. 11). W tym wypadku zastosowano kotwie strunowe iniekcyjne typu IR-4SC



Rys. 11. Wykonywanie wykładki mechanicznej w przodku chodnika (A) oraz widok przykotwionych odrzwi wraz z wykładką mechaniczną (B)

Fig. 11. Performing the mechanical lining in the forehead of roadway (A) and a view of bolted door frame together with mechanical lining (B)

o nośności 450 kN wklejane za pomocą dwukomponentowego kleju krzemianowo-izocjanowym typu Krzemopur HS. Pozwoliło na osiągnięcie dwóch celów, tj. wklejenie kotwi na całej długości oraz sklejenie spękanego stropu. Kotwy budowano naprzemiennie po jednej w każdym polu obudowy podporowej w odległości około 0,6 m od osi wyrobiska (Rak i in. 2015).

Jeszcze przed frontem ściany instalowano, ponad zamkami obudowy, dwa podciągi z prostek V29. Bezpośrednio za ścianą, podobnie jak w chodniku 1/VI, budowano rząd kasztów bukowych, czteropunktowych o wymiarach zewnętrznych $1,2 \times 1,2$ m, który następnie wypełniano spoiwem mineralno-cementowym o końcowej wytrzymałości na ściskanie powyżej 40 MPa. Ostatni etap wzmocnienia obudowy chodnika realizowano kilkanaście metrów za ścianą i polegał on na zabudowie pod podciągami dwóch rzędów stojaków SV32 w rozstawie co 0,75 m. Zabudowa stojaków nie mogła być realizowana bezpośrednio za ścianą, gdyż w tym sektorze dokonywano głębokiej pobierki spągu, co zostało skomentowane w dalszej części artykułu.

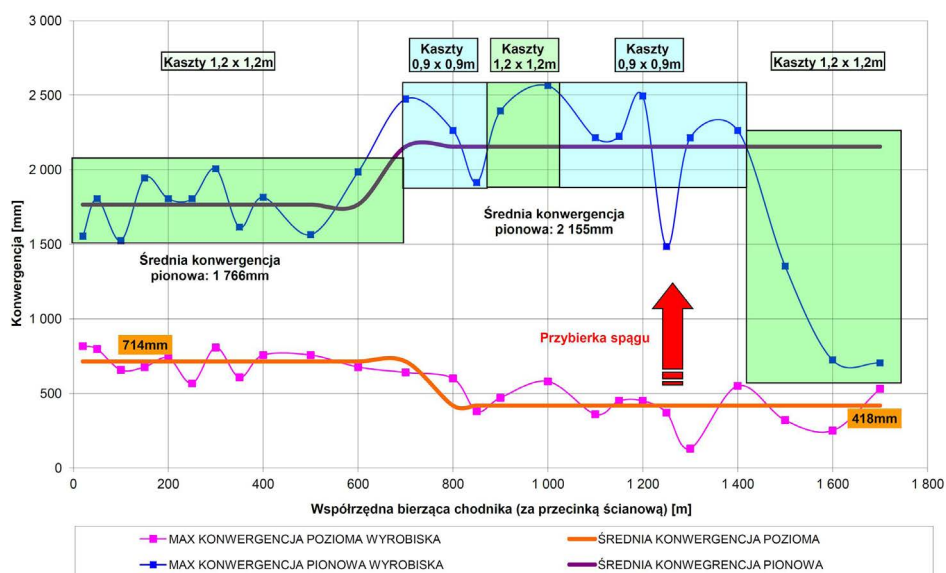
3. Ocena rezultatów utrzymania chodników w jednostronnym otoczeniu zrobów

W przypadku chodnika 1/VI, dzięki wentylacji ściany systemem na Y, istniała możliwość jego bieżącego nadzorowania oraz prowadzenia pomiarów. Chodnik kierunkowy 3 był systematycznie tamowany za ścianą, co uniemożliwiło nadzór nad obudową i realizację pomiarów. Stąd w tym drugim przypadku ocena ma charakter sprowadzający się jedynie do wyników obserwacji poczynionych po udrożnieniu wyrobiska.

3.1. Chodnik podścianowy 1/VI w pokładzie 385/2

Podczas utrzymywania chodnika 1/VI prowadzono szeroko zakrojone badania konwergencji wyrobiska, zsuwu elementów obudowy oraz rozwarstwień stropu za pomocą kamery introskopowej. Ze względu na obszerny zakres poligonu badawczego skomentowano jedynie wyniki pomiarów konwergencji pionowej i poziomej wyrobiska. Na rysunku 12 zamieszczono wyniki tych badań.

Średnia konwergencja pozioma na całej długości chodnika zamykała się w przedziale od 0,3 do 0,7 m i można ją uznać za niewielką z punktu widzenia funkcjonalności wyrobiska. Praktycznie na całej długości wyrobiska gdzie zastosowano kaszty o większych rozmiarach, tj. $1,2 \times 1,2$ m, konwergencja średnia pionowa wyniosła od 0,9 do 1,8 m i była związana głównie z wypiętrzeniem spągu. Obudowa chodnika poza niewielkimi lokalnymi deformacjami pozostawała w bardzo dobrym stanie (rys. 13).



Rys. 12. Wyniki pomiarów konwergencji w chodniku 1/VI utrzymywanym w jednostronnym otoczeniu zrobów (Herezy 2013)

Fig. 12. Results of convergence measurements in roadway 1/VI maintained in one-sided surroundings of goaf

Uzyskany czynny przekrój wyrobiska pozwalał na bezproblemową realizację transportu materiałów kolejką podwieszaną. Jak już wspomniano na odcinkach od około 750 do około 850 mb, a następnie od około 1000 do 1400 mb dokonano zmiany kasztu na mniejszy, w celu zredukowania kosztów utrzymywania wyrobiska. Decyzja ta okazała się jednak brzemienna w skutkach. Przy stosunkowo słabym spągu kaszty o zredukowanym przekroju poprzecznym uległy przemieszczeniu lokalnie nawet ponad 0,5 m. To „wbicie kasztów” w spąg wywołało przeciążenie elementów obudowy podporowej chodnika oraz zerwanie



Rys. 13. Widok chodnika I/VI utrzymywanego za ścianą

Fig. 13. A view of roadway I/VI maintained behind longwall face

kotwi strunowych. W rezultacie chodnik praktycznie na całym odcinku od 750 do 1400 mb wymagał całkowitej przebudowy.

3.2. Chodnik kierunkowy 3 w pokładzie 325/1

Po otwarciu tam w chodniku kierunkowym 3 dokonano inwentaryzacji wyrobiska. Niestety ze względu na zagrożenie metanowe nie było możliwe zrealizowanie dokumentacji fotograficznej. Na zasadniczej części wyrobiska stwierdzono stosunkowo niewielką konwergencję pionową, zasadniczo nieprzekraczającą 2 m, która związana była z wypiętrzaniem spągu. Stan obudowy uznano za dobry, nie stwierdzono poważniejszych deformacji łuków obudowy lub zerwania kotwi strunowych. Odtworzenie wyrobiska w tej części polegało jedynie na pobierze spągu. Na odcinku o długości około 400 m, począwszy od około 300 m od linii zatrzymania ściany, chodnik uległ jednak praktycznie całkowitej degradacji. Przy wypiętrzaniach spągu na poziomie ponad 2 m doszło do znacznych deformacji łuków stropowych. Charakterystyczne były znaczne zsuwy na zamkach oraz zniszczenie strzemion na ociosie od strony calizny. Zaobserwowano również liczne przypadki zerwania kotew strunowych. W miejscach szczególnie zdeformowanej obudowy obserwowano także silne przemieszczenie stojków SV dołem ku osi wyrobiska wskutek wypiętrzania spągu. Nierzadko stwierdzano złamanie łuków ociosowych od strony zawału. Lokalnie całkowita konwergencja pionowa osiągnęła poziom ponad 3 m. Na tym odcinku dokonano całkowitej przebudowy wyrobiska, która polegała na pobierze spągu i zabudowie nowych, mniejszych odrzwi typu ŁP. Zaobserwowane zjawiska na tym odcinku sugerowały niepoprawną pracę podpór z kasztów wypełnianych spoiwem i w konsekwencji przeciążenie elementów obudowy podporowej i kotwowej chodnika. Przyczyn zaistniałej sytuacji należy poszukiwać zarówno w wykonawstwie zabezpieczeń chodnika za ścianą, jak i warunków geologiczno-górnictwowych. Trzy najistotniejsze z nich, zdaniem autora, to:

- nieprawidłowości w zabudowie kasztów w tym okresowe zaniechanie ich wypełniania ich spoiwem, co kilkukrotnie zmniejsza ich podporność i wydatnie zwiększa

ściśliwość; brak wypełnienia kasztu powodowany był trudnościami logistyki transportu dołowego przy znacznych postępach ściany 102 na zdegradowanym odcinku chodnika,

- głębokie pobieranie spągu bezpośrednio za ścianą, co przy znacznej wysokości progu (około 1 m) od strony wlotu do ściany skutkowało przemieszczeniem spągu pod zabudowanym kasztem, a rezultacie jego wyboczeniem i utratą podporności,
- brak możliwości ujmowania wody w wyrobisku po jego zatamowaniu i jej destrukcyjne działanie na skały iłowcowe występujące w spągu eksploatowanego pokładu; utrata nośności warstwy iłowca spągowego spowodowała dodatkowe przemieszenie pionowe obciążonego kasztu.

Podsumowanie

Poniżej sformułowano kilka wniosków o charakterze ogólnym, które na podstawie zdobytych doświadczeń można uznać za szczególnie istotne w procesie projektowania zabezpieczeń wyrobisk przeznaczonych do utrzymywania w jednostronnym otoczeniu zrobów.

- Technologia utrzymywania wyrobiska za ścianą powinna być poprzedzona gruntowną analizą warunków górniczo-geologicznych na całym wybiegu ściany. Decydującą rolę odgrywają strefy wzmożonych naprężeń (uskoki, zaburzenia sedymentacyjne, zaszłości eksploatacyjne), warunki spągowe z uwzględnieniem zwłaszcza parametrów odkształceniowych i wytrzymałościowych skał spągu bezpośredniego oraz obecność wody złożowej.
- Współwystępowanie wody oraz podatnych na oddziaływanie wody skał, szczególnie spągowych, wymaga prowadzenia w wyrobisku rzetelnej gospodarki wodnej. Brak możliwości ujmowania wody (np. w systemie ścianowym z przewietrzaniem na U) w wyrobisku utrzymywanym za ścianą poddaje w wątpliwość zasadność przedsięwzięcia.
- Wybór metody zabezpieczenia wyrobiska powinien zostać poparty obliczeniami uwzględniającymi pracę całego systemu w określonych warunkach górotworu. Decydującą rolę odgrywają jednak doświadczenia ruchowe zdobyte w danej partii złoża.
- Przygotowanie wyrobiska do utrzymywania za ścianą rozpoczyna się w fazie jego drażenia. Nie tylko typ obudowy, jej rozmiar, wielkość kształtownika, podziałka od-rzwi, ale także dodatkowe wzmocnienia górotworu kotwiami w przodku oraz sposób i jakość wykonania wykładki za obudową są niezwykle istotne z punktu widzenia stateczności wyrobiska za frontem ściany.
- Dobór podpory wspornika stropowego za ścianą w postaci kasztów, pasa podsadzko-wego lub słupów powinien być oparty na dwóch kryteriach – nośności samej podpory oraz wyężenia spągu w miejscu jej zabudowy. Zbyt małe przekroje poprzeczne pod-pór grożą efektem ich „topienia” w spągu i w konsekwencji przeciążeniem obudowy wyrobiska.
- Głęboka pobierka spągu bezpośrednio za ścianą może doprowadzić do dodatkowych przemieszczeń skał spągowych, co wpływa negatywnie na podpory budowane przy

wyrobisku oraz w jego świetle. Proces pobierki należy opóźnić, a optymalnie realizować dopiero przed uruchomieniem drugiej ściany.

- Równie ważnym jak dobór odpowiednich zabezpieczeń jest jakość ich wykonawstwa. Rygorystyczne przestrzeganie jakości robót jest kluczowym elementem decydującym o powodzeniu przedsięwzięcia. Ze względu na znaczne koszty tych zabezpieczeń oraz jeszcze wyższe koszty ewentualnego niepowodzenia, nadzór nad realizacją tych robót powinien być tu szczególnie dokładny.

Artykuł przygotowany w ramach pracy statutowej AGH Akademii Górniczo-Hutniczej nr 11.11.100.005.

Literatura

- Bobek i in. 2014 – Bobek, R., Śledź T., Ratajczak A. i Gluch P. 2014. Problemy utrzymania chodników przyścianowych w warunkach zagrożeń naturalnych w KWK „Knurów-Szczygłowice” Ruch Knurów. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* nr 86, s. 123–149.
- Barton i in. 2000 – Barton, R., Bywalec, E. i Gluch, P. 2000. Pierwsze doświadczenia ze stosowania stojaków podporowych PINK-AS do utrzymywania chodników przyścianowych w jednostronnym otoczeniu zrobów w kopalni „Sośnica”. *Wiadomości Górnicze* 9, s. 406–413.
- Korzeniowski, W. i Nielacny, P. 2010. Metody i skuteczność wzmocnienia chodników przyścianowych w KWK „Ziemowit”. *Przegląd Górniczy* nr 5, s. 1–9.
- Majcherczyk i in. 2013 – Majcherczyk, T., Małkowski, P. i Niedbalski, Z. 2013. *Analiza utrzymania stateczności wyrobisk korytarzowych w długim okresie. Prewencja zagrożeń naturalnych*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa, s. 282–294.
- Prusek, S. 2008. *Metody prognozowania deformacji chodników przyścianowych w strefach wpływu eksploatacji z zawalem stropu*. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa 874, Katowice.
- Rak, Z. 2011a. Utrzymanie wyrobisk przyścianowych za frontem eksploatacji w trudnych warunkach geologiczno-górnicznych na przykładzie Kopalni LW „Bogdanka” S.A., Cz. I, Przegląd technologii. *Przegląd Górniczy* nr 1–2, s. 33–42.
- Rak, Z. 2011b. Utrzymanie chodnika za ścianą w trudnych warunkach geologiczno-górnicznych na przykładzie Kopalni LW „Bogdanka” S.A. Cz. II. Doświadczenia ruchowe. *Przegląd Górniczy* nr 1–2, s. 43–50.
- Rak i in. 2015 – Rak, Z., Stasica, J., Ciepliński, Z. i Borgiel, D. 2015. Wysoko wydajny przodek chodnikowy w drażeniu wyrobisk przewidzianych do późniejszego wykorzystania w jednostronnym otoczeniu zrobów. *Przegląd Górniczy* nr 6, s. 16–22.