

Ściana zamykająca prowadzona w trudnych warunkach górniczych – analiza przypadku

Island longwall operations in difficult mining conditions – case study



Mgr inż. Adam Robakowski*)



Mgr inż. Jacek Kowalczyk*)



Dr inż. Wojciech Masny***)



Dr inż. Sylwester Rajwa***)



Mgr inż. Aleksander Wrańa***)

Treść: W artykule przedstawiono doświadczenia związane z eksploatacją ściany zamykającej C-5a zlokalizowanej w pokładzie 505 w KWK ROW Ruch Marcel. Poza niekorzystnymi warunkami związanymi z obustronnym otoczeniem pola ścianowego zrobami zawalowymi, ściana charakteryzowała się nieregularnym kształtem, a na jej wybiegu występowały wyrobiska korytarzowe. Ponadto, na warunki wybierania ściany miała również wpływ zakończona eksploatacja w pokładach niżej i wyżej zalegających. W artykule scharakteryzowano uzyskane wyniki produkcyjne.

Abstract: This paper presents experiments related to the operations of island longwall no. C-5a in the seam no. 505 in Coal mine ROW – Part “Marcel”. In addition to the unfavourable conditions with respect to longwall being surrounded by caving gobs, the panel had an irregular shape and the mined-out roadways were located on the longwall run. Furthermore, the previous extraction conducted in over and under lying seams had an impact on the mining conditions. The achieved production results were presented in this paper.

Słowa kluczowe:

ściana zamykająca, obudowa, wskaźnik nośności stropu „g”, wyniki produkcyjne

Keywords:

island longwall, support, roof bearing capacity index „g”, production results

1. Wprowadzenie

Ścianowy system eksploatacji złóż węgla kamiennego oprócz zalet, z których główną jest możliwość mechanizacji robót i koncentracja wydobycia wpływająca na poprawę wyników finansowych, ma również wady, wśród których wymienić

można m.in. znaczne koszty wyposażenia, czasochłonność fazy zbrojenia i likwidacji czy trudności w prowadzeniu ścian w przypadku występowania zaburzeń w zaleganiu pokładu (Turek 2010). Niemniej w chwili obecnej jest on dominującym systemem eksploatacji w polskim górnictwie węgla kamiennego.

W pewnych, specyficznych warunkach, które wynikają z warunków geologicznych (uskoki) lub też typowo górniczych (kolejność wybierania złoża) możemy mieć do czynienia

* PGG SA, Oddział KWK ROW

** Główny Instytut Górnictwa, Katowice

z sytuacją, gdy nagromadzenie negatywnych uwarunkowań w trakcie eksploatacji złoża systemem ścianowym jest szczególnie duże. W niniejszym artykule analizowano wybraną ścianę, podczas wybierania której występowała wzmogona koncentracja negatywnych czynników, mogących w istotny sposób wpływać na osiągnięte wyniki produkcyjne. Wśród nich wymienić można m.in. obustronne otoczenie zamykającego pola ścianowego zrobami zawałowymi, które posiada istotny wpływ na wzrost aktywności sejsmicznej i w konsekwencji zagrożenia tapaniami (Burtan, Chlebowski 2007; Konopko 2010; Jiang, i in. 2012). Co więcej, obydwa chodniki przyścianowe prowadzone były wzdłuż zrobów zawałowych, a więc w warunkach sprzyjających zwiększonemu obciążeniu obudowy oraz znacznej konwergencji (Prusek 2008; Qian i in. 2016; Małkowski i in. 2016; Lubosik i in. 2017). Dodatkowo niekorzystnym czynnikiem jaki mógł negatywnie wpłynąć na osiągnięte wyniki produkcyjne było występowanie krawędzi eksploatacyjnych mogących powodować wzrost obciążenia górotworu (Biliński A. 2005; Gauna, Mark 2017). Także nieregularny kształt pola ścianowego i występujące na wybiegu frontu wyrobiska korytarzowe ograniczają postęp z powodu konieczności wykonywania dodatkowych operacji technologicznych w ścianie.

2. Warunki geologiczno-górnice analizowanej ściany

Pokład 505 w rejonie ściany C-5a, zamykającej eksploatację w tym rejonie, zalegał na głębokości od około 365 do 410 m p.p.t. i nachylony był pod kątem do 13° w kierunku na NNE i NE. Ze względu na fakt, że miąższość pokładu wahała się w zakresie od 6,6 do 8,0 m, ściana o wysokości 3,0 m, prowadzona była pod stropem pokładu po spągu węglowym. Ze względu na nieregularny kształt pozostawionego fragmentu pokładu 505, długość ściany była zmienna i zawierała się w przedziale od 87,5 do 128,0 m, natomiast jej średnia długość wybiegu wynosiła około 660 m.

W stropie pokładu 505 występował przeważnie ilowiec, często o podzielności łupkowej, powyżej którego zalegał mułowiec lub też piaskowiec. Iłowiec o miąższości przekraczającej 7,0 m, przeławicony był w niektórych rejonach warstwami mułowca oraz piaskowca. Na niewielkim obszarze, w początkowej fazie wybiegu ściany w stropie występował również piaskowiec. Parametry wytrzymałościowe R_c węgla

pokładu 505 zawierały się w przedziale $14,2 \div 16,5$ MPa, zaś skał zalegających w stropie $20,1 \div 43,8$ MPa.

Jak pokazano na rysunku 1, pole ścianowe znajdowało się w obustronnym otoczeniu zrobów zawałowych, powstałych po eksploatacji ścian prowadzonych po stronie północnej w latach 2011÷2012 oraz 2003÷2004 po stronie południowej, których wysokości dochodziły do 3,0 m.

Nie mniej istotnym jest fakt, że w rejonie pola ściany C-5a prowadzono eksploatację w pokładzie zalegającym powyżej tj. 501/3 (wybranie w większej części pola ściany) oraz poniżej – 507 (eksploatacja w części południowej). Krawędzie te oznaczone zostały na rysunku 1 w kolorach odpowiednio pomarańczowym oraz zielonym.

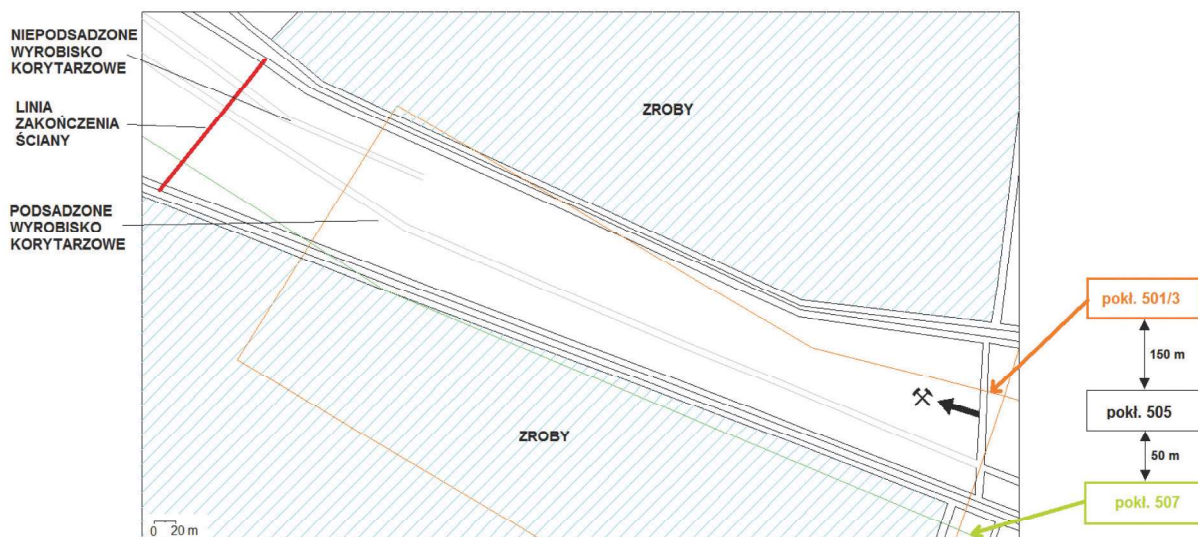
Na wybiegu ściany C-5a znajdowały się również, prostopadle do jej czoła, dwa wyrobiska korytarzowe. Pierwsze zlokalizowane było na całym jej wybiegu, umiejscowione w przekroju poprzecznym ściany i podsadzone. Drugie natomiast występowało na końcowym wybiegu odcinka ściany i zlokalizowane było w spągu ściany, co również wymuszało stosowanie odpowiednich zabiegów technologicznych.

Podczas eksploatacji ściany C-5a prognozowano występowanie wstrząsów górotworu o energiach rzędu 10^4 J, co potwierdziły późniejsze pomiary sejsmiczne (maksymalnie zarejestrowana energia to $2,8 \cdot 10^4$ J). Generalnie zaś pokład 505 w rejonie analizowanej ściany zakwalifikowano do następujących grup zagrożeń:

- stopień zagrożenia tapaniami: I (w części poniżej poziomu 400 m),
- klasa zagrożenia pyłowego: B,
- kategoria zagrożenia metanowego: III,
- stopień zagrożenia wodnego: I.

3. Obudowa zmechanizowana oraz obudowa chodników przyścianowych

Do zabezpieczenia stropu ściany C-5a zastosowano sekcje obudowy zmechanizowanej typu BW 20/41 POz1 (sekcje liniowe) i BW 20/41 POz1/S (sekcje skrajne), których podstawowe dane zestawiono w tabeli 1. Sekcje obudów współpracowały z przenośnikiem ścianowym typu Rybnik-850 oraz kombajnem SL-300.



Rys. 1. Szkic mapy pokładu 505 w rejonie analizowanej ściany C-5a

Fig. 1. The map of the seam no. 505 in the area of the analyzed longwall C-5a

Tabela 1. Dane techniczne sekcji obudów zmechanizowanych
Table 1. Technical data of powered shield support

- wysokość obudowy	2,0 – 4,1 m
- wysokość robocza (pokłady tąpniące)	2,3 – 4,0 m
- podziałka sekcji	1,5 m
- nachylenie podłużne	do 35o
- nachylenie poprzeczne	± 15o
- krok sekcji	do 0,8 m
- długość stropnicy BW 20/41 POz1 / BW 20/41 POz1/S	3645 / 3660 (+800 wysuw) mm
- liczba stojaków	2
- średnica stojaka	320 mm
- podporność wstępna/robocza stojaka	2,01/3,54 MN
- ciśnienie zasilania/robocze	25,0/44,0 MPa

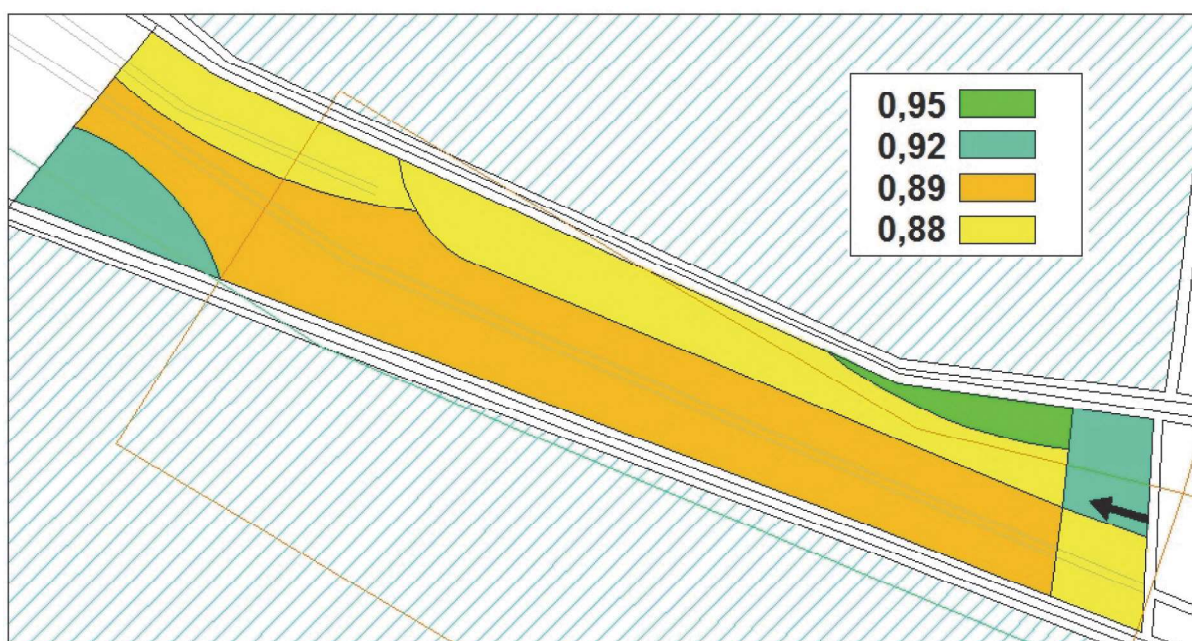
W oparciu o przeprowadzone analizy poprzedzające eksploatację ściany, Główny Instytut Górnictwa pozytywnie zaopiniował dobór sekcji obudowy zmechanizowanej, o czym świadczyły obliczone wartości wskaźnika nośności stropu „g” $> 0,8$ (Biliński 2005) – rysunek 2. Wpływ na to miała przede wszystkim korzystna geometria sekcji, jak również znaczne – jak na warunki polskiego górnictwa – wartości podporności wstępnej oraz roboczej stojaków obudowy.

Podstawową obudowę chodników przyścianowych stanowiły odrzwia stalowej obudowy podatnej typu LP10/V29/A, w podziałce 1,0 m, wykonane ze stali o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych wg PN-H-84042. Ze względu na zmienną długość ściany praktycznie na całym jej wybiegu, w celu odpowiedniego zabezpieczenia chodników przyścianowych w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem, wykonano szereg obliczeń. Uwzględniały one zarówno zastosowanie odrzwia obudowy stalowej, indywidualnej przy wykorzystaniu stropnic stalowych o długości do 5,0 m, podbudowanych stojakami stalowymi, korzystając z metodyki GIG opartej na pracy Bilińskiego (2005), jak i możliwość całkowitego lub częściowego wysunięcia sekcji obudowy zmechanizowanej do chodnika przyścianowego. W tym drugim przypadku obliczenia wykonywano w programie COSMOS/M (1999) opartym na metodzie elementów skończonych. Przykład analizy schematu zabudowy skrzyżowania ściana-chodnik,

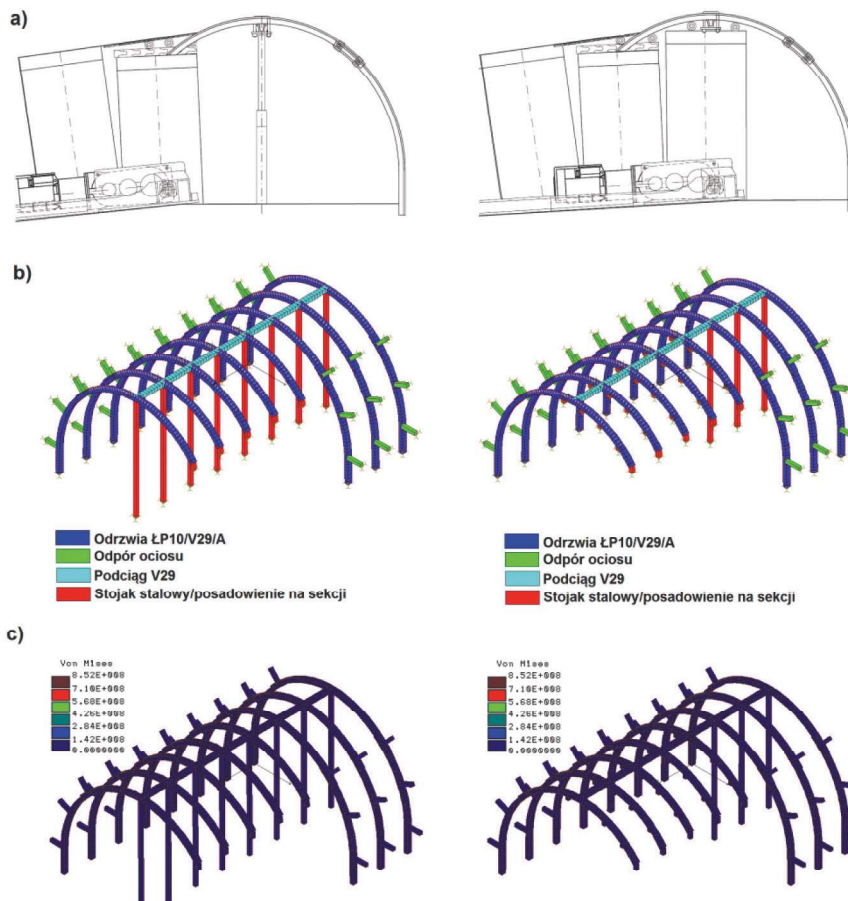
uwzględniającego wysunięcie częściowe lub całkowite sekcji obudowy zmechanizowanej do chodnika, przedstawiono na rysunku 3.

Jak wynika z rysunku 3c, naprężenia zredukowane w elementach odrzwia oraz w podciągach nie przekraczają naprężeń dopuszczalnych. Wynoszą one maksymalnie 284 MPa wobec dopuszczalnych 708 MPa. W modelach ocenie poddano również reakcje podporowe w elementach symulujących stojaki i były one niższe od maksymalnych nośności proponowanych do zastosowania stojaków. Ocena przykładowych schematów zabudowy skrzyżowania była zatem pozytywna. Podobny tok postępowania dotyczył wszystkich proponowanych do zastosowania w analizowanej ścianie schematów zabudowy jej skrzyżowań z chodnikami przyścianowymi.

Poprawność właściwego doboru obudowy potwierdzają pomiary konwergencji chodników przyścianowych przeprowadzone w lipcu 2016 roku. W chodniku nadścianowym (chodnik ścianowy C-5b) całkowita wartość konwergencji pionowej i poziomej w odległości 20 m przed ścianą wynosiła odpowiednio 0,463 m i 0,515 m, a oszacowane zmniejszenie pola przekroju poprzecznego wyniosło około 21%. Z kolei w chodniku podścianowym (chodnik ścianowy C-5c) wartości konwergencji pionowej i poziomej były wyższe, wynosząc odpowiednio 0,706 m i 0,404 m, przy zmniejszeniu przekroju poprzecznego o około 26% - rysunek 4.

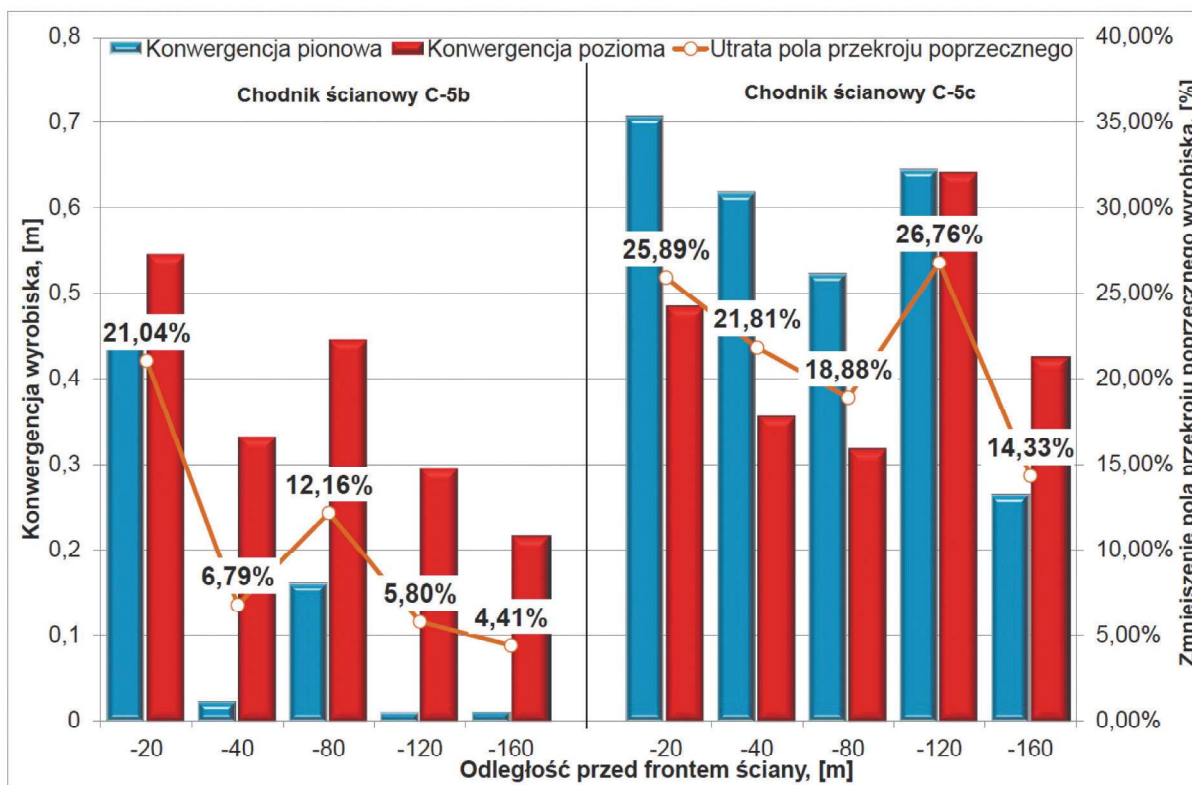


Rys. 2. Szkic mapy pokładu 505 w rejonie analizowanej ściany C-5a wraz z wartościami wskaźnika nośności stropu „g”
Fig. 2. The map of the seam no. 505 in the area of longwall C-5a with values of roof bearing capacity index “g”



Rys. 3. Przykład analizy schematu zabudowy skrzyżowania ściana-chodnik: a) schemat zabudowy, b) model numeryczny, c) wyniki obliczeń numerycznych metodą Hubera-Misesa-Henckego

Fig. 3. The exemplary analysis of support used on T-junction: a) support scheme, b) numerical model, c) the results of numerical calculations based on Huber-Mises-Hencky theory



Rys. 4. Zmiana przekroju poprzecznego oraz konwergencja chodników przyścianowych
 Fig. 4. The cross-cut change and convergence of gateroads

4. Ocena uzyskanych wyników produkcyjnych

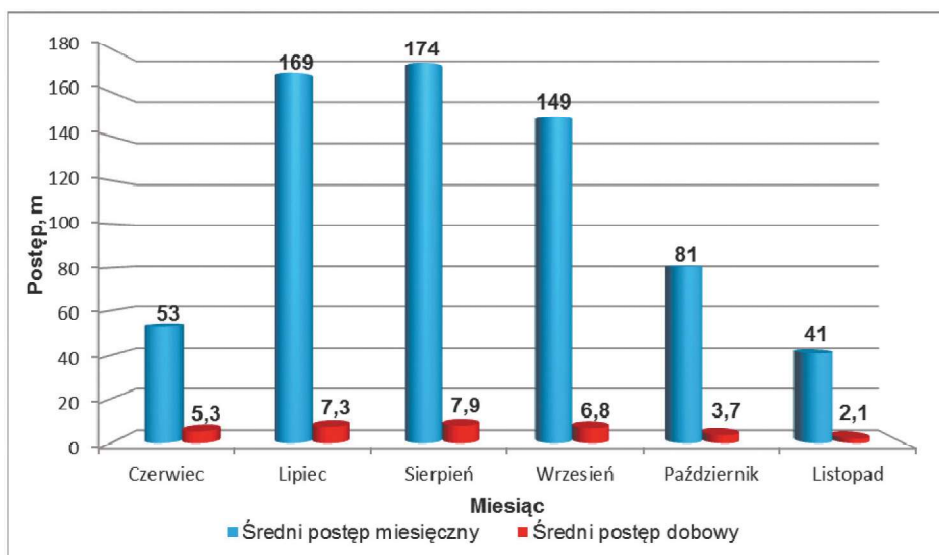
Na rysunku 5 przedstawiono średnie miesięczne oraz dobowe postępy analizowanej ściany C-5a, zaś na rysunku 6 jej wydobyte netto.

Eksploatacja ściany C-5a prowadzona była od czerwca do listopada 2016 roku. Z wykresu przedstawionego na rysunku 5 wyróżnić można trzy zasadnicze etapy robót tzn. rozruch na pierwszych 50,0 m (czerwiec), właściwą eksploatację obejmującą miesiące od lipca do października oraz przygotowanie do fazy likwidacji ściany (listopad). W fazie rozruchu ściany średni miesięczny postęp wynosił 53,0 m, co pozwoliło na wydobyte netto ponad 26,5 tys. Mg węgla o następujących parametrach: wartość opałowa 31 748 kJ/kg, popiół 3,71%, wilgoć 2,5%, siarka 0,54%, spiekalność 42. W tym miesiącu, podobnie z resztą jak w następnym, wydobyte netto było tożsame z wydobyciem brutto, tzn. urobek charakteryzował się brakiem zanieczyszczenia w postaci skał płonnych.

W fazie właściwej eksploatacji ściany C-5a zauważyć można istotną różnicę pomiędzy miesiącami lipiec-wrzesień a październikiem. W miesiącach lipiec-wrzesień osiągnięto średnie postępy miesięczne na poziomie 149,0-174,0 m oraz dobowe 6,8-7,9 m. Ogółem zaś w tym czasie wydobyto

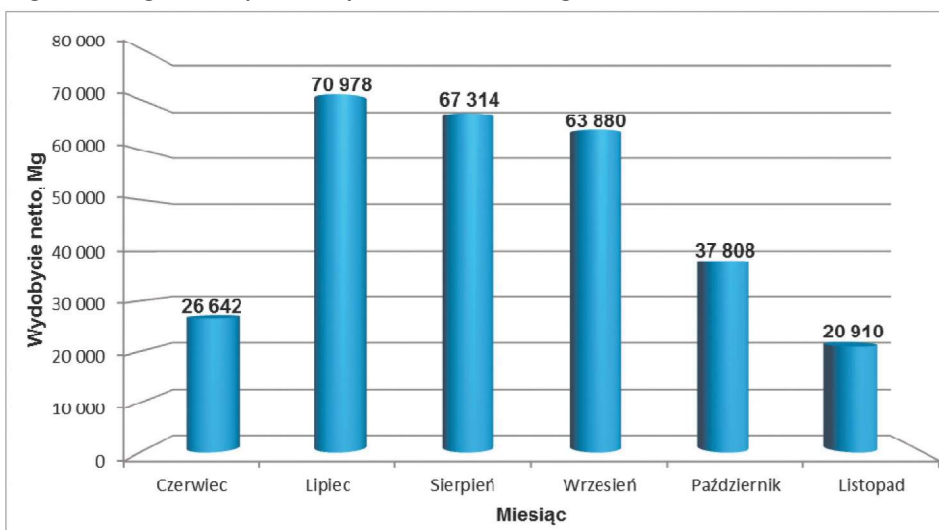
niemal 205 tys. Mg węgla. Różnice w stosunku wydobyte netto-brutto nie przekraczały w tych miesiącach 1,5 tys. Mg. Maksymalny średni postęp miesięczny wyniósł 174,0 m, co przekłada się na wydobyte netto niemal 71 tys. Mg węgla. W szczytowym okresie postęp dobowy wyniósł około 10,0 m. Co ciekawe, w lipcu długość ściany uległa skróceniu ze 111,0 do 87,5 m, czyli o 23,5 m, co wymagało sukcesywnego wydawania sekcji obudowy zmechanizowanej i skracania długości przenośnika ścianowego. Październik z kolei charakteryzował się już znacznie mniejszym średnim postępowaniem miesięcznym 81,0 m i co się z tym wiąże mniejszym wydobyciem netto, tj. niespełna 38 tys. Mg węgla netto. Przyczyną takiego stanu rzeczy było, oprócz konieczności sukcesywnego zwiększania długości ściany z 107,0 na 118,0 m, również wykonanie dodatkowych prac związanych z pojawieniem się wyrobiska w spągu ściany C-5a (por. rysunek 1). Prace te polegały na odpowiednim zabezpieczeniu spągu prostkami o profilu V, bezpośrednio po urobieniu calizny węglowej, tak aby nie nastąpiło zapadnięcie się (wpadnięcie) sekcji obudowy zmechanizowanej do wyrobiska korytarzowego.

W październiku rozpoczęto przygotowania do likwidacji ściany C-5a, stąd wydobyte netto węgla nie przekroczyło 21 tys. Mg. Likwidacja ściany odbywała się poprzez



Rys. 5. Średni miesięczny oraz dobowy postęp w ścianie C-5a

Fig. 5. Average monthly and daily face advance in longwall C-5a



Rys. 6. Wydobyte netto z ściany C-5a

Fig. 6. Net extraction rates in longwall C-5a

dojście ścianą do ustalonej granicy eksploatacji, jej zatrzymanie i wykonanie przecinki likwidacyjnej z wykorzystaniem kombajnu ścianowego. Obudowę przecinki likwidacyjnej stanowiły stropnice z kształtownika V29, wykonane ze stali o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych wg PN-H-84042, posadowione jednym końcem na dwóch stojakach drewnianych, a drugim na obudowie sekcji zmechanizowanej, zabudowane w podziałce 0,75 m.

5. Podsumowanie

Prowadzenie eksploatacji systemem ścianowym, zwłaszcza w przypadku systemu ze ścianą zamykającą, wiązać się może z wystąpieniem szeregu negatywnych czynników, które to wpływać mogą na osiągnięte wyniki produkcyjne. Przykładem takim jest omówiona w niniejszym artykule ściana C-5a, zlokalizowana w pokładzie 505 kopalni ROW, Ruch Marcel. Pomimo negatywnych czynników, wśród których wymienić można: obustronne otoczenie pola ścianowego zrobami zawałowymi, nieregularny kształt pola ścianowego i związana z tym konieczność zarówno dokładania i wydawania sekcji obudowy zmechanizowanej, jak i skracania oraz wydłużania przenośnika ścianowego, występujące na wybiegu wyrobiska korytarzowe, eksploatacja dokonana w pokładach niżej i wyżej zalegających, wykazano że, możliwe jest osiągnięcie znacznych postępów i związanego z tym odpowiedniego poziomu wydobywania. Taki poziom wydobywania wymagał podjęcia szeregu wcześniejszych działań, wśród których wymienić można:

- rozpoznanie, opracowanie i wdrożenie technologii obejmujących m.in. rabowanie chodnika w czole ściany, prowadzenie sekcji bezpośrednio nad starym i niepodszadnym wyrobiskiem korytarzowym,
- zaprojektowanie wariantów zabudowy skrzyżowań ściana-chodnik, uwzględniających zmienną długość ściany (obudowa indywidualna, częściowe lub całkowite wysunięcie sekcji obudowy zmechanizowanej do chodnika),
- odpowiednią organizację robót, co było szczególnie istotne w związku z wydłużaniem/skracaniem długości ściany,
- zapewnienie sprawnego transportu materiałów i odbioru urobku, podsadzenie wyrobiska znajdującego się w przekroju poprzecznym ściany.

Wybieranie pokładu 505 ścianą C-5a, pomimo wcześniejszych obaw, okazało się sukcesem. Nie byłoby to jednak możliwe bez kompleksowej analizy problemu. Wymagało to, oprócz odpowiednio długiego czasu przygotowań, również za-

angażowania i współdziałania zarówno kierownictwa kopalni, załogi, jak i jednostki naukowo-badawczej.

Prace przedstawione w niniejszej publikacji zrealizowano w ramach działalności statutowej Głównego Instytutu Górnictwa nr 11040217-152.

Literatura

- BILIŃSKI A. 2005 - Metoda doboru obudowy ścianowych wyrobisk wybierkowych i chodnikowych do warunków pola eksploatacyjnego. CMG Komag, Gliwice.
- BURTAN Z., CHLEBOWSKI D. 2007 - Poziom zagrożenia sejsmicznego w kopalniach węgla kamiennego a prowadzenie eksploatacji w warunkach skrzepowanych. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa” nr 9, s. 28-33.
- COSMOS/M 1999 - User's Guide, Structural Research & Analysis Corp. Los Angeles, USA.
- GAUNA M., MARK C. 2017 - Unanticipated multiple seam stresses from pillar systems behaving as pseudo gob-case histories. *International Journal of Mining Science and Technology* 27/1, DOI:10.1016/j.ijmst.2016.11.015, s. 131-137.
- JIANG, Y.D., WANG, H.W., XUE, S. 2012 - Assessment and mitigation of coal bump risk during extraction of an island longwall panel. *International Journal of Coal Geology*, 95, 1, 20-33. DOI: 10.1016/j.coal.2012.02.003 s. 20-33.
- KONOPKO W. 2010 - Warunki bezpiecznej eksploatacji pokładów węgla zagrożonych metanem, tapaniami i pożarami endogenicznymi. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- LUBOSIK Z., WACLAWIK P., HORAK P., WRANA A. 2017 - The influence of in-situ rock mass stress conditions on deformation and load of gate-road supports in hard coal mine. *Procedia engineering* 191, s. 975-983.
- MAŁKOWSKI P., NIEDBALSKI Z., MAJCHERCZYK T. 2016 - Roadway design efficiency indices for hard coal mines. *Acta Geodyn. Geomater.* 13(2), s. 201-2011.
- PN-H-84042 2009 - Stale mikrostopowe na kształtowniki i akcesoria górnicze.
- PRUSEK S. 2008 - Metody prognozowania deformacji chodników przyścianowych w strefach wpływu eksploatacji z zawałem stropu, *Prace naukowe GIG Nr 874*, Katowice.
- QIAN D., ZHANG N., SHIMADA H., WANG C., SASAOKA T., ZHANG T. 2016 - Stability of Goaf-side Entry Driving in 800 m Deep Island Longwall Coal Face in Underground Coal Mine. *Arabian Journal of Geosciences* nr 9, DOI: 10.1007/s12517-015-2119-6.
- TUREK M. 2010 - Podstawy podziemnej eksploatacji pokładów węgla kamiennego. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

Artykuł wpłynął do redakcji – luty 2018

Artykuł akceptowano do druku 11.04.2018