



Rekonsolidacja zrobów zawałowych w świetle dotychczasowych doświadczeń

Reconsolidation of gobs in the light of previous experience

Dr inż. Wojciech Masny^{*)}

Treść: W artykule zaprezentowano metody oceny stopnia rekonsolidacji oraz wyznaczania parametrów wytrzymałościowych zrobów zawałowych w przypadkach prowadzenia eksploatacji z podziałem na warstwy. Przedstawiono stosowaną w Głównym Instytucie Górnictwa metodę umożliwiającą ocenę stopnia rekonsolidacji zrobów oraz określenie ich wytrzymałości zastępczej jeszcze przed rozpoczęciem robót górniczych pod zrobami. Konieczność opracowania takiej metody związana była z potrzebami kopalń w zakresie doboru obudów, zarówno obudów podporowych wyrobisk korytarzowych, jak i zmechanizowanych dla ścian. Ponadto podano dotychczasowe doświadczenia, uwagi i spostrzeżenia wynikające z eksploatacji pod zrobami zawałowymi.

Abstract: The article presents the methods of assessing the degree of reconsolidation and determination of strength parameters of caving gobs in cases of multi-slice extraction. Furthermore, Central Mining Institute method of classification of caving gob reconsolidation and to determine their substitute strength before the start of mining work under the gobs have been presented. The necessity to develop such a method was related to the needs of mines in the selection of support for workings as well as powered support for longwalls. Moreover, previous experience, remarks and observations resulting from the exploitation under the gobs have been given.

Słowa kluczowe:

eksploatacja wielopokładowa, zroby, rekonsolidacja

Keywords:

multi-slice extraction, caving gobs, reconsolidation

1. Wstęp

Eksploatacja pokładów węgla kamiennego o dużej miąższości przysparza wielu problemów technicznych spowodowanych trudnościami w wybieraniu pokładu na całą miąższość jedną warstwą oraz związanych z ochroną powierzchni. Jeżeli pokład ma znaczną miąższość (najczęściej powyżej 4,0 m), w celu ułatwienia lub często nawet umożliwienia eksploatacji, rozpatrzyć należy możliwość jego wybierania z podziałem na warstwy pochyłe lub poziome (Turek 2010). W polskim górnictwie węgla kamiennego najpopularniejszym sposobem eksploatacji jest system z zawałem stropu, przy kierunku wybierania warstw z góry na dół (Prusek 2016). Zastosowanie takiej odmiany systemu eksploatacji może wiązać się jednak z szeregiem niekorzystnych zjawisk, takich jak intensyfikacja zagrożenia pożarowego, konieczność odpowiedniej koordynacji robót czy dodatkowe prace związane np. z doszczelnianiem zrobów. Jednym z najbardziej istotnych zagrożeń jest zaś konieczność prowadzenia robót przygotowawczych i wybierkowych w kolejnej warstwie pod zrobami zawałowymi, których stopień rekonsolidacji może być niedostateczny. Jak wskazuje Prusek (2016), rekonsolidacja zrobów obok innych czynników, takich jak np. usytuowanie frontu eksploatacji względem linii biegu płaszczyzn spēkań, oddziaływanie wstrząsów górotworu czy otwarcie stropu, jest jednym z istotnych czynników wpływających na utrzymanie stateczności wyrobisk ścianowych.

Stopień rekonsolidacji determinuje również sposób prowadzenia wyrobisk, gdyż mogą być one drażnione z po-

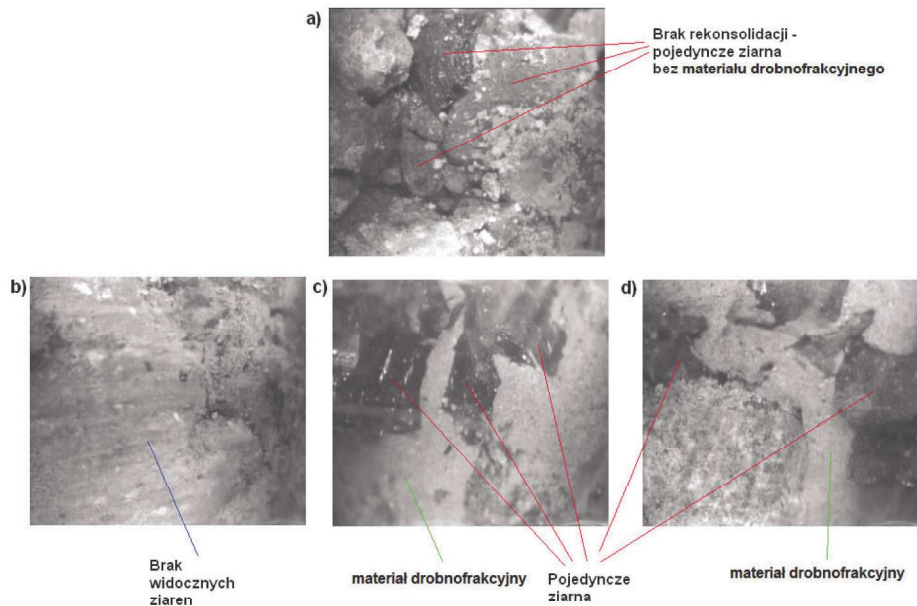
zostawianiem ochronnej półki węglowej, bezpośrednio pod zrobami zawałowymi, lub też z ich przybieraniem. Zatem stopień rekonsolidacji zrobów wpływa na osiągnięte wyniki produkcyjne, zwłaszcza jeżeli uwzględniona zostanie konieczność niezaplanowanych postojów związanych z opadami niedostatecznie zrekonsolidowanego gruzowiska zawałowego podczas drażenia wyrobisk korytarzowych czy eksploatacji ścian.

2. Podstawowe zagadnienia metod oceny stopnia rekonsolidacji oraz wyznaczania parametrów wytrzymałościowych zrobów zawałowych

Rekonsolidacja zrobów zawałowych polega na utworzeniu nośnej warstwy ze skał w wyniku powtórnego ich scalenia i powiązania. Proces ten może zachodzić samoczynnie w odpowiednich warunkach geologiczno-górnicznych lub też być wspomagany środkami zewnętrznymi, w postaci wtłaczania różnego typu odpadów drobnofrakcyjnych. Ideę rekonsolidacji przedstawiono na rysunkach 1a-d.

Jak można zauważyć na rysunku 1a, proces rekonsolidacji nie ma miejsca, gdyż występują jedynie pojedyncze ziarna, które nie zostały otoczone materiałem drobnofrakcyjnym. Na rysunkach 1b oraz 1c i d zaobserwować można natomiast zrekonsolidowane zroby zawałowe, lecz o odmiennym charakterze. W przypadku stanu przedstawionego na rysunku 1b nie można wyróżnić większych ziaren, najczęściej piaskowca czy też łupku piaszczystego, otoczonego materiałem drobnofrakcyjnym, a gruzowisko zawałowe jest jednolite.

^{*)} Główny Instytut Górnictwa, Katowice



Rys. 1. Widoki gruzowisk zawalowych uzyskanych za pomocą kamery introskopowej:
a) brak dostatecznej ilości materiału drobnofrakcyjnego pomiędzy ziarnami, b), c) i d) zrekonsolidowane gruzowisko

Fig. 1. Images of the gobs from the borehole camera: a) lack of sufficient binder quantity between grains, b), c) and d) re-consolidated gobs

Na rysunkach 1c i d natomiast, można wyraźnie wyróżnić większe ziarna oraz otaczający je materiał drobnofrakcyjny stanowiący ich lepszycze.

Stopień rekonsolidacji zrobów zawalowych zalegających w stropie wyrobiska oraz, co się z tym wiąże, stateczność takiego stropu uwarunkowana jest szeregiem czynników, wśród których wymienić można (Łojas i in. 1974, Konopko 1998):

- naturalną skłonność zrobów do rekonsolidacji (np. rozmałkliwość, zawartość łupków ilastych w profilu geologicznym),
- wartość ciśnienia w zrobach (co najmniej 3,5 MPa),
- różnica w czasie pomiędzy wybieraniem warstwy górnej a prowadzeniem robót w warstwie dolnej,
- zawilgocenie zrobów,
- technologia drażenia i obudowy wyrobiska.

Ponadto na stateczność zrekonsolidowanego gruzowiska wpływać mogą:

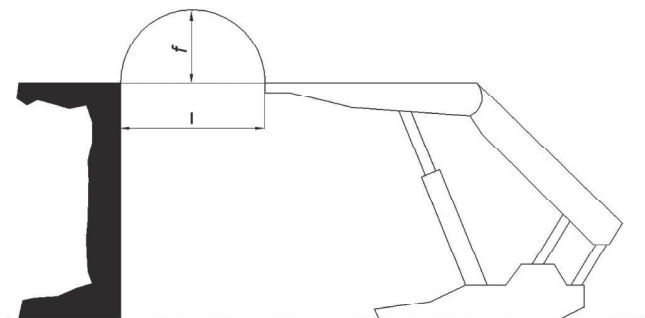
- wielkość wyeksploatowanej powierzchni (obszary przy caliznie w górnej warstwie – np. rejon chodnika przyścianowego – mogą mieć mniejszy stopień rekonsolidacji niż w części środkowej ściany),
- podawanie mieszanin pyłów celem profilaktyki pożarowej,
- nachylenie pokładu i sposób prowadzenia ściany,
- sposób drażenia wyrobiska,
- aktywne oddziaływanie obudowy.

Jak stwierdzono w pracach (Łojas i in., 1974, Łojas 1989), zgodnie z teorią Protodiakonowa, uwzględniając znajomość parametrów gruzowiska zawalowego, zasięg odspojenia zrobów w przyczółkowej części wyrobiska ścianowego (f) określić można według wzoru (rysunek 2):

$$f = \frac{l}{2tg\rho} \quad (1)$$

gdzie:

- l – odległość pomiędzy końcem stropnicy a czołem ściany, m,
- $tg\rho$ – wskaźnik zwięzłości gruzowiska.



Rys. 2. Zasięg odspojenia gruzowiska zawalowego w pułapie ściany

Fig. 2. The collapse height of the gobs in the longwalls roof

Przekształcając równanie (1) Konopko (1998) uzyskał zależność dla obliczania wartości wytrzymałości zastępczej zrobów zawalowych - $R_{cg\ pom}$:

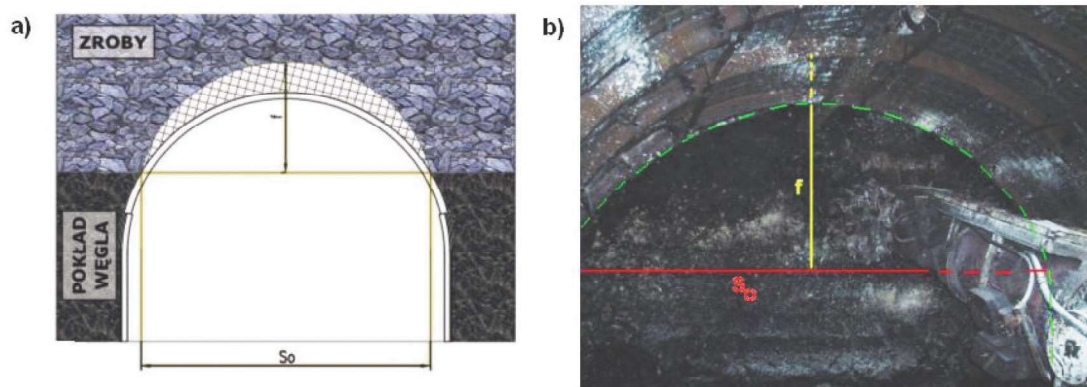
$$R_{cg\ pom} = \frac{S_o}{0,2f} \quad (2)$$

gdzie:

- S_o – szerokość odsłoniętych zrobów, m,
- f – wysokość strzałki sklepienia według teorii Protodiakonowa dla wyrobiska o przekroju prostokątnym, m.

W praktyce górniczej, występujące w zależności (2) wielkości mierzone są w czole drażonego wyrobiska korytarzowego, po jego otwarciu na szerokość podziałki odrzwi, zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 3.

Z praktycznego punktu widzenia najważniejszym wnioskiem wynikającym z pracy Konopki (1998), jest fakt, że znając wartość wytrzymałości zastępczej zrobów $R_{cg\ pom}$ można wykorzystać wzory z mechaniki górotworu dla



Rys. 3. Schemat pomiaru wysokości strzałki sklepienia f [m] oraz szerokości odsłonięcia zrobów S_0 [m] w wyrobisku korytarzowym: (a) oraz pomiary w warunkach dołowych (b) (Masny i in. 2011)

Fig. 3. Scheme of measurement of vault arrow height f [m] and gob exposure width S_0 [m] in a road mine working: (a) and underground measurements (b) (Masny i in. 2011)

określania obciążenia obudowy chodnikowej. Istotne jest także, że tym sposobem można również ocenić stateczność zrekonsolidowanych zrobów zawałowych występujących w pułapie wyrobiska i odpowiednio je klasyfikować, jak w pracy Nierobisza i Pruska (1994).

W pracach Zespołu Katedry Geomechaniki i Budownictwa Podziemnego Politechniki Śląskiej (Chudek 1986, 2000, Chudek i in. 2000, 2010), sytuację panującą w górotworze, w rejonie wyrobisk zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami traktuje się w postaci dyskretnej struktury skały, w której ośrodek przedstawiony jest jako statystyczny układ elementów o dowolnym kształcie, niepowiązanych ze sobą, lecz wspartych o siebie w taki sposób, że pomiędzy nimi występują siły na stykach (Duży 2008).

Uproszczonym sposobem oceny stopnia rekonsolidacji zrobów zawałowych jest metoda punktowa. W metodzie tej wytypowano pięć najważniejszych czynników, przypisując im odpowiednie punkty w określonych przedziałach zmienności. Suma tych punktów określa stopień rekonsolidacji zrobów, który charakteryzowany jest jako: dobry, słaby oraz jako brak scalenia gruzowiska (Nierobisz, Prusek 1994).

Wszystkie przedstawione powyżej metody stosowane były w praktyce lub są stosowane w chwili obecnej przez kopalnie prowadzące roboty górnicze pod zrobami zawałowymi.

3. Metoda GIG oceny stopnia rekonsolidacji oraz określenia wytrzymałości zastępczej zrobów $R_{cg\,obl}$

W 2019 roku mija dekada odkąd Główny Instytut Górnictwa zaprezentował oraz wprowadził do praktyki górniczej metodę oceny stopnia rekonsolidacji oraz określenia wytrzymałości zastępczej zrobów $R_{cg\,obl}$. Pierwszą kopalnią, w której to wdrożono metodę wraz z nadzorem autorskim oraz badaniami laboratoryjnymi i dołowymi była Kopalnia Węgla Kamiennego Bielszowice (obecnie KWK Ruda Ruch Bielszowice).

Bezpośrednim bodźcem do rozpoczęcia prac nad nową metodą był fakt, że zarówno pomiary dołowe umożliwiające określenie wytrzymałości zastępczej zrobów $R_{cg\,pom}$ (wzór 2), jak i zastosowanie metody punktowej obejmowały już fazę, w której rozpoczęto drażnienie wyrobiska. Niezbędnym zatem było opracowanie metody pozwalającej na wcześniejszą ocenę stopnia rekonsolidacji zrobów oraz określenia ich wytrzymałości zastępczej (oznaczanej w dalszej części artykułu jako $R_{cg\,obl}$) jeszcze przed rozpoczęciem robót górniczych pod zrobami. Ma to fundamentalne znaczenie zwłaszcza w przy-

padku konieczności doboru obudów zarówno podporowych wyrobisk korytarzowych, jak i zmechanizowanych dla ścian (PROSAFECOAL, 2007-2010).

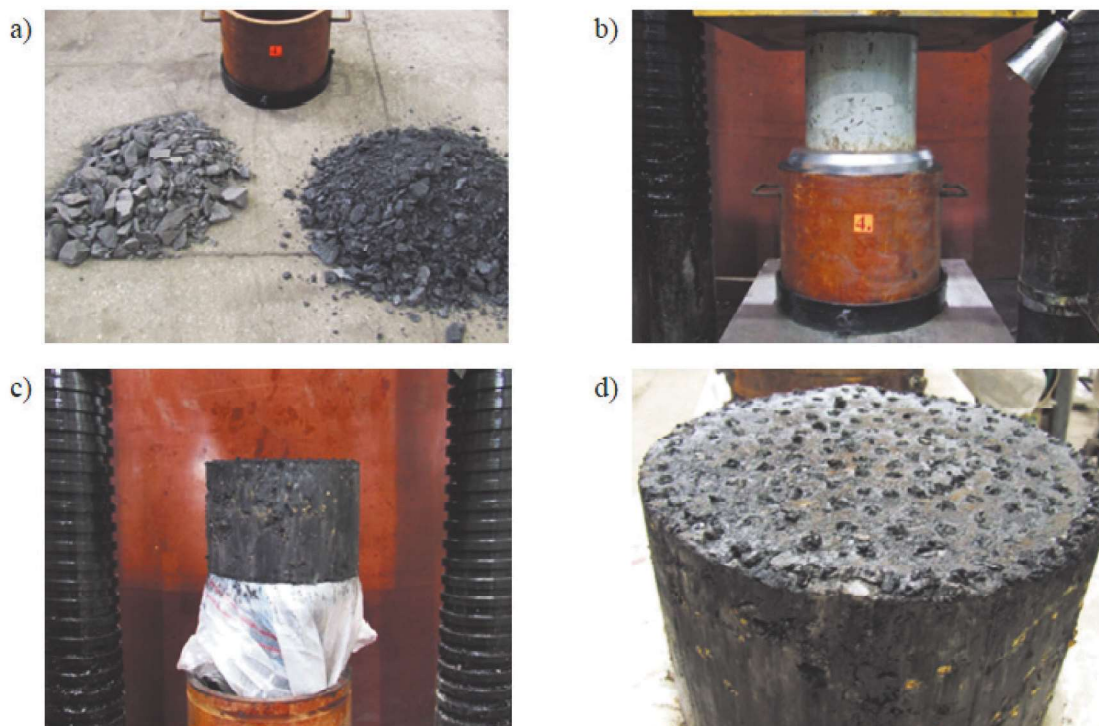
W pierwszym etapie prac przeprowadzono badania laboratoryjne, które polegały na przygotowywaniu różnych mieszanin skał typu ilastego i piaszczystego, z próbek dostarczonych z kopalń. Do badań zastosowano edometry oraz prasy hydrauliczne (rys. 4), według metody opracowanej w Głównym Instytucie Górnictwa, opisaną w publikacji Łojasa i in. (1974).

Łącznie w warunkach laboratoryjnych badaniom poddano około 900 próbek, oceniając wpływ na ich wytrzymałość na rozciąganie takich czynników, jak: zawartość skał ilastych w próbce, wilgotność próbki czy zawartość w gruzowisku klasy ziarnowej poniżej 1,0 mm. Następnie, w celu określenia wpływu głębokości (obciążenia) na stopień rekonsolidacji, przygotowano próbki gruzowiska zawałowego (o różnym udziale skał typu ilastego i różnym udziale skał frakcji drobnej) były poddawane różnym naciskom. W prasie były zadawane jednostkowe naciski 10, 15, 20 MPa, odpowiadające zbliżonym wartościom ciśnienia pierwotnego górotworu na głębokościach odpowiednio 400, 600 i 800 m. Na rysunku 5 zaprezentowano przykładowy wynik badań wpływu zawartości klasy ziarnowej poniżej 1,0 mm.

W drugim etapie realizacji prac związanych z opracowaniem nowej metody wykonywano wielokrotne pomiary dołowe. Celem tych badań była ocena stateczności zrobów w wyrobiskach i wykonanie obliczeń wytrzymałości zastępczej zrobów $R_{cg\,pom}$. Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 6.

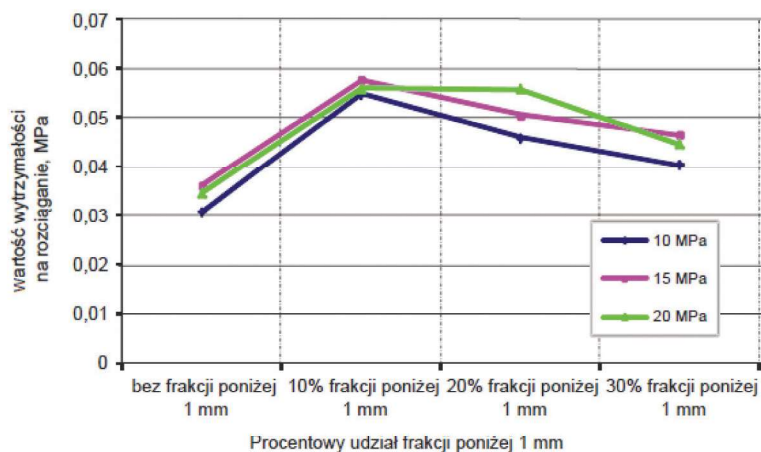
W rezultacie wszystkich zaprezentowanych powyżej prac badawczych realizowanych w Głównym Instytucie Górnictwa oraz ich analiz i zebranych doświadczeń ruchowych, opracowano metodę obliczania wytrzymałości zastępczej gruzowiska zawałowego $R_{cg\,obl}$ (rys. 7).

Przed praktycznym zastosowaniem metody dla doboru obudowy, dokonano jej weryfikacji w oparciu o wyniki badań i obserwacji dołowych przeprowadzonych w wyrobiskach zlokalizowanych pod zrobami zawałowymi w jednej z kopalń. Dla tych przypadków obliczono wartości wytrzymałości zastępczej zgodnie z nową metodą $R_{cg\,obl}$ i porównano je z wynikami pomiarów dołowych zastępczej wytrzymałości zrobów $R_{cg\,pom}$, które w kopalni prowadzono zgodnie z metodą opisaną przez Konopkę (1998). Obliczony współczynnik



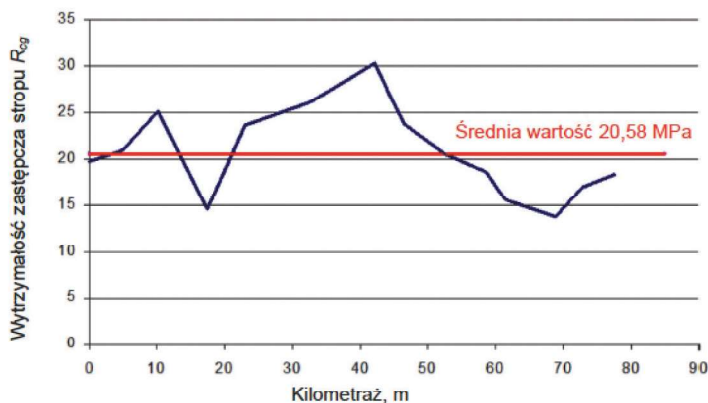
Rys. 4. Badania laboratoryjne próbek gruzowiska zawalowego: a – próbki skalne i edometr, b – obciążenie próbki gruzowiska w prasie, c – wyjęcie sprasowanej próbki z edometru, d – próbka gruzowiska po wyjęciu z edometru

Fig. 4. Laboratory tests of the gobs samples: a – caving debris and oedometer, b – loading of the gobs sample in hydraulic press, c – removal of the compressed sample from the oedometer, d – sample of gobs after removal from the oedometer



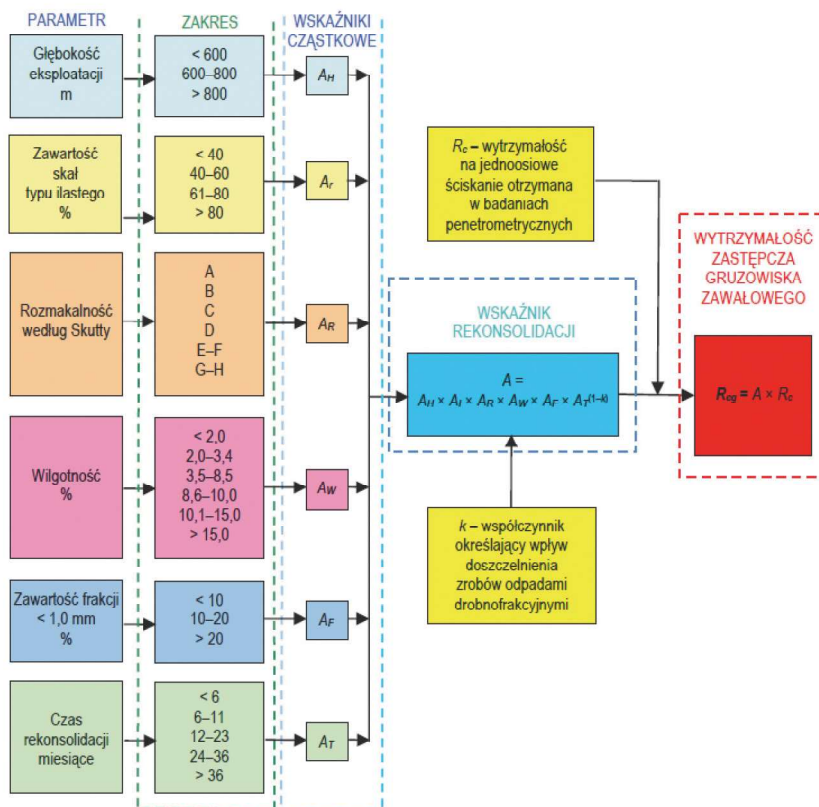
Rys. 5. Wytrzymałość na rozciąganie próbek w zależności od udziału frakcji poniżej 1 mm, w przypadku różnych nacisków jednostkowych wywieranych na próbki w prasie – próbki o zawartości 40% skal ilastych i 60% skal piaszczystych

Fig. 5. Relation between the tensile strength of samples with 40% of clay-type rocks and 60% of sandstone-type rocks and various share of fractions below 1mm at different unit loads



Rys. 6. Zmiana wartości wytrzymałości zastępczej gruzowiska zawalowego na odcinku przecinki ścianowej

Fig. 6. Change in the value of substitute strength of gobs $R_{cg\,pom}$ along the set-up room



Rys. 7. Schemat metody oraz tok obliczeń wytrzymałości zastępczej zrobów zawalowych (PROSAFECOAL 2007-2010)

Fig. 7. The diagram of the method and the course of calculations the substitute strength of gobs (PROSAFECOAL 2007-2010)

zmienności v_k wyniósł 12,4%, co wskazuje na akceptowalne różnicowanie wartości $R_{cg\ pom}$ i $R_{cg\ obl}$.

Na podstawie obliczonej wartości wytrzymałości zastępczej zrobów $R_{cg\ obl}$ oraz doświadczeń praktycznych opracowano klasyfikację stopnia rekonsolidacji zrobów zawalowych przedstawioną w tabeli 1.

W oparciu o powyższe przyjęto, że rekonsolidacja zrobów jest słaba lub zrobów nie będą zrekonsolidowane jeśli obliczona wartość $R_{cg\ obl}$ będzie mniejsza od 8 MPa. W przedziale 8-21 MPa rekonsolidacja zrobów jest średnia. W takim przypadku zakłada się wytworzenie warstwy nośnej zrobów, przy czym należy także spodziewać się miejsc, gdzie zrobów mogą cha-

rakteryzować się skłonnością do opadu. Za optymalną uznano rekonsolidację w przypadku ich wytrzymałości zastępczej większej od 21 MPa. Wówczas zrekonsolidowane zrobów zawalowe powinny posiadać zwięzłą strukturę, która tworzy trwałą i stateczny pałap wyrobiska.

4. Uwagi praktyczne dotyczące prowadzenia eksploatacji pod zrobami

Na podstawie wieloletnich doświadczeń projektowych prowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwa oraz prak-

Tabela 1. Klasyfikacja stopnia rekonsolidacji zrobów zawalowych na podstawie wartości $R_{cg\ obl}$ (PROSAFECOAL 2007-2010)

Table 1. Classification of caving gob reconsolidation on the basis of the value $R_{cg\ obl}$ (PROSAFECOAL 2007-2010)

Wytrzymałość zastępcza zrobów $R_{cg\ obl}$ MPa	Stopień rekonsolidacji	Opis
> 21	optymalna	Nastąpiło scalenie gruzowiska zawalowego oraz utworzenie warstwy nośnej, stanowiącej trwałą strop wyrobiska. Zrekonsolidowane zrobów stanowią strukturę zwięzłą.
8 ÷ 21	średnia	Nastąpiło niepełne scalenie gruzowiska zawalowego, generalnie charakteryzujące się jednak występowaniem warstwy nośnej. Lokalnie zrobów mogą posiadać strukturę luźną, niescaloną i w takim przypadku są skłonne do odpajania się.
< 8	słaba lub brak	Nie nastąpiło scalenie gruzowiska zawalowego. Zrobów posiadają strukturę sypką i bardzo luźną z możliwością ich przemieszczania się do wyrobiska.

tycznych prowadzenia eksploatacji pod zrobami można podać następujące uwagi, spostrzeżenia i wnioski:

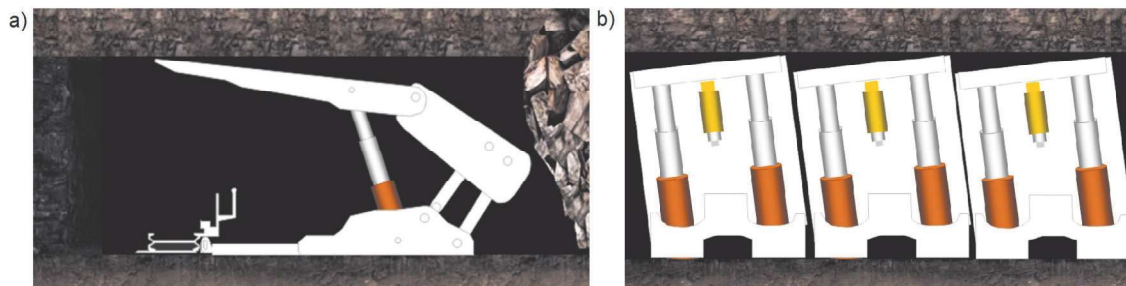
- podejmowanie drażenia wyrobisk korytarzowych czy eksploatacji pod zrobami zawałowymi, których czas rekonsolidacji był krótszy niż 6 miesięcy jest obarczone zbyt dużą niepewnością oraz ryzykiem;
- nadmierne zawodnienie górotworu jest czynnikiem nie sprzyjającym rekonsolidacji. Woda w nadmiernych ilościach może bowiem powodować wymywanie materiałów drobnofrakcyjnych (części ilastych) i znacznie obniżyć stopień rekonsolidacji. Dlatego też przed rozpoczęciem rozcięcia należy zwrócić szczególną uwagę na stosunki wodne, a podczas fazy drażenia wyrobisk czy eksploatacji, obserwować wszelkie symptomy (wykroplenia, wycieki), które mogą świadczyć o niekorzystnym oddziaływaniu wody;
- podawanie mieszanin pyłów (odpadów drobnofrakcyjnych) celem profilaktyki przeciwpożarowej ma zdecydowanie pozytywny wpływ na stopień rekonsolidacji zrobów zawałowych, gdyż w ten sposób dostarczany jest materiał dodatkowo scalający większe części skał. W zaprezentowanej na rysunku 5 metodzie wpływ ten uwzględniony został poprzez współczynnik k , którego wartość zawiera się w przedziale 0-1. Wartość 1 współczynnik k przyjmuje, gdy doszczelnianie zrobów odbywa się w warunkach, gdzie (PROSAFEAL 2007-2010):
 - nachylenie pokładu $> 10^\circ$,
 - miąższość wybieranego pokładu $< 2,5$ m,
 - w stropie bezpośrednim występują skały łatwo przechodzące w zawał,
 - eksploatacja prowadzona jest systemem poprzecznym, zaś doprowadzanie zawieszin następuje wzdłuż wyrobiska ścianowego.
- Biorąc pod uwagę warunki eksploatacji przyjmuje się, że w górnictwie polskim wartość współczynnika k najczęściej zawierać się będzie w przedziale 0,5-0,9 (PROSAFEAL, 2007-2010). Niższe wartości współczynnika przyjmuje się, gdy warunki geologiczno-górnictwa w znaczący sposób różnią się od opisanych powyżej. Ponadto, jeżeli czas rekonsolidacji był dłuższy niż 36 miesięcy, wpływ podawania odpadów drobnofrakcyjnych w zroby jest pomijalny;
- optymalny sposób rozcięcia węgla w dolnej warstwie powinien zakładać drażenie wyrobisk w strefie odprężonej zrobami, przy czym odległość w poziomie od krawędzi warstwy górnej powinna wynosić minimalnie 2-5 metrów;
- na podstawie wykonanych pomiarów zaciskania pionowego, poziomego oraz obciążenia obudowy w wybranych

- wyrobiskach, których to wyniki zestawiono w tabeli 2 stwierdzono, że w przypadku chodników przyścianowych zlokalizowanych pod zrobami zawałowymi, występują generalnie niewielkie przemieszczenia oraz obciążenie ze strony górotworu. Pomierzone wartości ruchów górotworu są znacznie mniejsze w porównaniu do wyrobisk znajdujących się pod stropem naturalnym (Masny i in. 2011). Badania zaciskania 23 chodników przed frontem ściany w warunkach stropu naturalnego wykazały, że maksymalne wartości zaciskania pionowego, w rejonie czoła ściany sięgały 800 mm, przy maksymalnych wartościach wypiętrzania spągu na poziomie 500 mm oraz zaciskania poziomego wynoszącego 300 mm (Prusek, 2008) są znacznie większe aniżeli pomierzone i obserwowane pod zrobami. Badania dołowe, potwierdziły wcześniejsze badania, obserwacje i analizy prowadzone przez GIG (Konopko i in. 1985, Lisowski 1958, Prusek 2008) oraz inne jednostki (Duży 2008, Czempas, Duży 2017). Tym niemniej należy zauważyć, że istnieją warunki geologiczno-górnictwa, przy których należy liczyć się z wysokimi przejawami ciśnienia ze strony górotworu, pomimo prowadzenia robót górniczych pod gruzowiskiem zawałowym (Rajwa i in. 2014);
- w przypadku doboru podziałki odrzwi obudowy wyrobisk zlokalizowanych pod zrobami, możliwe jest w skrajnych przypadkach obciążenia (zwłaszcza dla odrzwi rozmiaru ŁP9 i ŁP10 wykonanych ze stali np. S480W czy S550W), stosowanie rozstawu 1,0 m. Niemniej podczas drażenia wyrobisk pod zrobami zawałowymi, ze względu na konieczne otwarcie przodka i stateczność stropu utworzonego z gruzowiska zawałowego, nie zaleca się stosowania rozstawu obudowy większego aniżeli 0,8 m;
 - drażenie wyrobisk korytarzowych pod zrobami wymaga zachowania odpowiedniej staranności wykonywanych operacji przez pracowników pracujących w przodku. Moment dokręcenia śrub w strzemiączach złącz odrzwi obudowy podporowej, staranna wykładka zapewniająca kontakt z obrysem, zapewnienie wymaganej liczby, jakości rozpór i ich odpowiedniej zabudowy czy również właściwe posadowienie odrzwi, są to elementy, które rzutować będą niewątpliwie na bezpieczeństwo drażenia oraz późniejszego użytkowania wyrobiska korytarzowego;
 - prowadząc eksploatację pod zrekonolidowanym gruzowiskiem zawałowym istotną kwestią jest również umiejętne operowanie sekcjami obudowy zmechanizowanej tak, aby zachować właściwą geometrię sekcji, a zwłaszcza zapewnić poziome prowadzenie stropnicy i tym samym nie powodować liniowego (punktowego) kontaktu stropnicy ze stropem, który może powodować niszczenie struktury

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów dołowych ruchów górotworu oraz obciążenia obudowy przeprowadzone w chodnikach zlokalizowanych pod gruzowiskiem zawałowym (Masny i in. 2011)

Table 2. List of measurements results of underground rock mass movements and support loads carried out in workings located under gobs (Masny et al. 2011)

Chodnik	Początek pomiarów – odległość przed frontem ściany, m	Koniec pomiarów odległość przed frontem ściany, m	Zaciskanie pionowe, mm	Wypiętrzanie spągu, mm	Zaciskanie poziome, mm	Obciążenie obudowy LP od strony ociosu, kN	Obciążenie obudowy LP od strony ściany, kN
A	-95	0	71	48	27	12,6	65,9
B	-81	-11	100	16	38	45,9	88,2
C	-50	-10	17	13	11	5,9	19,4
D	-106	-2	73	64	120	143,2	180,8
E	-103	-19	17	14	35	34,7	60,6



Rys. 8. Nieprawidłowe prowadzenie sekcji obudowy zmechanizowanej w ścianie: a) przekrój poprzeczny, b) przekrój podłużny

Fig. 8. Incorrect arrangement of the powered roof support in longwall: a) cross section, b) longitudinal section

zrekonsolidowanego gruzowiska zawałowego lub też o ile ma zastosowanie ochronnej półki węglowej, co przedstawia rysunek 8;

- w przypadku systemu ścianowego, gdzie zastosowanie mają obudowy zmechanizowane ważnym jest również, aby przed przystąpieniem do eksploatacji przeprowadzić analizę możliwości zjawiska tzw. wysprzęglania się oston bocznych sekcji. W przypadku gdy ma to miejsce, może dochodzić do przesypywania się skał tworzących gruzowisko do przestrzeni roboczej ściany – rysunek 9;
- prowadzenie ściany w obudowach zmechanizowanych pracujących w górnym zakresie roboczym może powodować, że każdy obwał gruzowiska zawałowego może być trudny do opanowania ze względu na zwiększoną furtę eksploacyjną, przewyższającą zakres roboczy przewidzianych do zastosowania obudów. W efekcie takie zjawisko może uniemożliwić prawidłową współpracę obudowy z zrekonsolidowanym górotworem i powodować dalsze pogorszenie warunków stropowych, mogące mieć bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo załogi pracującej w rejonie zabezpieczania opadów skał;
- kopalnia podejmująca się eksploatacji pod zrobami powinna posiadać rozpoznane i opracowane technologie oraz zabezpieczone odpowiednie materiały tak, aby w sytuacji pogorszenia się warunków stropowych dokonać zmiany technologii drążenia na taką, w której istnieje możliwość skutecznego oddzielenia wyrobisk od gruzowiska zawałowego poprzez pozostawienie ochronnej półki węglowej czy też zwiększenia stateczności tego gruzowiska np. poprzez zastosowanie odpowiednich środków klejących (konsolidujących) lub innych, jak na przykład (Brudny 2018) wzmocnienia stropu prostkami stalowymi o profilu V (tzw. prostkowanie), czy stalowymi żerdziami (tzw. prętowanie);
- w przypadku prowadzenia eksploatacji pod zrobami zawałowymi należy zawsze mieć świadomość zagrożeń z tym związanych. Występować mogą bowiem obszary o gorszym stopniu rekonsolidacji aniżeli wynikałoby to z prognoz oraz analiz. Praca w takich warunkach wymaga obserwacji zachowania się skał tworzących gruzowisko zawałowe. Wymagane są również odpowiednio zaplanowane działania (pomiar, badania, obserwacja) i co



Rys. 9. Efekt wysprzęglania się oston bocznych obudowy zmechanizowanej

Fig. 9. The effect of disengagement of the powered support side shields

najważniejsze – stosowne wyszkolenie załóg, gdyż to górnicy biorący bezpośredni udział w drążeniu chodników oraz eksploataowaniu ścian są najlepszymi obserwatorami zrobów;

- eksploatacja pod zrobami zmniejsza zagrożenie tąpniętami wskutek odprężenia górotworu, niemniej należy zwrócić szczególną uwagę na strefy przechodzenia z obszarów zlokalizowanych pod zrobami po caliznę węglową np. w fazie wykonywania rozczinki danego pola ścianowego.

5. Podsumowanie

Problematyka oceny stopnia rekonsolidacji zrobów zawałowych jest niezwykle istotna zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa załogi, jak i osiąganych wyników produkcyjnych. Pozostawianie półki węglowej, co bez wątpienia jest jednym z najskuteczniejszych sposobów odizolowania zrobów od wyrobisk, powoduje zarówno straty złoża, jak i jednocześnie zwiększanie zagrożenia pożarowego. Dlatego też w sytuacjach, w których jest to możliwe, korzystnym jest prowadzenie wyrobisk bezpośrednio pod zrobami lub też nawet z ich przybierką. Pomocną w takiej decyzji, co do sposobu prowadzenia robót górniczych, może być przedstawiona w niniejszym artykule metoda oceny stopnia zrekonsolidowania zrobów. Jej niewątpliwymi zaletami są:

- możliwość określenia stopnia rekonsolidacji zrobów zawałowych przed przystąpieniem do robót górniczych w warstwie niżej zalegającej,
- wstępny dobór obudowy ze względu na otrzymywaną wartość $R_{cg\text{obl}}$
- bieżąca ocena przyjętych założeń projektowych od momentu rozpoczęcia drążenia wyrobiska, kiedy to możliwe jest już prowadzenie pomiarów dołowych i/lub badań laboratoryjnych.

Doświadczenia praktyczne wskazują jednocześnie, że możliwe jest bezpieczne prowadzenie eksploatacji bezpośrednio lub w niewielkiej odległości pod zrobami zawałowymi w zróżnicowanych warunkach geologiczno-górnicych. Ze względu na specyfikę takich robót przestrzegać należy jednak pewnych zasad, z których część omówiona została w niniejszym artykule.

Część prac przedstawiona w niniejszym artykule zrealizowana została w ramach projektu PROSAFECOAL (nr kontraktu RFCR-CT-2007-00001) – finansowanego z Funduszu Badawczego dla Węgla i Stali.

Literatura

BRUDNY G. 2018 - Nowa metoda zabezpieczenia przyczolowej części wyrobiska ścianowego w rejonie obwał. „Przeгляд Górnicy” nr 7, s. 13-19.
 CHUDEK M. 1986 - Obudowa wyrobisk górniczych. Cz. I. Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. Śląsk, Katowice.
 CHUDEK M. 2002 - Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górnicych i powierzchni terenu. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
 CHUDEK M., DUŻY S., BĄCZEK A., DYDUCH G. 2010 - Ocena rekonsolidacji zrobów w warunkach eksploatacji pokładu grubego z podziałem na warstwy. „Przeгляд Górnicy” nr 12, s. 14-17.

CHUDEK M., DUŻY S., KLETA H. 2000 - Geotechniczne aspekty doboru obudowy wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi. IX Międzynarodowe Sympozjum „Geotechnika 2000”, s. 91-100.
 CZEMPAS A., DUŻY S. 2017 - Stateczność wyrobisk korytarzowych w górotworze naruszonym eksploatacją górnicy w świetle przeprowadzonych badań. „Budownictwo Górnicy i Tunelowe” nr 2, s. 28-37.
 DUŻY S. 2008 - Geomechaniczne aspekty utrzymania stateczności wyrobisk przygotowawczych w warunkach eksploatacji pokładów grubych z podziałem na warstwy. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” t. 24, z. 2/3, s. 327-343.
 KONOPKO W. 1998 - O projektowaniu obudowy chodników drążonych pod gruzowiskiem zawałowym. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnicy”, Miesięcznik WUG nr 6, s. 10-14.
 KONOPKO W., KOSTYK T., ŻYWIŃSKI K. 1985 - Sposób wykonywania i utrzymania chodników przyscianowych w warunkach wzmoczonych ciśnieniem górotworu lub zagrożenia tąpniętami. „Przeгляд Górnicy” nr 2, s. 47-50.
 LISOWSKIA A. 1958 - Kierunek eksploatacji ściana zawałowych. Komunikat GIG nr 201.
 ŁOJAS J. 1989 - Wielowarstwowe wybieranie grubych pokładów węgla z podszatką hydrauliczną samozestalającą się oraz rekonsolidacją rumowiska zawałowego. „Budownictwo Węglowe – Projekty – Problemy” nr 7-8, s. 12-23.
 ŁOJAS J., KIDYBIŃSKI A., HŁADYSZ Z. 1974 - Możliwość wybierania grubego pokładu węgla warstwami z góry na dół pod zrekonsolidowanym rumowiskiem zawałowym. „Przeгляд Górnicy” nr 2, s. 93-99.
 MASNY W., PRUSEK S., WALENTEK A. 2011 - Pomiar konwergencji oraz obciążenia działającego na obudowę wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych pod zrobami zawałowymi wraz z metodą oceny ich rekonsolidacji. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Górnicy Zagrożenia Naturalne”. Prace Naukowe GIG. „Górnicy i Środowisko” nr 4/2, s. 297-304.
 NIEROBISZ A., PRUSEK S. 1994 - Zasady bezpiecznego prowadzenia wyrobisk korytarzowych pod zrobami zawałowymi i podszatkowymi. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnicy”, Miesięcznik WUG nr 4/12, s. 19-27.
 PROSAFECOAL 2007-2010 - Increased productivity and safety of European coalmines by advanced techniques, knowledge and planning tools enabling strata control of the face-roadway junction. Projekt PROSAFECOAL realizowany w ramach Funduszu Badawczego dla Węgla i Stali (Research Fund for Coal and Steel) nr kontraktu RFCR-CT-2007-00001.
 PRUSEK S. 2008 - Metody prognozowania deformacji chodników przyscianowych w strefach wpływu eksploatacji z zawałem stropu. Prace Naukowe GIG nr 874, Katowice.
 PRUSEK S. 2016 - Stateczność wyrobisk ścianowych podczas eksploatacji pokładów węgla kamiennego z zawałem skał stropowych. Główny Instytut Górnicy, Katowice.
 RAJWA S., PIESZCZEK M., GUZERA J. 2014 - Dobór obudowy zmechanizowanej dla ściany prowadzonej w złożonych warunkach geologiczno-górnicych w KHW S.A. KWK „Wieczorek”. „Przeгляд Górnicy” nr 5, s. 58-63.
 TUREK M. 2010 - Podstawy podziemnej eksploatacji pokładów węgla kamiennego. Główny Instytut Górnicy, Katowice.

Artykuł wpłynął do redakcji – lipiec 2019
 Artykuł akceptowano do druku 14.08.2019