



Destrukcja górotworu w otoczeniu eksploatacji ścianowej

Rock mass destruction in the surroundings of longwall mining

Prof. dr hab. inż. Władysław Konopko^{*)}

Treść: Przedstawiono uogólnione wyniki badań *in situ* z zakresu destrukcji górotworu w otoczeniu pól ścianowych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW). Wskazano na różnice stref zwiększonych naprężeń w pobliżu krawędzi dynamicznej (frontu ściany) i statycznej (chodników przyścianowych), stanowiących o zagrożeniu tąpnięciami oraz na strefy destrukcji w pokładzie i w skałach otaczających, stanowiących o zagrożeniu metanowym i pożarowym. Podano zalecenia dla projektowania robót górniczych w pokładach zagrożonych.

Abstract: This paper presents the main results of *in situ* research in the scope of rock mass destruction in the surroundings of mine fields in Upper Silesia Coal Basin (USCB). The differences of increased stress zones close to the dynamic edge (wall front) and static edge (main gates) were discussed. Those differences determine the rockburst hazard. Besides, there were the zones of destruction in coal seam and the surrounding rocks pointed. These, in turn, determine the methane and fire hazard. Simultaneously, the recommendations for the development of mining works in unsafe coal seams were presented.

Słowa kluczowe:

górnictwo węglowe, eksploatacja, ruchy górotworu

Key words:

coal mining, exploitation, rock mass movements

1. Wprowadzenie

Truizmem jest twierdzenie, że poznanie miejsca i stanu zagrożenia stanowi podstawowe kryterium opracowania bezpiecznych warunków realizacji określonych zadań. Dotyczy to nie tylko górnictwa, ale i wszystkich zawodów. Oczywiście wartość stanu zagrożenia posiada bezpośredni związek z ryzykiem wystąpienia niebezpiecznego zdarzenia lub katastrofy. Ograniczanie stanu zagrożenia poprzez zastosowanie odpowiednich metod i środków pociąga za sobą określone koszty. Przy pewnym stanie zagrożenia roboty górnicze tracą ekonomiczny sens lub też nieuchronnie realizowane będą w warunkach nietolerowalnego ryzyka.

Z drugiej strony, koszty bezpiecznej realizacji zadań zależą również od stanu wiedzy o miejscu i stanie zagrożenia. Im mniejsza ich znajomość – tym bardziej rygorystyczne, a tym samym i bardziej kosztochłonne są metody opanowania

stanu zagrożenia, jego wyeliminowania lub ograniczenia do poziomu tolerowalnego ryzyka.

Eksploatacja złoża powoduje pewne zmiany w górotworze dotyczące stanu naprężenia, przemieszczenia, własności wytrzymałościowo-deformacyjnych stał, ich gazo- i wodoprzepuszczalności i inne. Poznanie zakresu i miejsc tych zmian stwarza podstawę do zaprojektowania możliwie najbezpieczniejszego sposobu wybierania złoża. Znajomość lokalizacji stref podwyższonych naprężeń pozwoli na lokalizację wyrobisk korytarzowych poza tymi strefami, a w przypadku nieuchronności przejścia wyrobiskami takich stref – zastosowania odpowiednich metod skutecznej profilaktyki, zarówno w tych miejscach, jak i na ich obrzeżu, celem zwiększenia stopnia bezpieczeństwa w przypadku niepewności co do dokładności określenia lokalizacji tych stref. Równocześnie przy uwzględnieniu stref podwyższonych naprężeń i zmian parametrów wytrzymałościowo-deformacyjnych skał można odpowiednio zaprojektować obudowę wyrobisk – wzmocnioną tylko w miejscach wyznaczonych, a nie obligatoryjnie na całej długości wyrobiska. Również powyższe obligeuje do operatywnego wprowadzania odpowiednich zmian w technologii drążenia wyrobisk [6, 20].

^{*)} Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Zmiany przemieszczenia, naprężenia i parametrów wytrzymałościowych skał w otaczającym górotworze dają podstawę do oceny stanu zagrożenia bezpiecznego wykonywania i/lub utrzymywania wyrobisk w górotworze podbieranym lub nadbieranym, pozostającym w zasięgu wpływów projektowanej eksploatacji. Właściwa ocena pozwoli na uprzednie przygotowanie wyrobisk na te wpływy – np. przez wzmocnienie obudowy, wyłączenie wyrobisk na określony czas z ruchu, podsadzenie, wreszcie na bezpieczną likwidację przed wystąpieniem niebezpiecznych przejawów ciśnienia górotworu.

Aktualnie około 75% wydobycia węgla uzyskuje się z pokładów metanowych [13]. Zagrożenie ich wybierania zwiększane jest dopływem metanu z pokładów (ogólnie z górotworu) wyżej i niżej zalegających, pozostających w zasięgu destrukcyjnego wpływu danej eksploatacji. Relatywnie dokładne określenie zarówno zasięgu w pionie i poziomie destrukcji górotworu oraz zmian współczynnika gazoprzepuszczalności [18] pozwoli na właściwą prognozę metanowości bezwzględnej ścian. Umożliwi to ustalenie wielkości produkcji, opracowanie technologii eksploatacji i profilaktyki dla zapewnienia nieprzekraczania metanowości kryterialnej [10, 11] na całym wybiegu ściany przy uwzględnieniu metanonośności pokładu i jej zmienności na wybiegu ściany. Da podstawę do operatywnego dostosowywania zmian prędkości postępu ściany ze względu na zagrożenie metanowe.

Podobne uwagi dotyczą również prognozy i profilaktyki zagrożenia wodnego i innych, jak również doboru możliwie bezkolizyjnych metod profilaktyki dla ograniczenia stanu zagrożeń skojarzonych [5].

Podane niżej informacje co do zasięgu wpływu na otaczający górotwór eksploatacji pokładów węgla bazują na wynikach badań prowadzonych przez szereg lat przez Zakład Tępań i Mechaniki Górotworu Głównego Instytutu Górniczego w różnych kopalniach GZW [7, 14].

2. Osiadanie skał stropu nad polem ścianowym

Badania dołowe przemieszczeń skał stropu (górotworu) w otoczeniu pola ścianowego, dla dostatecznie długiej

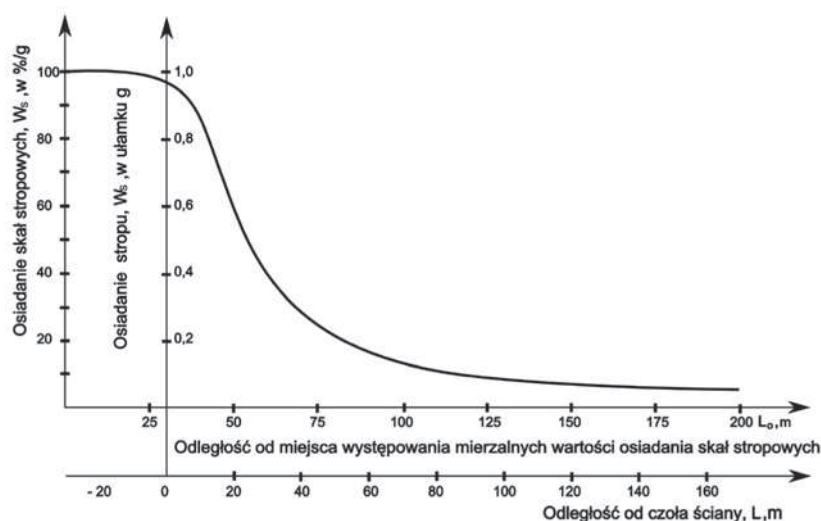
krawędzi (calizna węglowa – zroby), wykazują następujące prawidłowości [7]:

- mierzalne (>1mm) wartości obniżenia stropu rozpoczynają się w odległości 50 - 30 m przed linią frontu ściany,
- w linii frontu czynnej ściany (to jest względem krawędzi dynamicznej) osiadanie stropu osiąga wartość 2-4% wysokości eksploatacyjnej pokładu (wysokości ściany),
- punkt przegięcia krzywej osiadania stropu występuje nad zrobami w pewnej odległości (najczęściej kilkunastu do kilkudziesięciu metrów) za linią frontu ściany,
- stabilizacja osiadania stropu zachodzi w odległości 150 -200m za linią frontu ściany, rzadko więcej,
- krzywa osiadania stropu nie jest symetryczna względem punktu przegięcia, największa krzywizna występuje w pobliżu linii frontu ściany, znacznie mniejsza – nad zrobami,
- przy eksploatacji z zawałem stropu wartość osiadania pierwszej warstwy stropu nad zrobami jest identyczna z wysokością ściany,
- przy zaawansowanej eksploatacji, to jest przy dostatecznie dużej powierzchni zrobów, osiadanie górotworu w zasięgu wpływów tej eksploatacji zachodzi od stropu pokładu do powierzchni terenu,
- wartość osiadania stropu nad zrobami, niezależnie od sposobu kierowania stropem, jest większa od wartości osiadania powierzchni terenu spowodowanego tą eksploatacją. Przybliżoną krzywą osiadania stropu w rejonie eksploatacji ścianowej przedstawiono na rys. 1.

Dołowe wyniki badań osiadania stropu A. Biliński [1] aproksymował dwoma rodzajami zależności empirycznych – zależnością wykładniczą typu $y = Ae^{bx}$ - osiadanie stropu przed linią frontu ściany i zależnością eksponentalną typu $y = Cx/(d+kx)$ - za linią frontu ściany.

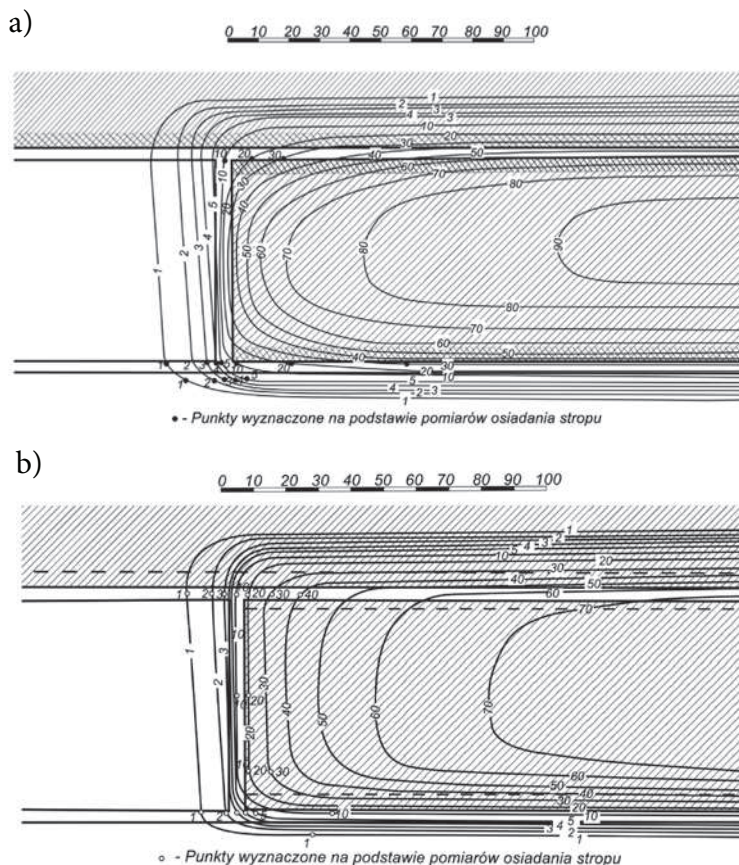
Wykorzystując wymienione wyniki pomiarów podał przybliżone przebiegi osiadania stropu nad polami eksploatacji z zawałem stropu i z podsadzką hydrauliczną dla stropów łatwo i trudno rabujących się. Dla przykładu podano je dla eksploatacji z zawałem stopu (rys. 2).

Istotne jest wykazanie przez A. Bilińskiego izol linii osiadania stropu o przebiegu zbliżonym do prostokątnego i zawęża-



Rys. 1. Schemat osiadania stropu ściany zawałowej w środku jej długości w linii prostopadłej do jej frontu

Fig. 1. Scheme of longwall with caving roof subsidence in its length middle in perpendicular to its front



Rys. 2. Prawdopodobny przebieg osiadania stropu podczas wybierania pojedynczej ściany na zawal (liczby na warstwicach oznaczają procent maksymalnego osiadania, jakie wystąpi w zrobach po zakończeniu procesu przemieszczania się stropu) a) strop łatwo rabujący się, b) strop trudno rabujący się [1]

Fig. 2. Possible course of roof subsidence during exploitation of a single longwall with caving (numbers in contours are the percentage of maximum subsidence as may occur in gobs after the end of roof movement process) a) easy roof cavability, b) hard roof cavability [1]

jących się prostokątów względem środka długości ściany, co w przekroju równoległym do frontu ściany czyni ten przekrój w kształcie trapezu. Późniejsze badania to potwierdziły [14]. Pozwala to na zbudowanie uproszczonego modelu przemieszczenia stropu nad polem eksploatacji ścianowej.

Asymetria osiadania stropu wzdłuż linii frontu ściany wystąpi dla zaawansowanej eksploatacji w parceli, gdzie ściana zlokalizowana jest w jednostronnym otoczeniu zrobów.

Należy przy tym zwrócić uwagę na różnice w wartościach przemieszczeń górotworu względem krawędzi dynamicznej,

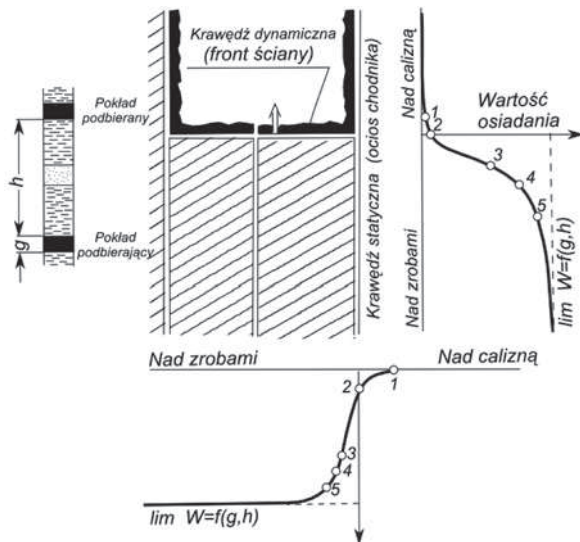
jaką stanowi linia frontu ściany i krawędzi statycznej, wyznaczonej ociosem chodnika przyścianowego (tablica 1, rys. 3.).

W otoczeniu krawędzi statycznej wartość przemieszczeń stropu i górotworu jest około dwukrotnie wyższa niż w pobliżu krawędzi dynamicznej. W literaturze przedmiotu można spotkać przykłady analizy powyższego w oparciu o teorię bloków przegubowych. Wykazuje się przy tym różnice w wartościach i zasięgach stref koncentracji naprężenia i odprężenia na wybiegu ściany i w przekroju równoległym do linii frontu ściany (rys. 4, [16])

Tablica 1. Punkty charakterystycznych wartości osiadania podbieranego górotworu (pokładu) w funkcji odległości od pokładu podbierającego [14]

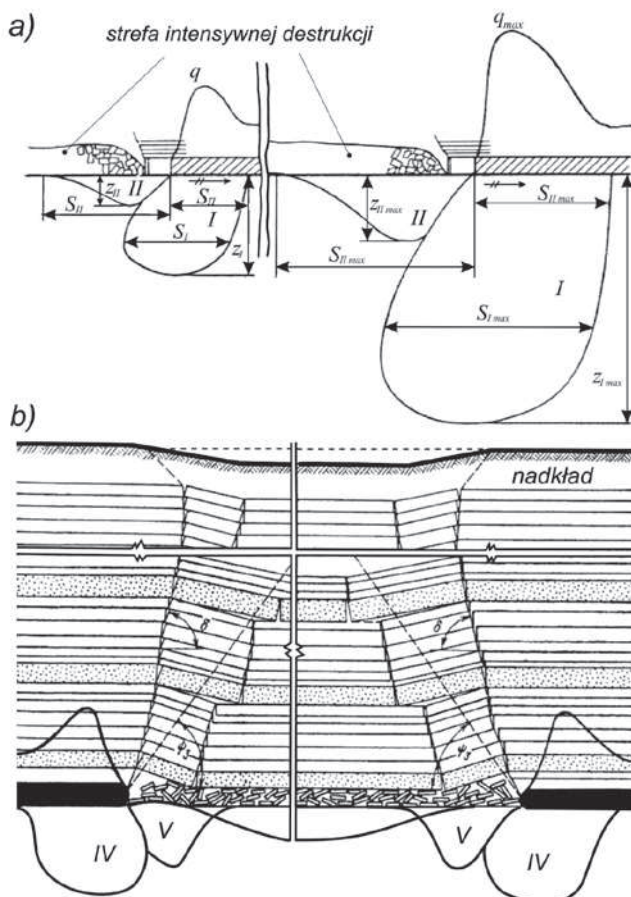
Table 1. Points of characteristic values of subsidence of the underworked rockmass in relation to the distance from the underworking seam [14]

Punkt charakterystyczny	Krawędź w odległości, h	
	dynamiczna	stacyjna
1 - początek intensywnych wpływów eksploatacji	1	2
2 - wartość osiadania na krawędzi	0,05	0,14
3 - punkt przegięcia krzywej osiadania	2	1,15
4 - zasięg najbardziej intensywnego osiadania	3	1,5
5 - stabilizacja osiadania	4,5	2



Rys. 3. Porównanie obrzeży niecek osiadania górotworu względem krawędzi statycznej i dynamicznej [14]

Fig. 3. Comparison of rock mass subsidence trough edging in relation to static and dynamic edges



Rys. 4. Rozkład podstawowych stref ciśnienia oporowego, stref podwyższonych naprężeń i odprężeń w przekrojach a) wzdłuż wybiegu, b) równoległe do frontu ściany. I, IV – strefy podwyższonych naprężeń w spągu, II, V – strefy odprężenia w spągu [16]

Fig. 4. Layout of basic zones of resistance pressure, increased stresses and decompressions in cross-sections a) along the panel length, b) in parallel to the wall front. I, IV – zones of increased stresses in the floor, II, V – zones of decompression in the floor [16]

3. Destrukcja skał stropowych (górotworu) w otoczeniu pól ścianowych

3.1. Eksploatacja z zawalem stropu

Przy eksploatacji z zawalem stropu - zgodnie z wynikami badań - wyróżnia się **strefę zawalu pełnego**, z której skały stropowe opadają do zrobów chaotycznie, tracą kontakt ze skałami sąsiednimi, ulegają obrotowi [17]. Pierwsza warstwa opada bezpośrednio na spodek (spąg) wyrobiska, to jest przemieszcza się o wartość równą wysokości ściany (o wysokość eksploatacyjną pokładu lub jego warstwy), tworząc rumowisko zawalowe. Na skutek rozluźnienia rumowisko zwiększa swoją objętość w odniesieniu do objętości skał w caliznie, z których to rumowisko powstało. Przy pewnej wysokości zawalu pełnego i zmniejszenia wysokości powstałej pustki w górotworze, w rezultacie uginania się wyższych warstw stropu spiętrzone skały rumowiska uzyskują kontakt fizyczny ze skałami warstw wyższych, uniemożliwiając dalsze wytwarzanie zawalu chaotycznego. Wstępnie podparte skały osiadają na skałach rumowiska zawalowego, stopniowo zaciskając je, a same na skutek zwiększającego się ugięcia ulegają spękanii, rozwarstwieniu na kontaktach poszczególnych warstw oraz poprzez pionowe przerwania ciągłości uginających się warstw, dzieląc je na wiele bloków [1] tworząc **strefę zawalu wysokiego** [17]. Poszczególne bloki przemieszczają się w pionie zachowując ciągły kontakt między blokami skał danej warstwy. W miarę oddalania się w pionie od stropu pokładu zmniejsza się skala spękań i rozluźnienia poszczególnych warstw skalnych tak, że w pewnej odległości w pionie od stropu pokładu dalsze warstwy skalne osiadają nad zrobami w sposób ciągły.

Można przyjąć, że przy eksploatacji z zawalem stropu strefa zawalu pełnego obejmuje warstwy stropowe do wysokości około 2,0 – krotnej grubości eksploatacyjnej wybranego pokładu, a strefa zawalu wysokiego - około 1,5 - krotnej grubości eksploatacyjnej wybranego pokładu. Łącznie strefy zawalu pełnego i wysokiego tworzą **strefę stropu zawalowego**. Osiadanie warstw wyżej zalegających zachodzi aż do powierzchni terenu. Ich destrukcja stopniowo zmniejsza się w miarę oddalania się od stropu pokładu. W pewnej odległości osiadanie skał stropowych można uznać za osiadanie ciągłe, bez istotnego niszczenia ich struktury.

Z doświadczeń wiadomo, że wartość osiadania powierzchni terenu w_{max} nad zrobami zawalowymi jest mniejsza od grubości eksploatacyjnej wybranego pokładu (warstwy pokładu grubego) g , czyli

$$w_{max} = a g < g \quad (1)$$

gdzie:

- a – parametr zależny od sposobu kierowania stropem przy eksploatacji pokładu; przyjmuje się
- $a_z = 0,7 - 0,8$ przy eksploatacji z zawalem stropu [4]
- $a_h = 0,2 - 0,4$ przy eksploatacji z podszadką hydrauliczną w zależności od jakości materiału podszadzowego, nachylenia pokładu, jakości podszadzenia i innych czynników.

Oznacza to, że część pustki wytworzonej w rezultacie wybrania pokładu ulega rozproszeniu w górotworze [8]. Wartość rozproszenia jest silnie zróżnicowana w górotworze – największa w strefie zawalu pełnego i stopniowo zmniejsza się w miarę oddalania się w pionie od stropu pokładu do wartości gazoprzepuszczalności właściwej dla danej warstwy górotworu.

Zgodnie z wynikami badań metodą reperów wgłębnych z wyrobisk nadległych [7] wartość pionowego przemieszcze-

nia górotworu nad polem eksploatacji ścianowej prowadzonej z zawałem stropu opisuje zależność (rys. 5)

$$h/g = 0,12 c^{-4,656} \tag{2}$$

stąd

$$h = 0,12g c^{-4,656} \tag{2a}$$

gdzie: h – odległość w pionie od stropu eksploатовanego pokładu

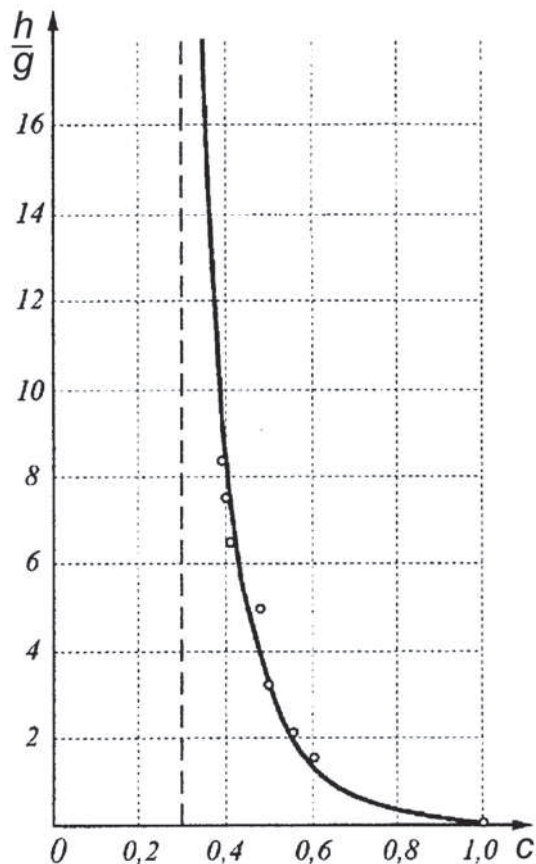
Dla eksploatacji z zawałem stropu c zmienia się w granicach

$$0,3 \leq c \leq 1,0 \tag{3}$$

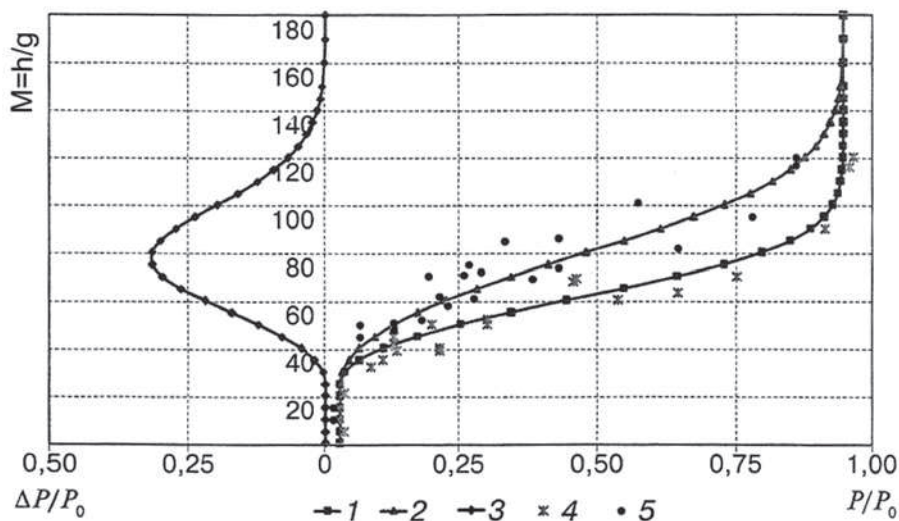
Z zależności (2a) wynika, że wartość osiadania stropu nad zrobami pokładu wybranego z zawałem stropu zmienia się do odległości około 33 – krotnej wartości g od stropu wybranego pokładu, osiągając tę wartość dla $c = 0,3$. Stąd górotwór zalegający do wysokości $33g$ nad stropem wybranego pokładu uważa się za **strefę górotworu odprężonego**, w którym zachodzą fizyczne zmiany jego właściwości (odprężenie, spękanie, rozluźowanie, zmniejszenie wytrzymałości). W dalszej odległości w pionie osiadanie górotworu zachodzi w sposób ciągły, a jego fizyczne zmiany są nieznaczne.

Potwierdzenie powyższych ustaleń można znaleźć w pracy [3], gdzie Autorzy badający skuteczność naturalnego i sztucznego odmetanowania stwierdzili (rys. 6) że:

- Podbierany górotwór na skutek destrukcji udrażnia się wentylacyjnie do wysokości około $M = h/g < 25$ – krotnej grubości wybranego pokładu. Do tej wysokości nad stropem pokładu gaz kopalniany na skutek udrożnienia górotworu w wyniku spękań skał swobodnie wypływa do wyrobisk. Jego resztkowe ciśnienie w tej części górotworu nad zrobami jest porównywalne z ciśnieniem atmosferycznym. Przy większych odległościach górotwór ulega pewnemu odprężeniu, jednak spękania skał nie stanowią już dróg swobodnego przemieszczania się metanu do wyrobisk, na skutek tego obserwuje się znaczną różnicę



Rys. 5. Zależność parametru c od odległości od stropu pokładu [7]
 Fig. 5. Relation between parameter c and the distance from the bed's roof [7]



Rys. 6. Resztkowe ciśnienie metanu przy naturalnej i sztucznej degazacji pokładów węgla w zależności od odległości podebrania; 1, 2 – resztkowe ciśnienie przy naturalnej i sztucznej degazacji, 3 – różnica ciśnienia resztkowego przy atryralnej i sztucznej degazacji, 4, 5 – zmierzone wartości odpowiednio przy naturalnej i sztucznej degazacji, P_0 – naturalne ciśnienie metanu, P – obniżone ciśnienie metanu na skutek degazacji [3]

Fig. 6. Post-pressure of methane by natural and artificial degasation of coal seams depending on the distance of underworking; 1, 2 – post-pressure by natural and artificial degasation, 3 – difference of post-pressure by natural and artificial degasation, 4, 5 – intended values by natural and artificial degasation respectively, P_0 – natural methane pressure, $-P$ – lowered pressure of methane as the result of degasation [3]

wartości reszkowej ciśnienia gazu w warunkach naturalnego i sztucznego odmetanowania.

- Przy odległości podebrania około $M > 110$ przy naturalnym odmetanowaniu górotworu i około $M > 170$ przy sztucznym odmetanowaniu - reszkowe ciśnienie metanu osiąga wartość zbliżoną do wartości ciśnienia pierwotnego. Można więc przyjąć, że przy tej wartości wskaźnika M podebrania właściwości podebranego górotworu pozostają właściwe dla górotworu pierwotnego.

Zasięg strefy górotworu odprężonego może różnić się w granicach $\pm 5-10\%$ od podanej wartości średniej w zależności od właściwości skał stropowych [3], („+” przy stropach trudno rabujących się, „-” przy stropach słabych, łatwo rabujących się, lub w przypadku górotworu wielokrotnie podebranego) [1, 14]. Uwzględniając, że aktualnie eksploatacyjna grubość wybieranych pokładów (to jest wysokość ścian zawałowych) zmienia się w przedziale $1,0 \leq g \leq 4,5\text{m}$ - to przy $\text{tg}\beta = 2$ maksymalna łączna wysokość strefy zawałowej i strefy górotworu odprężonego nad zrobami pokładu - w zależności od wysokości eksploatacyjnej pokładów - mieści się (w zaokrągleniu) w przedziale

$$33 \leq h \leq 150\text{m} \quad (4)$$

Wartość przekroju poprzecznego stropu odprężonego zwiększa się od wartości powierzchni stropu zawału pełnego poprzez wartość powierzchni stropu zawału pełnego do wartości maksymalnej powierzchni stropu odprężonego w odległości około 150 – 200 m od linii frontu ściany, to jest w strefie stabilizacji osiadania górotworu nad zrobami.

Przekrój poprzeczny (równoległy do linii frontu ściany) maksymalnej wartości strefy stropu zawałowego i górotworu odprężonego dla pierwszej wybieranej z zawałem stropu ściany w parceli przyjmuje kształt trapezu (rys. 7).

Jest rzeczą oczywistą, że przy małej długości pierwszej ściany w parceli, której zroby obustronnie otoczone są calizną węglową – wysokość strefy odprężonej nie może osiągać wartości określonej zależnością (2a). Z rys. 2b wynika, że dla długości frontu ściany

$$L \leq 0,24gc^{-4,656}/\text{tg}\beta \quad (5)$$

zasięg strefy odprężonej co najwyżej może być równy wartości h określonej zależnością (2a). Ścianę o takiej długości w rozumieniu niniejszej pracy uważa się za ścianę krótką.

Strefa odprężona może przybrać wówczas kształt zbliżony do trójkąta, uzasadniany teorią Cimbariewicza kształtu strefy ciśnien dla wyrobiska korytarzowego [19]. Dla uprzednio podanego zakresu wysokości ścian zawałowych i przy przyjęciu wartości $\text{tg}\beta = 2$ oznacza, że w tym rozumieniu ściany krótkie mieszczą się w przedziale długości 33 – 150 m (rys 7b). Można to przyjąć jako szczególny przypadek kształtu strefy zawałowej i górotworu naruszonego nad polem pierwszej ściany zawałowej w parceli. Dla ścian dłuższych strefa odprężona posiada kształt zbliżony do trapezu (rys. 7a). Z dostateczną dla praktyki dokładnością trapezowy kształt strefy naruszonej można również przyjąć dla rozwiniętej eksploatacji w parceli, to jest dla kolejnych ścian w parceli, których pola znajdują się w jednostronnym otoczeniu zrobów.

W określaniu wartości powierzchni przekroju poprzecznego wartości strefy stropu zawałowego i górotworu odprężonego nie można pominąć zmienności wartości $\text{tg}\beta$, która dla górotworu karbońskiego GZW zmienia się w przedziale [4]

$$1,5 \leq \text{tg}\beta \leq 3,5 \quad (6)$$

Dolna wartość dotyczy górotworu o wysokich parametrach zwięzłości, górna – górotworu o małej zwięzłości, gęsto uwarstwionego lub wielokrotnie naruszonego eksploatacją.

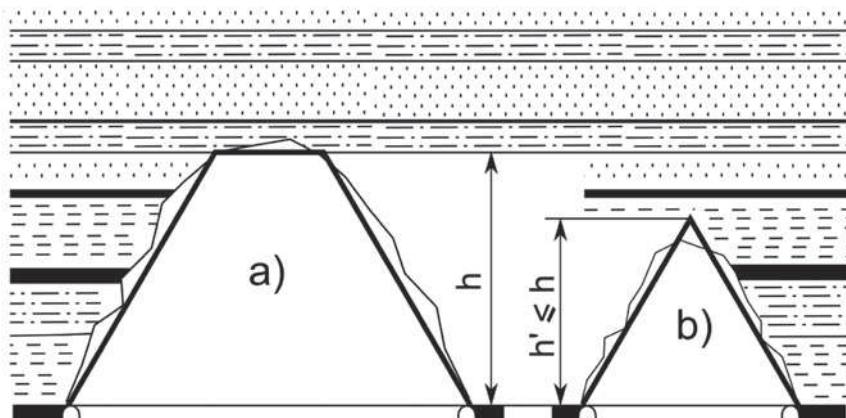
Wartości $\text{tg}\beta$ zmienne są w odniesieniu do krawędzi dynamicznej (przodku ściany) i krawędzi statycznej (wyznaczonej chodnikiem przyścianowym, rys. 3).

Stan zeszczerzowania (rozluźnienia) górotworu, a tym samym i jego gazo- i wodoprzepuszczalność, istotnie zmienia się w zależności od odległości od stropu (pułapu) wybranego pokładu. W strefie stropu zawałowego rozluźnienie i odprężenie skał osiąga swoje maksimum, podobnie maksimum osiąga gazo- i wodoprzepuszczalność. W miarę oddalania się w pionie parametry te stopniowo osiągają wartość właściwą dla górotworu nienaruszonego.

3.2. Eksploatacja z podsadzką

Wprowadzenie z zewnątrz materiału podsadzkowego do sukcesywnie likwidowanej części przemieszczającego się wyrobiska eksploatacyjnego oddziałuje na strop wyrobiska w sposób dwojaki:

- ogranicza osiadanie stropu do pozornie zmniejszonej wysokości wyrobiska eksploatacyjnego o kubaturę wprowadzonej podsadzki w przeliczeniu na caliznę wybranego



Rys. 7. Schemat przekroju poprzecznego strefy zawałowej i górotworu odprężonego w zależności od długości pierwszej ściany w parceli, a) – ściana długa, b) – ściana krótka

Fig. 7. Scheme of cross-section of caving zone and decompressed rock mass depending on the length of the first wall in parcel, a) – long wall, b) short wall

pokładu, to jest z pominięciem współczynnika rozluźnienia materiału podsadzkowego,

- stosowana technologia podsadzania – wymagająca utrzymywania stropu w podsadzanej części wyrobiska dla umożliwienia wprowadzenia podsadzki – wyklucza możliwość powstania zawału pełnego skał stropowych, a w przypadku relatywnie dokładnego wypełnienia podsadzanej części wyrobiska – nawet wyklucza powstanie zawału wysokiego, więc likwiduje powstanie strefy stropu zawałowego.

Z analizy wartości wypełnienia zrobów podsadzką (w przeliczeniu na caliznę, to jest z pominięciem współczynnika rozluźnienia materiału podsadzkowego i przy uwzględnieniu konwergencji wyrobiska, jakości materiału podsadzkowego i jakości podsadzenia) wynika, że średnio do przestrzeni podsadzanej wprowadza się 40% podsadzki suchej i 60% - podsadzki hydraulicznej w odniesieniu do kubatury wybranej calizny pokładu [8]. W praktyce podsadzka sucha eliminuje powstanie strefy zawału pełnego, a podsadzka hydrauliczna – stref zawału pełnego i wysokiego, to jest strefy stropu zawałowego. Destrukcja górotworu przy eksploatacji z podsadzką jest więc odpowiednio mniejsza.

Podaną zależność (2) i (2a) można również stosować do analizy wartości strefy odprężonej przy eksploatacji z podsadzką. Przy wybieraniu złoża z podsadzką parametr g' w rozumieniu zależności (2) i (2a) wyniesie

$$g' = gk \tag{7}$$

gdzie k – współczynnik pozornego zmniejszenia wysokości wyrobiska eksploacyjnego o kubaturę wprowadzonej podsadzki do zrobów, to jest średnio $k = 0,4$ dla eksploatacji z podsadzką suchą i $k = 0,6$ dla eksploatacji z podsadzką hydrauliczną [8].

Potwierdzeniem powyższego może być określana pomiarami wartość w_{max} osiadania powierzchni terenu, która dla eksploatacji z zawałem stropu wynosi $a_z = (0,7 - 0,8)g$, dla eksploatacji z podsadzką suchą $a_s = (0,7 - 0,8)g \times (1 - k)$, czyli $(0,7 - 0,8)g \times 0,6 = 0,42 - 0,56g$, a dla eksploatacji z podsadzką hydrauliczną odpowiednio $a_h = (0,7 - 0,8)g \times 0,4 = 0,28 - 0,32g$. Określone w ten sposób wartości parametru a istotnie nie różnią się od podanych w [4].

Zależność (2) przyjmie wówczas postać

$$h_z/gk = 0,12 c^{-4,656} \tag{8}$$

i odpowiednio

$$h_z = 0,12gk c^{-4,656} \tag{8a}$$

Wysokości wyrobisk ścian z podsadzką hydrauliczną mieszczą się w przedziale 2,0 – 4,5m. Przyjmując wartość $k = 0,6$, $tg\beta = 2$ i wymieniony przedział wysokości ścian - z zależności (8a) wynika, że maksymalna wysokość strefy odprężonej przy eksploatacji z podsadzką hydrauliczną – dla uprzednio podanych wartości średnich g, k i c - wyniesie

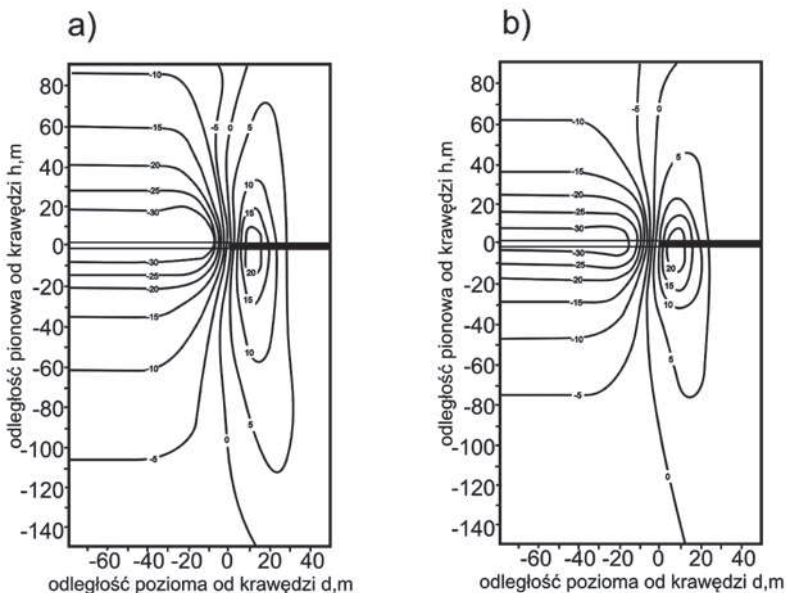
$$26 \leq h_z \leq 59 \text{ m} \tag{9}$$

3.3. Strefa odprężona skał spągowych

Osiadanie skał stropowych nad polami eksploatacji ścianowej zostało w zadowalającym stopniu zbadane. Praktycznie brak jest takich badań co do przemieszczeń skał spągowych. Szereg badań wykonano w zakresie przemieszczeń skał wokół wyrobisk korytarzowych, w tym wypiętrzania spodu (spągu) w chodnikach przyścianowych. Ich rezultaty nie mogą stanowić podstawy do oceny destrukcji spągu w polu ścianowym, ponieważ:

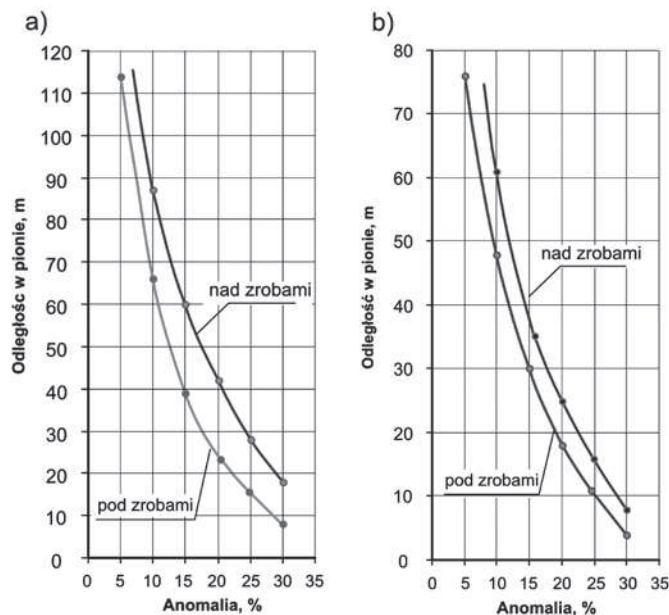
- powierzchnia wyrobisk przyścianowych stanowi 2-5% powierzchni pola ścianowego,
- spodek (spąg) wyrobisk korytarzowych jest długotrwale odkryty, może swobodnie przemieszczać się do wyrobiska, podczas gdy spodek (spąg) w polu ściany praktycznie jest stale w mniejszym lub większym stopniu obciążony – calizną pokładu, obudową, a następnie rumowiskiem zawałowym lub podsadzką stopniowo sprasowywaną przez osiadające skały stropowe,
- spodek (spąg) wyrobisk korytarzowych długotrwale poddany jest wietrzeniu, w tym działaniu wody (wilgoci), co zmniejsza parametry wytrzymałościowe skał; w odniesieniu do spodu (spągu) w polu ściany oddziaływanie tego czynnika jest pomijalnie małe.

Miarodajne określenie zasięgu strefy odprężonej skał spągowych można uzyskać konfrontując zbadane wartości zasięgu stref odprężonych, określanych anomalią prędkości rozchodzenia się sejsmicznej fali podłużnej w górotworze nad zrobami (w stropie) i pod zrobami (w spągu) ([2], rys. 8)



Rys. 8. Rozkład anomalii sejsmicznej dla fali podłużnej w pokładzie węgla w otoczeniu krawędzi zatrzymanej eksploatacji o grubości wybrania $g = 2,5$ m i czasie wybrania 0 - 1 lat; a) ściany z zawałem stropu, b) ściany z podsadzką hydrauliczną [2]

Fig. 8. Layout of seismic anomalies for longitudinal wave in coal seam in the surroundings of edge of stopped exploitation of output thickness $g = 2,5$ m over time 0 – 1 year.



Rys. 9. Interpretacja anomalii sejsmicznej w rejonie zatrzymanej krawędzi eksploatacji pokładu $g = 2,5$ m dla $t \leq 1$ roku – a) dla ściany z zawalem stropu, b) dla ściany z podsadzką hydrauliczną wyników badań [2]

Fig. 9. Interpretation of seismic anomaly in the area of stopped edge of exploitation of coal seam $g = 2,5$ m for $t \leq 1$ year a) for longwall with caving, b) for longwall with backfilling of the research results [2]

Wyniki badań (rys. 8) i ich interpretacja (rys. 9) jednoznacznie wskazują, że przy eksploatacji z zawalem stropu zasięg w pionie odprężenia w rezultacie podebrania stanowi około 60% zasięgu odprężenia górotworu spowodowanego nadebraniem. Bardziej zbliżone do siebie jest odprężenie stwierdzone przy eksploatacji z podsadzką hydrauliczną, gdzie ta różnica ogranicza się do około 30%, to jest ustabilizowany zasięg skutków podebrania stanowi 70% skutków nadebrania.

Strefę destrukcji skał spągowych można rozpatrywać wyłącznie jako ich odprężenie. Nie zachodzi w niej destrukcja właściwa dla stropu zawalowego w rozumieniu destrukcji skał stropowych, nie ulegają one przemieszczeniom jak skały stropowe. Stąd też nie należy przewidywać liczącego się wpływu miąższości wybieranego pokładu (wysokości wyrobisk ścianowych) na zasięg odprężenia skał spągowych.

Można oczekiwać, że największy zasięg odprężenia skał spągowych wystąpi przy najmniejszej wysokości wyrobisk, kiedy czoło ściany (ocios chodnika) wykazuje największą sztywność. Naprężenia przed linią frontu ściany przekazywane przez pokład na spąg będą przy tym najwyższe, a więc i zachodząca przy tym destrukcja skał spągowych osiągnie wartość największą.

Biorąc powyższe pod uwagę, dla eksploatacji z zawalem stropu z zależności (4) otrzymamy ($h_{sz} = 0,6xh_{min} = 0,6x33$ m ≈ 20 m)

$$h_{sz} \approx 20 \text{ m} \quad (10)$$

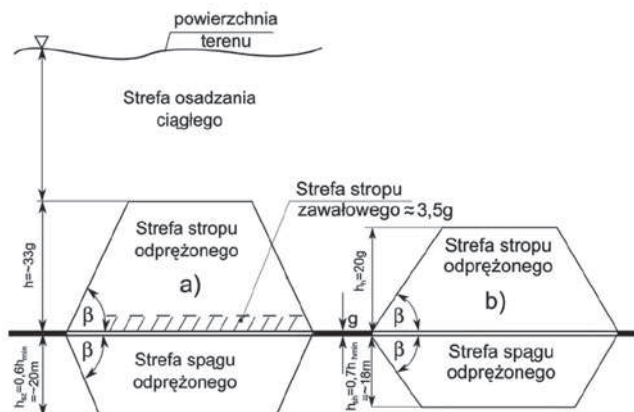
Odpowiednio dla eksploatacji z podsadzką hydrauliczną – przy uwzględnieniu zależności (9) otrzymamy ($h_{sh} = 0,7xh_{min} = 0,7x26$ m ≈ 18 m)

$$h_{sh} \approx 18 \text{ m} \quad (11)$$

Zmiany właściwości fizycznych skał spągu zachodzące w strefie odprężonej będą rezultatem odprężenia. Nie wystąpi tu strefa zawalowa.

3.4. Destrukcja pokładu

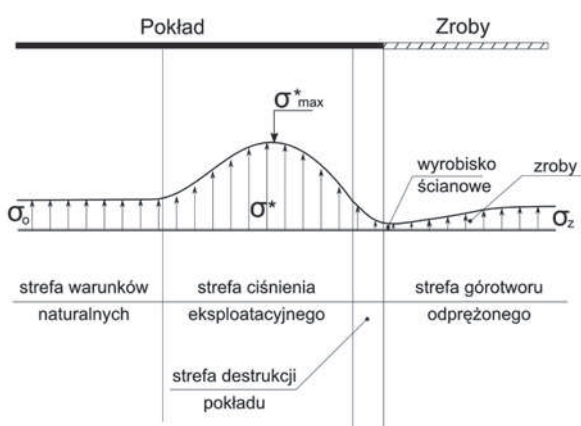
Wykonanie chodników przyścianowych nie powoduje deformacji pokładu w całym polu ścianowym, a jedynie w strefie oddziaływania chodników. W polu ścianowym istotne zmiany zachodzą podczas eksploatacji pokładu. Do pewnej odległości przed frontem ściany pokład pozostaje nienaruszony, jego cechy są właściwe dla aktualnych uwarunkowań zalegania. Podobnie stan naprężenia w nim pozostaje właściwym dla danych warunków geologiczno-górnictwowych. Dla potrzeb niniejszej pracy naprężenie to oznaczymy ogólnym symbolem σ_0 . W pewnej odległości przed linią frontu ściany rozpoczyna się oddziaływanie podatnie utwierdzonego wspornika skał stro-



Rys. 10. Strefy destrukcji górotworu w rejonie eksploatacji ścianowej a) z zawalem stropu, b) z podsadzką hydrauliczną

Fig. 10. Zones of rock mass destruction in the area of longwall exploitation a) with caving, b) with backfilling

powych znad wyrobiska ścianowego i zrobów. W pokładzie wytwarza się zwiększony stan naprężenia zwany ciśnieniem eksploatacyjnym, to jest $\sigma^* \geq \sigma_0$. W pewnej odległości przed frontem ściany stan naprężenia osiąga maksimum σ^*_{max} , kompaktacja pokładu również osiąga wartości maksymalne. Od tego miejsca rozpoczynają się przemieszczenia punktów materialnych w pokładzie w kierunku frontu ściany, co stopniowo zmniejsza składową poziomą stanu naprężenia i w konsekwencji również składową pionową. Wartość naprężenia (ciśnienia eksploatacyjnego) σ^* stopniowo zmniejsza się i w pewnej odległości przed frontem ściany powtórnie zrównuje się z pierwotnym stanem naprężenia, to jest $\sigma^* = \sigma_0$. Od tego punktu rozpoczyna się destrukcja struktury pokładu, jego spękanie, wreszcie opady węgla z czoła ściany (rys. 11). Skrajna część pokładu w strefie destrukcji jest urabiana na głębokość zabioru. Ten fragment węgla pokładu ulega rozdrobnieniu. Linia frontu ściany na głębokość zabioru przemieszcza się w głąb strefy destrukcji.



Rys. 11. Schemat zmian stanu naprężenia w polu ścianowym
Fig. 11. Scheme of pressure changes in the wall field

4. Dyskusja możliwości wykorzystania ustaleń dla poprawy bezpieczeństwa robót górniczych

Pierwotne właściwości górotworu i skał go budujących w istotny sposób ulegają zmianie w zasięgu oddziaływania zaszczości eksploatacyjnych, w tym również bieżąco prowadzonych robót wybierkowych. W obszarze wpływu zrobów górotwór ulega destrukcji – rozwarstwieniom, spękanom, odprężeniu. Wpływ resztek, krawędzi przejawia się zwiększeniem stanu naprężenia, kompaktacją masywu skalnego. Powyższe wywiera istotny wpływ na stan zagrożeń przy prowadzeniu robót górniczych.

Spośród wielu zagrożeń naturalnych i technicznych występujących w kopalniach węgla kamiennego w polach ścianowych dominującymi są zagrożenie powodowane tąpnięciami i metanem (zapaleniem i/lub wybuchem metanu, a w konsekwencji – również pyłu węglowego).

W ostatnich latach około 80-90% tąpnięć wystąpiło w chodnikach przyścianowych i w chodnikach, które były zlokalizowane w zasięgu oddziaływania bądź resztek bądź krawędzi lub przejściowo znalazły się w strefach ciśnień eksploatacyjnych, to jest rezultatów działań eksploatacji pokładów węgla, powodujących lokalne zwiększenie stanu naprężenia w pokładzie lub ogólnie – w górotworze. Rzadsze są przypadki tąpnięć w wyrobiskach ścianowych [15]. Szczególnie wysoki stan zagrożenia tąpnięciami występuje w odcinkach wyrobisk poddanych wpływom oddziaływania resztek bądź krawę-

dzi i równocześnie wpływom ciśnienia eksploatacyjnego. W tym kontekście dla ograniczenia zagrożenia wystąpienia tąpnięcia istotne znaczenie posiada kierunek zbliżania się czoła wyrobiska do krawędzi – od strony zrobów czy od strony calizny. Linia krawędzi wyznacza bowiem sąsiadujące fragmenty górotworu o zróżnicowanych właściwościach. W strefie podebranej górotwór ulega odprężeniu i spękanom, a w efekcie zmniejszeniu parametrów wytrzymałościowym skał. Przy wskaźniku podebrania $5 \leq M \leq 10$ wytrzymałość na ściskanie węgla zmniejsza się o 20–10%, na rozciąganie o 18–10%, odpowiednio ilowca o 15–5% i 12–5%, a piaskowca o 8–4% i 8–5%. Skały słabsze ulegają więc większym uszkodzeniom niż skały mocne [14].

Przy zbliżaniu się do krawędzi od strony calizny zawęża się pas naprężenia statycznego w resztkce, a tym samym podwyższa się w pasie wzdłuż krawędzi. Sumując się z ciśnieniem eksploatacyjnym może wytworzyć krytyczny stan naprężenia. Mniej niekorzystny stan naprężenia wystąpi przy zbliżaniu się do krawędzi od strony strefy zrobów. Uwzględnienia wymaga też zmiana odległościowa w poziomie i w pionie stref podwyższonych naprężeń związanych z krawędziami statycznymi i dynamicznymi. Ustalenia te wskażą również na miejsca występowania naprężeń rozciągających, najkorzystniejszych dla stosowania profilaktyk metodami destrukcji górotworu.

Zagrożenie metanowe warunkowane jest – przy prawidłowo zaprojektowanej profilaktyce i przewietrzaniu pola ścianowego – metanonośnością eksploatowanego pokładu i dopływem metanu do środowiska ściany z pokładów (górotworu) znajdujących się w strefie stropu zawalowego oraz w strefach odprężenia w stropie i w spągu [9, 10, 11, 20].

Z doświadczeń wynika, że w warunkach GZW odmetanowanie w warunkach górotworu nienaruszonego nie daje zadowalających rezultatów. Intensywne wydzielanie metanu z eksploatowanego pokładu następuje ze strefy destrukcji pokładu (rys.11) oraz z urobionego węgla. Różnice w ilości wydzielanego gazu z pokładu i urobku związane są z miejscem urabiania kombajnem w ścianie. Przy rozpoczynaniu cyklu urabiania - metan wydziela się ze strefy destrukcji pokładu, a przy jego kończeniu – również z urobku znajdującego się na całej długości przenośnika ścianowego. Do wyrobiska ścianowego i otoczenia ściany gaz kopalniany przedostaje się również ze zrobów.

Kubatura skał stropu zawalowego, a także skał stref odprężonych w stropie i spągu istotnie zmienia się w zrobach wraz z odległością od frontu ściany. O ile zawal pełny najczęściej zachodzi bezpośrednio za obudową, to zawal wysoki – w odległości kilkunastu metrów od linii frontu ściany, a pełna destrukcja skał stropowych i spagowych o wartościach przedstawionych na rys. 10 – w strefie stabilizacji przemieszczeń górotworu, a więc w odległości rzędu 150-200 m od linii frontu ściany. W tym przedziale odległościowym zmienia się kubatura górotworu mającego wpływ na wydzielanie metanu (gazu kopalnianego) do środowiska ściany.

Należy zwrócić uwagę na zmianę gazoprzepuszczalności podebranego górotworu w zależności od odległości w pionie rozpatrywanej warstwy skalnej od pokładu. Zgodnie z wynikami badań szczelinowość skał podebranych przy wskaźniku podebrania $5 \leq M \leq 10$ zwiększa się o 60–20% dla ilowców i 30–10% dla piaskowców [14].

Zatem metan (gaz kopalniany) wydzielany do środowiska ściany jest sumą metanu desorbowanego z eksploatowanego pokładu, z pokładów ze strefy otaczającego podebranego i nadebranego górotworu oraz gazu wolnego znajdującego się w skałach tych stref, czyli

$$M = f(g, l, \eta, V) + \varphi(l, h, \mu, \eta, V, L) + \psi(l, h_s, \mu_s, \eta_s, V_s, L) + M_w \quad (13)$$

gdzie:

- l – długość ściany,
- V – metanonośność eksploatowanego pokładu,
- h – sumaryczny zasięg strefy zawałowej i strefy odprężonej w stopie pokładu,
- μ_1 – gazoprzepuszczalność podebranego górotworu w odległości h_1 od stopu eksploatowanego pokładu,
- V_i – metanonośność i – tego podebranego pokładu zalegającego w odległości h_1 od stopu eksploatowanego pokładu,
- L – odległość rozpatrywanego punktu w zrobach od frontu ściany,
- V_{is} – metanonośność i – tego pokładu w strefie odprężonej w odległości h_{si} od spągu eksploatowanego pokładu,
- h_s – zasięg strefy odprężonej w spągu pokładu,
- μ_{is} – gazoprzepuszczalność górotworu w odległości h_{si} od spągu eksploatowanego pokładu,
- η – współczynnik odmetanowania eksploatowanego pokładu oraz i – tego pokładu podbieranego (η_i) lub nadbieranego (η_{si}) przy naturalnym lub sztucznym odmetanowaniu ([3] rys. 6), zalegającego odpowiednio w odległości h_i lub h_{is} od eksploatowanego pokładu,
- M_w – gaz wolny wydzielany do środowiska ściany.

Dla praktycznego wykorzystania powyższego niezbędne są dalsze badania, w szczególności dla uściślenia gazoprzepuszczalności oraz współczynników odmetanowania pokładów występujących w strefach odprężenia w podebranym i nadebranym górotworze.

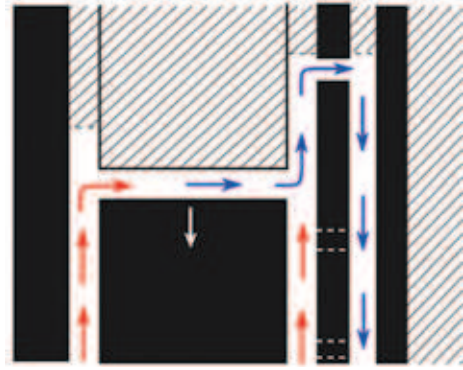
O ile grubość eksploatowanego pokładu (wysokość eksploatacyjna) i jego metanonośność oraz grubość i metanonośność pokładów podbieranych i nadbieranych są czynnikami obiektywnymi, to długość ściany i prędkość jej postępu (wielkość dobowego wydobywania) pozostają w gestii projektanta robót górniczych. Podobnie technologia i zakres stosowania profilaktyki metanowej o znanej lub projektowanej skuteczności w znacznym stopniu dowolności może być dobrana i stosowana w aktualnych warunkach technicznych. Zatem wielkość wydobywania ze ściany może być tak zaprojektowana na całym jej wybiegu, że w żadnym miejscu nie będzie przekroczona metanowość kryterialna [10, 11].

Problem bezpieczeństwa eksploatacji będzie znacznie bardziej złożony w warunkach równoczesnego występowania zagrożenia tapaniami i metanem [5]. Jednym ze sposobów ograniczenia zagrożenia metanowego jest przewietrzanie systemem Y. Pociąga to za sobą konieczność utrzymywania dla danej ściany trzech chodników o odpowiednio dużych przekrojach poprzecznych. Dla aktualnej głębokości eksploatacji pokładów metanowych jest to możliwe przy prowadzeniu wybierania „od pola” (rys. 12). Jest to sposób niekorzystny ze względu na zagrożenie tapaniami.

W tych warunkach pozostaje dla projektanta wybór:

- zachowania tradycyjnie przyjmowanej długości ściany rzędu 250 m z przewietrzaniem na Y, o ile w tych warunkach będzie możliwe opanowanie zagrożenia tapaniami [5, 6, 20] lub
- ścian krótkich przewietrzanych systemem na U, o ile będzie przy tym możliwe opanowanie zagrożenia metanowego przy stosowaniu pomocniczych urządzeń wentylacyjnych [10, 11, 12].

Biorąc pod uwagę konieczność utrzymywania dla każdej ściany trzech chodników przy przewietrzaniu na Y oraz konieczność wykonywania przecinek między parą chodników i utrzymywania tych wyrobisk na pewnym odcinku za frontem ściany - koszty robót chodnikowych dla ściany nawet o długości rzędu 120–150 m mogłyby być równoważne dla



Rys. 12. Schemat przewietrzania pola ściennego na Y przy wybieraniu „od pola” przy zaawansowanej eksploatacji w warunkach zagrożenia metanowego
Fig. 12. Scheme of ventilating the wall field on Y by exploitation “from the field” by advanced exploitation in parcel in the conditions of methane hazard

obu sposobów projektowania i prowadzenia ścian. Ściany krótsze miałyby również uzasadnienie wynikające ze zmniejszenia wypływu metanu, zarówno z eksploatowanego pokładu, jak i ze stref górotworu odprężonego. Możliwa przy tym większa prędkość postępu ścian byłaby korzystna również ze względu na zagrożenie pożarami endogenicznymi.

Bezpieczne wybieranie pokładów w warunkach występowania zagrożeń naturalnych, w tym skojarzonych, może być osiągnięte w rezultacie:

- dokonania właściwej oceny stanu poszczególnych zagrożeń,
- właściwego zaprojektowania robót górniczych,
- poprawnego doboru profilaktyk, właściwego miejsca i czasu ich zastosowania,
- bieżącego monitoringu stanu zagrożeń,
- operatywnego weryfikowania profilaktyk stosownie do stwierdzanych monitoringiem zmian stanu zagrożeń,
- przyjęcie zasady ograniczonego zaufania do wszelkich przyjętych ustaleń, co spowoduje szczególną wrażliwość na zachodzące zmiany stanu zagrożeń przy prowadzeniu robót górniczych i profilaktycznych.

Tak zaprojektowane i prowadzone roboty mogą być bezpiecznie realizowane nawet w warunkach obiektywnie istniejącego wysokiego stanu określonego zagrożenia, w tym również stanu zagrożeń skojarzonych.

Literatura

1. *Biliński A.*: Przejawy ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ściennych w pokładach węgla. Politechnika Śląska, Zeszyty Naukowe Nr 221. Gliwice 1968.
2. *Dubiński J.*: Sejsmiczna metoda wyprzedzającej oceny zagrożenia wstrząsami górniczymi w kopalniach węgla kamiennego. Prace GIG, Seria Dodatkowa, Katowice 1989.
3. *Иофис М.А., Малахова И.М.*: Повышение безопасности при разработке газоносных угольных пластов. Безопасность труда в промышленности. № 10, 2010.
4. *Knothe S.*: Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1984.
5. *Kabiesz J.*: Charakterystyka skojarzonych zagrożeń górniczych w aspekcie ich oceny oraz doboru metod prewencji. Prace Naukowe GIG Nr 849, Katowice 2002.
6. *Konopko W.*: Podstawowe zasady bezpiecznej eksploatacji złoża w górotworze skłonnym do tapan. „Przegląd Górniczy” 2007, nr 7/8.

7. *Konopko W.*: O przemieszczeniach górotworu nad polami ciągłej eksploatacji. Problemy Ochrony Terenów Górniczych. Prace naukowe GIG, seria Konferencje Nr. 41, Katowice 2002.
8. *Konopko W.*: Wydobywanie i destrukcja górotworu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. „Przeгляд Górnicy” 2010, nr 11.
9. *Konopko W.*: Problemy bezpiecznej eksploatacji pokładów metanowych. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” 2011, nr 3(199), str. 3-9.
10. *Konopko W.* (red.): Warunki bezpiecznej eksploatacji pokładów węgla zagrożonych metanem, tapaniami i pożarami endogenicznymi. GIG, Katowice 2010, str. 234.
11. *Krause E., Łukowicz K.*: Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego. Główny Instytut Górnictwa. Seria Instrukcje Nr 17, Katowice – Mikołów 2004.
12. *Krause E., Łukowicz K.*: Dynamiczna prognoza metanowości bezwzględnej ścian (poradnik techniczny). GIG, KD „Barbara, Katowice – Mikołów 2000.
13. *Krause E., Łukowicz K., Gruszka A.*: Zasady przewietrzania wyrobisk górniczych w warunkach zagrożenia metanowego wraz z doborem urządzeń wentylacyjnych dla jego zwalczania. Wydanie drugie poprawione, Wydawnictwo GIG, seria Instrukcje 2000, nr 8.
14. *Krause E., Sebastian Z.*: Zagrożenie gazowe. Praca zbiorowa pod kierunkiem W. Konopko. Raport roczny 2012 o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. GIG, Katowice 2013.
15. *Łojas J., Konopko W.*: Kryteria nie niszczącego podbierania pokładów węgla. „Przeгляд Górnicy” 1981, nr 7-8.
16. *Patyńska R.*: Zagrożenie tapaniami. Praca zbiorowa pod kierunkiem W. Konopko. Raport roczny 2012 o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. GIG, Katowice 2013.
17. *Piwniak G. G., Tabaczenko N. M., Dyczkowski R. E., Falsztynski W. S.*: Zarządzanie ryzykiem w górnictwie. Wydawnictwo GIG. Katowice 2013.
18. *Ropski S., Zdański J.*: Zachowanie się stropu nad pokładem wybieranym z zawalem. „Przeгляд Górnicy” 1965, nr 10.
19. *Ryncarz T.*: Zarys fizyki górotworu. Śląskie Wydawnictwo Techniczne. Katowice 1993.
20. *Sałustowicz A.*: Mechanika górotworu. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1953.

***Zwiększajmy prenumeratę
najstarszego – czołowego miesięcznika
Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa!***

Liczba zamawianych egzemplarzy określa zaangażowanie jednostki
gospodarczej w procesie podnoszenia kwalifikacji swoich kadr!