

Renata PATYŃSKA

Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Kryteria inicjowania wyrzutów gazu i skał w górnictwie światowym

Słowa kluczowe

wyrzuty węgla i gazu, parametry zainicjowania wyrzutu, porowatość

Streszczenie

Obszerna analiza zaistniałych wyrzutów w polskich kopalniach węgla, wykazuje potrzebę uwzględniania wpływu struktury pokładu i bezpośrednio otaczających skał stropu oraz spągu, jako istotnego kryterium zainicjowania tego zjawiska. Wyrzut gazów i skał jest zjawiskiem związanym z obecnością gazu w strukturze porowatego ośrodka. Ilość gazu jaka jest niezbędna do tego by wyrzut nastąpił, wynika z pojemności wewnętrznej porowatego ośrodka skalnego. Wyniki badań modelowych dotyczące porowatości struktury calizny węglowej w przodku wyrobiska korytarzowego, wskazują na zróżnicowanie tegoż parametru w zależności od miejsca pomiarowego.

1. Wstęp

W większości krajów, w których stwierdzono występowanie wyrzutów, jako podstawową ich przyczynę podaje się wpływ zaburzeń geologicznych [13]. Nie wszystkie jednak zaburzenia jednakowo wpływają na zagrożenie wyrzutowe. Jedne odgrywają rolę dominującą w powstawaniu zagrożenia i generowaniu wyrzutu, inne tylko nieznacznie go potęgują.

Badacze chińscy [26], opierając się na własnych doświadczeniach twierdzą, że prawie wszystkie wyrzuty zachodzą w rejonach o dużych zmianach strukturalnych w pokładzie węglowym. Stawiają oni również tezę, że szczególne zagrożenie wyrzutowe występuje wówczas, gdy grubość warstwy zdeformowanej tektonicznie przekracza 0,8 m. Zdeformowane węgle (o strukturze granulkowej lub zmylonityzowanej) są niestabilne z powodu osłabienia mechanicznego oraz wysokiej pojemności wobec gazów.

Inni badacze [25] wyjaśniają zmiany ciśnienia gazu oraz naprężenia w otoczeniu czoła wyrobiska zbliżającego się do węgla o strukturze zmylonityzowanej. Stwierdzają oni, że rosną wówczas wartości naprężeń, spada przepuszczalność węgla oraz tworzy się znaczny gradient ciśnienia w okolicy czoła chodnika. Opierając się na pomiarach wykazują również, że nie zawsze węgiel o zniszczonej strukturze oddaje gaz szybciej niż węgiel nieodmieniony.

Kobiela i in. [14] uważają, że szczególnie wysokie zagrożenie wyrzutowe występuje w rejonie antyklin i nasunięć. Cybulski [8] pisząc o wyrzutach w kłódawskim wysadzie solnym przedstawia dwa skupiska wyrzutów związanych z dwoma antyklinami.

Analizy [16] wyrzutów CO₂ i węgla zaistniałych w kopalniach niecki wałbrzyskiej wykazały, że w antyklinach dodatkowe naprężenia rozciągające spowodowały rozciągnięcie i rozluźnienie struktury porowatej ośrodka skalnego, a także umożliwiły dopływ dodatkowej ilości gazu. Dodatkowe boczne naprężenia ściskające zamknęły powstałe pułapki gazowe oraz spowodowały skompensowanie wysokiego gradientu ciśnienia gazu wewnątrz ośrodka (skalno-gazowego). Na podstawie obserwacji zaburzeń geologicznych w rejonie kopalń wałbrzyskich wyrzuty rejestrowano w przodkach wyrobisk górniczych zlokalizowanych w otoczeniu niewielkich rozmiarów nasunięć sfałdowań i uskoków o zrzutach od 0,5 do 2,0 m.

Ciekawe wyniki obserwacji związku wyrzutów z różnego typu zaburzeniami geologicznymi przedstawiono na podstawie zjawisk zaistniałych w latach 1947-48 w Wielkiej Brytanii. Dla 101 przypadków wyrzutów zaistniałych w kopalniach antracytu Zachodniej Walii [25], oceniono zależność wystąpienia wyrzutu od struktur geologicznych, w których miał miejsce. I tak:

- 27,5% wyrzutów zaistniało w antyklinach i sfałdowaniach,
- 20% wystąpiło z powodu sfałdowań spągowych,
- 15% w rejonie małych uskoków o niewielkich zrzutach,
- 10% wyrzutów zdarzyło się w miejscu stwierdzonych nasunięć,
- 10% w miejscach mylonityzacji węgla,
- 7,5% w miejscach wymycia lub zcienienia,
- 7,5% w miejscach zmniejszenia się zwięzłości węgla,
- 2,5% w synklinach.

Autorzy Krzystalik i in. [16] są zgodni co do tego, że wyrzuty gazów i skał są ściśle związane z zaburzeniami geologicznymi, zwłaszcza z tymi, które doprowadziły do dezintegracji ośrodka skalnego, zniszczenia naturalnej struktury skał osadowych i wtórnego, skumulowanego nasycenia gazami.

Budryk [4] napisał, że „zjawisko nagłych wydzieleni należy całkowicie podporządkować tapaniom”. Uważał, że wstrząsy tektoniczne „atakują” przede wszystkim najsłabsze miejsca i przyczyniają się do chwilowego zwiększenia w nich naprężeń do granicy wytrzymałości węgla i wywołania tapani. Suchodolski [23] podkreślał, że zagrożenie wyrzutami stref przy uskockach, ma związek ze zniszczeniem pierwotnej struktury i zmianą własności fizykochemicznych węgla oraz warunków sorpcji gazu przez węgiel i jego desorpcji z węgla. Na szczególną rolę w narastaniu zagrożenia wyrzutowego w strefach zaburzonych zwracał uwagę także Cis [7] oraz badacze niemieccy: Baum [2], Bubnoff [3].

Krzystalik i Kobiela [17] odrzucają podobieństwo wyrzutów do tapani. Według nich w tapaniach akumulacja naprężeń następuje w otaczającym górotworze, w środowisku mocnych skał pod wpływem prowadzonych robót górniczych. W wyrzutach naprężenia tkwią wewnątrz dawno powstałej struktury geologicznej (w wyniku przeobrażeń metamorficznych) i prowadzenie robót górniczych nie powoduje wzrostu tych naprężeń, a jedynie przyczynia się do ich uaktywnienia i wywołania ruchu kinetycznego mało zwięzłego (rozluźnionego) ośrodka (masy gazowo-węglowej, gazowo-piaskowcowej lub gazowo-solnej).

Ponadto Krzystalik i Kobiela [17] uzasadniają, że dominującą rolę przy wyrzutach spełniają naprężenia strukturalno-gazowe skumulowane wewnątrz „gniazda wyrzutowego”. Nadmiar gazu w stosunku do pojemności sorpcyjnej porowatego ośrodka skalnego (węgla, piaskowca bądź soli), powoduje jego spulchnienie, rozluźnienie struktury porowatej lub nawet jej rozerwanie, a także wystąpienie wysokiego gradientu ciśnienia wewnątrz „gniazda wyrzutowego”. Hipoteza o występowaniu w górotworze gniazd, „pułapek gazowych” lub

swoistego rodzaju „min wyrzutowych”, spotykana jest u wielu autorów i z pewnymi modyfikacjami co do istoty zjawiska pojawia się współcześnie.

W większości hipotezy wyjaśniające zjawiska wyrzutów skał i gazów zakładają, że w mechanizmie powstawania wyrzutów główną rolę odgrywa gaz zawarty w węglu. Jedną z nich zaproponowali Bauer i Gergowicz [1]. Według tych badaczy wyrzut jest zarówno efektem oddziaływania ciśnień eksploatacyjnych poprzez strop na pokład i ciśnienia gazu w porach węgla, jak i gradientu tego ciśnienia.

Reasumując powyższe, należy stwierdzić, że podstawowymi kryteriami zainicjowania wyrzutu są zarówno parametry gazowe (gazonośność, własności sorpcyjne, ciśnienie gazu, efektywny współczynnik dyfuzji) jak i właściwości strukturalne złoża, w tym porowatość. Należy nadmienić, że porowatość dotyczy gazu wolnego wypełniającego pory w węglu – niezależnie od obecności w tym węglu gazu zaabsorbowanego.

2. Charakterystyka zjawisk zaistniałych wyrzutów

W Polsce do roku 1996 - wyrzuty gazów i skał oraz nagłe wypływy gazów skupiały się w dwóch rejonach eksploatacji kopalni użytecznych tj. w górnictwie węgla kamiennego na Dolnym Śląsku, a także w górnictwie soli kamiennej na Kujawach.

W kopalniach soli „Kłodawa” i „Inowrocław” nagłe wypływy gazów i wyrzuty gazów i soli z udziałem CH_4 , N_2 , H_2S i węglowodorów wyższych nie powodowały większego zagrożenia dla załogi górniczej i ruchu górniczego [16]. W ponad 300 zarejestrowanych łącznie nagłych wypływach i wyrzutach nie zanotowano stężeń wybuchowych metanu ani niebezpiecznych stężeń pozostałych gazów w przekrojach wyrobisk, w związku z bardzo dużymi objętościami wyrobisk (komór, chodników).

Drugi rejon występowania wyrzutów gazów i skał związany był z wydobyciem węgla kamiennego w kopalniach na Dolnym Śląsku. Rejon ten był zaliczany do bardzo niebezpiecznych pod względem gazowym. W sumie od momentu zarejestrowania pierwszego wyrzutu w 1894 roku w Kopalni „Cezar-Zofia”, do zakończenia prowadzenia robót górniczych i eksploatacji w kopalniach dolnośląskich, w związku z ich ostateczną likwidacją w 1996 r, zaistniały łącznie 1733 wyrzuty węgla i gazu.

W rejonie kopalń wałbrzyskich wyrzuty występowały w formie rozproszonej i najczęściej związane były z różnego rodzaju zaburzeniami. W rejonie kopalń noworudzkich, zwłaszcza w polu „Piast” kopalni „Nowa Ruda” wyrzuty dwutlenku węgla i skał występowały w formie wyrzutów zwartych [7], pojawiających się w określonych odstępach postępu robót górniczych, co 8-12 m lub maksymalnie co 16-24 m, zwanych „krokiem” wyrzutu. Mechanizm występowania wyrzutów skupionych w polu „Piast” był powodowany zaburzeniami struktury węgla w formie mylonityzacji (bezpociągowej, bez kliważu i uławicenia substancji węglowej).

W rejonie wałbrzyskim wystąpiło 310 wyrzutów tj. 18% ogółu zaistniałych wyrzutów w Dolnośląskim Zagłębiu, przy czym w rejonie noworudzkim odnotowano aż 1419 tj. 82% [24]. Występowanie wyrzutów w obu rejonach i w całym Zagłębiu w odniesieniu do poszczególnych rodzajów wyrobisk, można scharakteryzować następująco: w obydwu rejonach najwięcej wyrzutów wystąpiło w wyrobiskach przygotowawczych (71,6% i 81,6%, ogółem 79,7% wyrzutów w całym Zagłębiu). W wyrobiskach udostępniających więcej wyrzutów zaistniało w rejonie wałbrzyskim (21,9%) niż w rejonie noworudzkim (7,5%), co wynikało ze zwiększonego zakresu prowadzonych robót udostępniających w kopalniach wałbrzyskich („Thorez”, „Victoria” i „Wałbrzych”).

Skalę zjawisk gazodynamicznych w Górn Śląskim Zagłębiu Węglowym określają poniższe dane [15] zarejestrowane w latach 1994 –2008.

1. Zapalenie się metanu we wnęce odmetanowania w pochylni B-6 pokład 363 poziom 705 m w KWK „Pniówek” w dniu 06.09.1994r.
2. Zapalenie i wybuch metanu w likwidowanym szybie III KWK „Morcinek” zaistniałe w dniu 24.06.1999r.
3. Wyrzut metanu i skał w drażonej lunecie rurowej do szybu II na poziomie 1000 m w KWK „Pniówek” w dniu 23.08.2002r.
4. Zapalenie metanu i pożar zaistniały w ścianie C-3 pokład 361 poziom 830 m KWK „Pniówek” w dniu 05.09.2002r.
5. Zapalenie metanu w eksploatowanej ścianie G-4 pokład 409/3 poziom 900 m KWK „Zofiówka” w dniu 11.06.2003r.
6. Wyrzut metanu i skał w chodniku transportowym D-6 pokład 409/4 na poziomie 900 m KWK „Zofiówka” w dniu 22.11.2005r.
7. W dniu 11.05.2006r. w KWK „Szczygłowice” w Knurowie w przecznicy III na poziomie 650 m w rejonie rozdzielni, nastąpiło zapalenie metanu.
8. W dniu 21.11.2006r. w KWK „Halemba” w Rudzie Śląskiej w likwidowanej ścianie 1 w pokładzie 506 w partii E nastąpiło zapalenie i wybuch metanu oraz pyłu węglowego.
9. W dniu 23.05.2007r. w KWK „Halemba” w Rudzie Śląskiej w przodku drażonej dowieczni 3 w pokładzie 402 na poziomie 1030 m nastąpiło zapalenie metanu spowodowane urabianiem zwięzłych skał stropowych (piaskowca) za pomocą kombajnu chodnikowego AM-50z.
10. W dniu 28.07.2007r. w KWK „Pokój” w Rudzie Śląskiej na skrzyżowaniu ściany 183 z dowiecznią 18/3a w pokładzie 418 nastąpiło zapalenie metanu. Przyczyną zaistniałego zdarzenia było prowadzenie robót strzałowych dla wywołania zawału w dowieczni 18/4, w następstwie czego nastąpiło wypalenie metanu w zrobach i przeniesienie płomienia w kierunku skrzyżowania ściany 183 z dowiecznią 18/3a.
11. W dniu 2.09.2007r. w KWK „Bielszowice” w Rudzie Śląskiej, na skrzyżowaniu ściany 780c z dowiecznią w pokładzie 502 nastąpiło zapalenie i wybuch metanu spowodowane prowadzeniem robót strzałowych torpedujących skały stropowe.
12. W dniu 30.10.2007r. w KWK „Budryk” w ścianie B-7 w pokładzie 358/1 na poziomie 1050m nastąpiło zapalenie metanu.
13. W KWK „Mysłowice-Wesoła” w dniu 13.01.2008r. w wyniku samozapalenia się węgla w otamowanej części chodnika IX wsch. i przecince ściany 558 w przystropowej części pokładu 510D na poziomie 665m, doszło do zapalenia i wybuchu metanu.
14. W KWK „Borynia” w dniu 04.06.2008r. w rejonie ściany F-22 w pokładzie 405/1Hg na poziomie 838 m, nastąpiło zapalenie i wybuch metanu.

Z powyższego wynika, że w latach 1994-2008 w kopalniach GZW zarejestrowano 2 wyrzuty i 12 zdarzeń określonych mianem zapalenia i/lub wybuchu metanu.

Jak wynika ze statystyk [15] zaistniały wyrzut:

- w KWK „Zofiówka” w dniu 10.08.1979r. - nastąpił w przecince drażonej do uskoku z chodnika podścianowego F-5 w pokładzie 360/3, poziom 580 m. Bezpośrednią przyczyną wyrzutu był wpływ koncentracji ciśnień w strefie przodkowej,
- w KWK „Zofiówka” w dniu 12.06.1985r. - nastąpił w chodniku badawczym H-5 w pokładzie 403/1, gdzie stwierdzono strefę uskokową (h=1,0; 1,6; 0,8; 0,9 m) o łącznej szerokości 8 m,

- w KWK „Pniówek” w dniu 23.08.2002r. - w drażonej lunecie rurowej do szybu II na poziomie 1000 m - wiąże się ze strefą drugiego maksimum metanonośności.

Południowo-zachodnia część GZW to rejon JSW S.A. o najwyższej metanonośności złóż węgla kamiennego, którą ukształtowały warunki geologiczne i silny metamorfizm związany z orogenezą alpejską. Znaczej grubości nieprzepuszczalny nadkład, wysokie ciśnienia i temperatury spowodowały, że pokłady węgla wykazują silny stopień uwęglenia i znaczną zawartość metanu. Zróżnicowanie warunków geologicznych zaowocowało dwoma maksimumami metanonośności złożowej w obrębie kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Pierwsze maksimum metanonośności występuje na głębokości względnej ok. 750 m, drugie stwierdzono od 1100 m do 1200 m [16]. W wymienionych strefach metanonośność przekroczyła $10-11 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$.

Pomiary metanowości w tychże kopalniach, podane przez Majcherczyka i Jakubowa [19], wskazują, że średnia metanowość względna w roku 2006 wynosiła około $17 \text{ m}^3/\text{Mg}$. W kopalni „Krupiński” i „Pniówek” odnotowano najwyższe wartości metanowości, kolejno: $30,67 \text{ m}^3/\text{Mg}$ i $34,90 \text{ m}^3/\text{Mg}$. Kopalnia „Borynia”, „Jas-Mos” oraz „Zofiówka” posiadały metanowość względną w granicach $6,23-26,95 \text{ m}^3/\text{Mg}$.

Według Gatnara [10] metanowość kopalń JSW S.A. w roku 2008 uległa zmianie, a jej średnia wartość w ww. kopalniach wzrosła do $27,18 \text{ m}^3/\text{Mg}$. W kopalniach „Krupiński”, „Pniówek” i „Zofiówka” notowano kolejno: $31,57 \text{ m}^3/\text{Mg}$, $36,08 \text{ m}^3/\text{Mg}$ $30,24 \text{ m}^3/\text{Mg}$, natomiast w kopalniach „Borynia” i „Jas-Mos” $16,14 \text{ m}^3/\text{Mg}$ oraz $12,82 \text{ m}^3/\text{Mg}$.

3. Kryteria zagrożenia wyrzutowego w górnictwie węgla kamiennego

Odnosząc skalę zjawisk wyrzutowych ostatnich 20 lat w kopalniach GZW do licznych opracowań i analiz można stwierdzić, że przyczynami powstawania wyrzutów są najczęściej zarówno niebezpieczne warunki gazowe jak i geologiczne [22].

W kopalniach GZW w Polsce, jak i w górnictwie na całym świecie, prognozę zagrożenia wyrzutami gazów i skał oraz ocenę ryzyka wystąpienia wyrzutu w danym miejscu prowadzi się w oparciu o podstawowy parametr jakim jest zawartość gazu w strukturze porowatego ośrodka skalnego.

Klasyfikację metod prognozowania w zależności od mierzonego parametru przedstawili Lama i Bodziony [18]. Według ich analiz główne czynniki wpływające na wyrzuty to: zawartość gazu, anomalie geologiczne, naprężenia i własności materiału.

Zgodnie z powyższym we wszystkich niemal krajach, w których występują wyrzuty gazów i skał, jako podstawowy parametr oceny ryzyka wystąpienia tego rodzaju zjawiska wymienia się zawartość gazu w strukturze porowatego ośrodka (węgla, piaskowca, soli). Kryterialne zawartości gazu desorbowlanego wskazujące na możliwość wystąpienia zagrożenia wyrzutowego w pokładach węgla, w poszczególnych krajach są następujące:

- Australia od $9-9,5 \text{ m}^3/\text{Mg}$ (CH_4)
od $5-6 \text{ m}^3/\text{Mg}$ (CO_2)
- Bułgaria $8 \text{ m}^3/\text{Mg}$ (CH_4)
- Niemcy $9 \text{ m}^3/\text{Mg}$ (CH_4)
- Polska $8 \text{ m}^3/\text{Mg}$ (CH_4)
 $6 \text{ m}^3/\text{Mg}$ (CO_2)
- Ukraina (Donieck) $8 \text{ m}^3/\text{Mg}$ (CH_4)
- Węgry $8 \text{ m}^3/\text{Mg}$ (CH_4)

Oprócz Australii, która stosuje w praktyce pomiar zawartości gazu jako podstawowy ruchowy wskaźnik zagrożenia wyrzutami gazów i skał, inne kraje stosują go jako podstawowy w sensie oceny wstępnej zagrożenia wyrzutowego.

W Australii w pokładach zagrożonych wyrzutami metanu i skał wartość krytyczna zawartości gazu wynosi 1,2-1,5 cm³/g zaś w pokładach nasyconych CO₂ wartość ta wynosi 1,2 cm³/g. Od paru lat stosuje się pomiar całkowitej zawartości gazu w węglu, stanowiący miarę gazu porowego (wolnego) oraz desorbowanego.

Wartość krytyczna różni się w poszczególnych kopalniach w zależności od składu gazów (stosunek CO₂/CH₄). Generalnie przyjmuje się, że dla CH₄ wynosi ona 9-9,5 m³/Mg (lub cm³/g) a dla CO₂ 5-6 m³/Mg (lub cm³/g). Zależność między 100% CH₄ i 100% CO₂ jest liniowa lub nieliniowa między tymi dwoma ekstremami.

W zależności od stosunku CH₄/CO₂ w polskich kopalniach stosuje się odpowiednie rygory prowadzenia wyrobiska (podając za Krzystolikiem [16]):

- poniżej 2 m³ CO₂/Mg (lub poniżej 2 cm³/g) przy 100% zawartości CO₂ i poniżej 6 m³ CH₄/Mg (poniżej 6 cm³/g) przy 100% zawartości CH₄ oraz poniżej linii pomiędzy punktami pośrednimi stosunku CH₄/CO₂ - pod warunkiem że nie występuje w przodku zaburzenie strukturalne, wyrobisko może być prowadzone bez żadnych rygorów,
- w przedziale od 2 do 4 m³ CO₂/Mg (2-4 cm³/g) przy zawartości 100% CO₂ oraz w przedziale od 6 do 12 m³ CO₂/Mg (6-12 cm³/g) przy 100% zawartości CH₄, stosuje się wszystkie wymagane przepisami procedury profilaktyki wyrzutowej,
- przy zawartości powyżej 4 m³ CO₂/Mg (powyżej 4 cm³/g) gdy stosunek CH₄/CO₂ wynosi 0/100 oraz przy zawartości powyżej 12 m³ CH₄/Mg (powyżej 12 cm³/g) gdy stosunek CH₄/CO₂ wynosi 100/0 należy stosować tylko zdalne sterowanie kombajnem z obserwacją przebiegu urabiania i z wykorzystaniem przemysłowej TV.

We Francji powszechnie stosowany jest wskaźnik V_w, o wartości kryterialnej:

- dla CH₄ (w Zagłębiu Cevennes) V_w ≥ 2 cm³/g (10g próbki),
- dla CO₂ V_w ≥ 0,6 cm³/g (z 3g próbki).

W kopalniach antracytu w Wielkiej Brytanii (Cynheidre, Zach. Walia) stosowanym wskaźnikiem zagrożenia wyrzutami gazów i skał jest zależność między średnią zawartością gazu (V_s/g) określoną laboratoryjnie w danym przodku, a zawartością gazu (V_w/g) wydzielonego ze zwiercin pobranych w otworze badawczym i zamkniętych w szczelnej komorze. Kryterialna wartość zależności to V_s/V_w ≥ 4 [9].

W Niemczech wskaźnikiem powszechnie stosowanym w ocenie wyrzutowości w pokładach węgla kamiennego (zwłaszcza w Obszarze Górniczym Ibbenburen) jest wskaźnik V którego wartość krytyczna wynosi 4 cm³/g dla CH₄ oraz wskaźnik V₃₀. Na podstawie obserwacji zmian wskaźnika V₃₀ [21] w warunkach kopalni „Preussag”, stwierdzono, że jeśli zawartość CH₄ w węglu przekracza 9 m³/Mg, a wartość wskaźnika V₃₀ wykaże wydzielanie powyżej 40% całkowitej zawartości tj. powyżej 3,6 m³CH₄/Mg, to występuje prawdopodobieństwo wyrzutu. Ponadto gdy po robotach strzałowych wydzieli się w ciągu 30s powyżej 60% globalnej zawartości metanu w węglu, tj. V₃₀ > 5,4 m³CH₄/Mg, to stwierdza się w przodku zagrożenie wyrzutem. Zawartość procentowa gazu w powietrzu wentylacyjnym i ilość powietrza przepływającego w miejscu zainstalowania kodera CH₄, pozwalają określić w oparciu o program komputerowy ilość gazu wydzielonego do powietrza wentylacyjnego w przodku, w ciągu 30s po odpaleniu MW w otworach strzałowych.

Parametrem bieżącej prognozy wyrzutowej w Zagłębiu Donieckim, jest początkowa szybkość wydzielania się gazu z otworu q [6]. Sposób oceny zagrożenia wyrzutowego opiera

się na wierceniu otworów w caliznie węglowej. Parametr ten mierzony jest po czasie 2 minut od chwili odwiercenia otworu długości 3,5 m i jego uszczelnienia. Określany przy tym wskaźnik zwięzłości węgla, dotyczy próbki pobranej w otworze długości 2 m. Graniczna wartość wskaźnika zwięzłości wynosi $f = 0,8$, przy zmianie tego parametru ponad 20%. Oprócz średnich wartości wskaźnika zwięzłości określa się średnią wartość miąższości pokładu oraz jej zmianę, przyjmując za wartość graniczną zmianę miąższości ponad 10%. Wartości krytyczne początkowej szybkości wydzielania gazu z otworu zależą od typu węgla, a tym samym od zawartości części lotnych w węglu i wynoszą:

- dla $v^{daf} < 15\%$ $q = 5,0 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- dla $v^{daf} = 15-20\%$ $q = 4,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- dla $v^{daf} = 20-30\%$ $q = 4,0 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- dla $v^{daf} > 30\%$ $q = 4,5 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Chodot [6] przy ocenie ośrodka węglowego określił ponadto m.in. parametry takie jak: spójność, kąt tarcia wewnętrznego, gazoprzepuszczalność oraz szybkość wydzielania gazu. Według niego zależą one przede wszystkim od zaburzeń tektonicznych pokładów węgla oraz od ich właściwości wytrzymałościowych.

W roku 2004 podano [20] krytyczną gazonośność węgla w kopalniach w Chinach, określając ją na większą niż $10 \text{ m}^3/\text{Mg}$. Na tej podstawie określono, że około 32% kopalń było gazowych, 31% - zagrożonych wyrzutem lub skłonnych do wyrzutu węgla i skał, pozostałe 42% kopalń to kopalnie nie zagrożone.

W Czechach stosuje się zespół wskaźników, tj.:

- ciśnienie gazu (P),
- wskaźnik desorpcji (V),
- wielkość wypływu gazu (G),
- wskaźnik początkowej prędkości desorpcji (ΔP_{0-60}),
- zmienność grubości pokładu (Mn),
- wskaźnik kruszalności.

W Bułgarii prognoza bieżąca jest oparta na pomiarze wskaźnika emisji (desorpcji metanu) z 10 g próbki węgla w desorbometrze izobarycznym. Wartość krytyczna wynosi gdy $V > 3,5 \text{ cm}^3/10\text{g}$. W przypadku gdy $V < 3,5 \text{ cm}^3/10\text{g}$ istnieją bezpieczne warunki prowadzenia robót górniczych.

Należy nadmienić, że na Węgrzech oprócz zawartości gazu w węglu jako wskaźnika prognozy lokalnej, w pomiarach prognozy bieżącej stosuje się dwa parametry - ciśnienie gazu p i wskaźnik wypływu gazu G w otworach badawczych. Krytyczne wartości to $p > 150 \text{ kPa}$ i $G > 25 \text{ l/min}$. Jeżeli jeden z tych wskaźników wykaże przekroczenie wartości krytycznej to uważa się, że występuje w danym wyrobisku zagrożenie wyrzutowe.

Reasumując, należy stwierdzić, że w krajach w których wystąpiły w kopalniach wyrzuty węgla, gazu lub skał, kryteriami oceny tego zagrożenia są zarówno określone parametry górnictwo-geologiczne (w tym grubość pokładu, własności wytrzymałościowe, spójność, kąt tarcia oraz wskaźnik zwięzłości i kruszalności) jak i wskaźniki pomiarów gazowych, tj.: gazoprzepuszczalności, zawartości i ciśnienia gazu, własności sorpcji gazu, wskaźnika początkowej prędkości desorpcji, intensywności wypływu gazu. Wśród najczęściej stosowanych kryteriów, wymienia się: metanonośność, intensywność desorpcji oraz ciśnienie gazu w analizowanym górotworze.

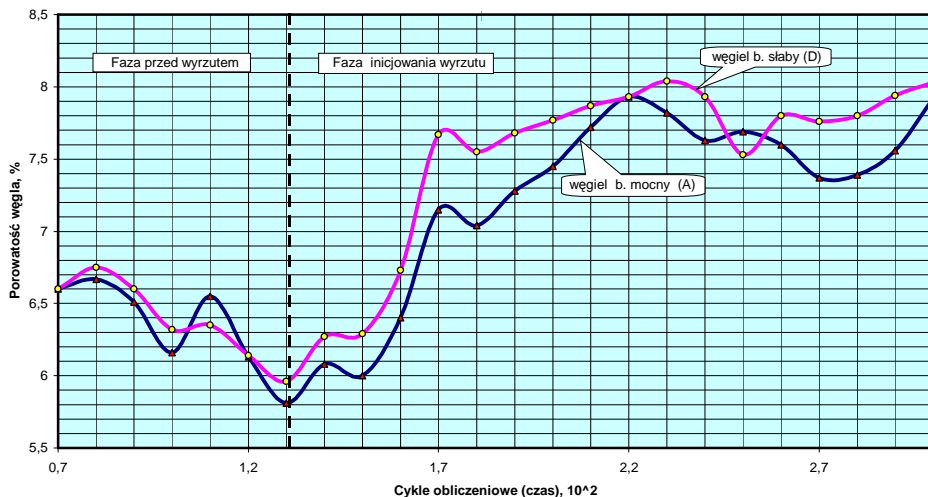
Analizy pod kątem zmian rozluźnienia struktury porowatej, mogą być traktowane jako kryterium inicjacji zjawiska wyrzutowego w pokładzie wyrzutowego górotworu, związane z

obecnością gazu w strukturze porowatego ośrodka. Ilość gazu jaka jest niezbędna do tego by wyrzut nastąpił, wynika właśnie z pojemności wewnętrznej porowatego ośrodka skalnego. Im większa porowatość i ilość gazu w stosunku do pojemności sorpcyjnej danego ośrodka skalnego, tym większy gradient ciśnienia gazu wewnątrz struktury ośrodka wyrzutowego. Nadmiar gazu w stosunku do pojemności sorpcyjnej porowatego ośrodka skalnego, powoduje rozluźnienie struktury porowatej lub nawet jej rozerwanie.

Paradoksalne wydać może się również stwierdzenie, że im większa różnica ciśnień gazu w porach pomiędzy płaszczyzną odsłonięcia, a głębiej zalegającą strukturą wyrzutową, tym większe zagrożenie wyrzutem w danym miejscu. Jest to paradoks pozorny. Rejestrowane zjawiska wyrzutowe występują najczęściej wtedy, gdy wyrobisko górnicze zbliży się na niebezpieczną odległość do miejsca występowania „ośrodka wyrzutowego” przed czołem przodku.

Badania modelowe wykazały [12], że w odległości od około 7 m od przodka wgląb calizny węglowej tworzy się przed wyrzutem rozległa strefa znacznego przyrostu gęstości węgla. Analizy [11] dowodzą także spadku porowatości przed czołem wyrobiska w pokładzie. Wykonany do badań model odpowiadał parametrom skał w rzeczywistych warunkach górniczo-geologicznych KWK „Zofiówka”, w rejonie zaistniałego wyrzutu w chodniku transportowym D-6 pokład 409/4 na poziomie 900 m w dniu 22.11.2005r. Jak widać z rys. 3.1. bezpośrednio przed wyrzutem stwierdzono niewielki (ok. $0,7 \div 0,8\%$) spadek porowatości węgla w przodku. Początek fazy inicjacji wyrzutu zaznaczył się 2% wzrostem porowatości węgla. Można dodać, że wpływ początkowej wytrzymałości węgla (A, D) na zmiany porowatości przed wyrzutem był znikomy, zaś w fazie inicjowania wyrzutu, węgiel bardzo mocny (A) wykazał nieco mniejszą średnią porowatość niż węgiel słaby.

Celem określenia wpływu właściwości fizycznych, w tym mechanicznych i technologicznych węgla GZW w aspekcie ich wyrzutowości, były również badania laboratoryjne węgla warstw libiąskich, łaziskich, orzeskich i rudzkich. Na podstawie wartości wytrzymałości na ścislenie i ich zwięzłości, zgodnie z dotychczasową wiedzą empiryczną o zjawiskach gazodynamicznych, węgle zostały podzielone na nieskłonne i skłonne do wyrzutów węgla i metanu. Analiza wartości parametrów fizycznych wykazała wyraźne zróżnicowanie kilku z nich. Uwzględniając fizykę zjawiska wyrzutu węgla i metanu, autorzy Bukowska i Gawryś [5] zaproponowali nowy kryterialny parametr wyrzutowości węgla, za jaki uznali współczynnik tarcia. Jego wartość kryterialna pomiędzy węglami skłonnymi do wyrzutów a nieskłonnymi została ustalona empirycznie wstępnie na poziomie 0,65. Ponadto wykazano że spójność węgla wyrzutowego, jest dużo mniejsza aniżeli spójność węgla nieskłonnego do wyrzutów.



Rys. 3.1. Porowatość węgla w czole przodka (0 – 1m) przed wyrzutem oraz w jego początkowej fazie
 Fig. 3.1. The porosity of coal in the heading (0-1m) before the outburst and in its initial phase

4. Podsumowanie

Obecnie wiemy, że w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym zagrożenie wyrzutami gazów i skał jest nierozdzielnie związane ze strefami wysokiej metanonośności złóż węgla kamiennego. Decydująca rola gazu w zjawisku jest niewątpliwa, jednak nie jest on jedynym i wystarczającym czynnikiem wystąpienia wyrzutu. Obok wysokiej zawartości metanu w węglu, w mechanizmie wyrzutu biorą udział zarówno czynniki strukturalne jak i wytrzymałościowe węgla i skał towarzyszących.

Najważniejsze wskaźniki zagrożenia wyrzutami metanu i skał to parametry gazowe, w tym: zawartość metanu w węglu, efektywny współczynnik dyfuzji metanu w węglu oraz własności sorpcyjne węgla. W ocenie zagrożenia wyrzutowego zaleca się jednak uwzględnić strukturę węgla w pokładzie lub w pokładzie i bezpośrednio w otaczających skałach w stropie oraz spągu. Istotne w ocenie tejże struktury są nie tylko wyniki badań w otworach geologicznych występujących zaburzeń tektonicznych, nasunięć, sfałdowań i antyklin, pomiary zawartości metanu pochodzenia naturalnego w węglu tuż po odsłonięciu calizny węglowej, ale także pomiary porowatości oraz właściwości fizyko-chemiczne węgla.

Stan wiedzy w zakresie oceny zagrożenia wyrzutowego pozwala na dość precyzyjne prognozowanie obszarów skłonnych do występowania lub zagrożonych wyrzutami gazów i skał w zależności od stopnia rozpoznania gazowego oraz górnictwo – geologicznego. W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym decydująca rola nasycenia pokładów metanem jest w zjawisku wyrzutu czynnikiem przyczyniającym się do wystąpienia wyrzutu. Jak już wspomniano, liczne badania wykazały, że zjawiska wyrzutowe występują w strefach skał i węgla zmylonityzowanych w procesie zmian tektonicznych w górotworze o małej zwięzłości i wytrzymałości oraz niskiej przepuszczalności dla gazu. Badania modelowe zobrazowały zróżnicowany rozkład porowatości w caliznie ścian.

Dowodzono, że w wyrzutach wewnątrz dawno powstałej struktury geologicznej (w wyniku przeobrażeń metamorficznych) prowadzenie robót górniczych powoduje jej zmiany, które przyczyniają się do uaktywnienia i wywołania ruchu kinetycznego mało związłego (rozluźnionego) ośrodka (masy gazowo-węglowej, gazowo-piaskowcowej lub gazowo-solnej).

Literatura

- [1] Bauer J., Gergowicz Z.: Mechanizm wyrzutu gazów i skał w reologicznym ujęciu zmodyfikowanego modelu Biota. XII Międzynarodowe Kolokwium nt.: Kierunki Zwalczania Zagrożenia Wyrzutami Gazów i Skał w Górnictwie Podziemnym, Nowa Ruda – Radków, 1988
- [2] Baum W.: Das niederschlesisch – bohmische Steinkohlenbecken. Niederschlesische Steinkohlen – Bergbauhilfskasse, Wałbrzych, 1942
- [3] Bubnoff S.: Geologische Verhältnisse der durch Kohlensauer – ausbrüche heimgesuchten Gruben. Zeitschrift für das Berg. Hutten und Salinenwesen, Berlin, 1927
- [4] Budryk W.: Sposoby zwalczania nagłych wyrzutów węgla i gazu. Materiały z prac Komisji. Zeszyty Geologiczne. Warszawa, 1965
- [5] Bukowska M., Gawryś J.: Właściwości fizyczne węgla GZW w aspekcie wyrzutów gazów i skał. Kwartalnik AGH Górnictwo i Geoinżynieria. Kraków, 2010
- [6] Chodot W. W.: Wniezapnyje wybrosy ugija i gaza. Moskwa Gosgortiechizdat, 1961
- [7] Cis J.: Wyrzuty gazów i skał w Dolnośląskim Zagłębiu Węgla kamiennego. Wyd. Śląsk, 1971
- [8] Cybulski Cz.: Nowsze poglądy na migrację bitumitów wraz z próbą prognozowania zagrożenia wyrzutowego poprzez określenie „aureoli kontaktowej” na przykładzie pola 4 Kopalni Soli „Kłodawa”. Mat. z prac Komisji do spraw Zagrożeń Wyrzutami gazów i skał w KWK. Zeszyt 7. Wałbrzych, 1983
- [9] Davies A.W., Jenkis C.B.: Precautions against outbursts. The Mining Engineer, 1978
- [10] Gatnar K.: Gospodarcze wykorzystanie metanu z pokładów na przykładzie rozwiązań JSW S.A. Sympozja i Konferencje nr 73. Mat. XXII Konferencji z cyklu Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej. Ustroń, 2008
- [11] Kidybiński A.: Zmiany energetyczne przodkowej strefy pokładu bezpośrednio przed oraz podczas wyrzutu węgla i metanu. Kwartalnik AGH Górnictwo i Geoinżynieria. Kraków, 2010
- [12] Kidybiński A.: Zmiany gęstości węgla przyprzodkowej strefy pokładu – przed oraz podczas wyrzutu gazu i skał, Kwartalnik GIG Górnictwo i Środowisko, nr 2. Katowice, 2009
- [13] Kidybiński A., Patyńska R.: Analiza zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach węgla kamiennego w Polsce i na świecie. Prace Naukowe GIG, Katowice, 2008
- [14] Kobiela Z i in.: Kompleksowe badania silnie metanonośnych pokładów w aspekcie możliwości wystąpienia wyrzutów gazów i skał w kopalniach ROW. II Symp. nt.: Kierunki zwalczania zagrożenia wyrzutami gazów i skał w kopalniach Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wałbrzych – Nowa Ruda, 1984
- [15] Krause E., Sebastian Z.: Raport roczny (1992-2008) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Praca pod kierunkiem prof. W. Konopko, GIG, Katowice, 20-32, 2006-2007
- [16] Krzystolik P i in.: Analiza i ocena stanu zagrożenia wyrzutami metanu i skał oraz stosowanych metod profilaktyki w kopalniach JSW. Praca GIG KD Barbara, luty 2003
- [17] Krzystolik P., Kobiela Z.: Nowe kierunki badań i rezultaty w tematyce metanowej kopalń węgla kamiennego. Konferencja naukowo-Techniczna nt.: Zagrożenie metanowe w górnictwie, Ustroń, 1994
- [18] Lama R.D., Bodziony J.: Outbursts of gas, coal and rock in underground coal mines. R.D. Lama & Associates, Wollongong NSW, Australia, 49-138, 1996
- [19] Majcherczyk T., Jakubów A.: Zagrożenia gazodynamiczne w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Wyd. Górnictwo i Geoinżynieria. Kwartalnik AGH, Kraków, Rok 31. Zeszyt 3/1, 2007
- [20] Methane Control Technology for Improved Gas Use in Coal Mines in China. Report No. COAL R257, DTI/Pub URN 04/1019, First Published, Wardell Armstrong 2004

- [21] Noack K., Koppe u., Kunz E.: Control of high gas emission in underground coal mines. Int. Symposium-Cum -Workshop on management & Control of High gas Emission & Outbursts, Wollongong, NSW, Australia, 1995
- [22] Patyńska R., Kidybiński A.: Modelowanie zjawisk gazogeodynamicznych w pokładach jednorodnych i z uskokiem. XXXI Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej i Geoinżynierii, 9-14 marca 2008, Wyd. Górnictwo i Geoinżynieria, Kwartalnik AGH, Kraków, Rok 32, Zeszyt 1, 2008,
- [23] Suchodolski Z.: Wpływ struktury i zwięzłości węgla oraz ciśnienia górotworu na zagrożenie wyrzutami CO₂ i skał w rejonie wałbrzyskim. Archiwum Górnictwa t. XII, Zeszyt 2, 1967
- [24] Szewczyk K., Kaczkowski J.: Występowanie i ewidencja wyrzutów gazów i skał oraz charakterystyka tego zagrożenia w Dolnośląskich kopalniach węgla. Zbiór referatów. Konferencja nt.: Kierunki zwalczania zagrożenia wyrzutami gazów i skał w kopalniach Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego, Wałbrzych – Sobótka, 1992
- [25] Williams, R.J., Weissmann, J.J.: Gas emission and outburst assessment in mixed CO and CH₄ environments. Proc. ACIRL Underground Mining Sem. Australian Coal Industry Res. Lab., North Ryde, 12, 1995
- [26] Yunxing Cao, Dingdong He, David C. Glick.: Coal and gas outbursts in footwalls of reverse faults, International Journal of Coal Geology, No 48, 2001

The criteria of initiation of the coal and gases outburst in global mining

Key words

coal and gases outbursts, initiation parameters of outburst, porosity

Abstract

The comprehensive analysis of outburst in Polish mines is recommended to consideration of influence of structure in the coal seam and in the rocks in the roof and in the bottom. Outburst of gases and rocks is a phenomena connected with appearance of gases in the structure of porous rocks. The amount of gases indispensable to the start of outburst is a defined as result of internal volume of porosity rocks. The results of modeling investigation of porosity of coal solid in longwall face shows that diversity of this parameter is connected with investigation spots.

Przekazano: 09 marca 2010 r.