

mgr inż. Katarzyna Kozieł

Streszczenie doktoratu

Problem wyrzutów skał i gazu jest zagadnieniem aktualnym w górnictwie od przeszło 150 lat i występuje wszędzie tam, gdzie skała graniczy ze swobodnym gazem. Wydobyciu węgla kamiennego towarzyszy wiele zagrożeń naturalnych, w tym zagrożenie metanowe oraz niebezpieczeństwo występowania wyrzutu węgla i metanu. Przyczyną zagrożeń metanowego oraz wyrzutem skał i gazów jest wzrost głębokości eksploatacji, a w konsekwencji wyższa metanowość pokładów węgla oraz obniżanie się przepuszczalności gazowej węgla. Wśród czynników sprzyjających wyrzutom skał i gazów są jeszcze odmienne właściwości strukturalne górotworu w ograniczonych jego rejonach, zmiany naprężeń spowodowane eksploatacją oraz zbliżanie się z wydobyciem do uskoków. Występowanie zjawiska wyrzutu i w konsekwencji występowanie zagrożenia dla życia pracowników, przyczyniło się do rozwoju nauki w tym obszarze. Niezależnie od tego, czy gaz w porach skały jest pożądanym surowcem energetycznym, czy źródłem zagrożenia podczas eksploatacji, jego obecność powinna być rozpoznana. Eksploatacja złóż na coraz niższych głębokościach przyczyniła się do pojawienia dotąd nieznanymi zagrożeń. Badania naukowe dają coraz większą wiedzę na ten temat. Wiedza dotycząca zjawiska wyrzutu jest dużą pomocą przy opracowywaniu przepisów i zasad poprawiających bezpieczeństwo. Niniejsza dysertacja jest próbą zgłębienia natury zjawisk gazogeodynamicznych w skałach miedzionośnych. Rozpoznanie mechanizmów zjawiska wyrzutu skał i gazów w kopalniach węglowych pozwoliło opracować sposoby profilaktyki wyrzutowej oraz metody oceny stanu zagrożenia. Zjawiska gazogeodynamiczne w kopalniach rud miedzi są stosunkowo nowym zagrożeniem i znacznie różniącym się od zjawisk w kopalniach węglowych. Pierwsze zdarzenie, które zostało zaklasyfikowane jako wyrzut skał i gazów miało miejsce w 2009 roku w jednej z kopalń KGHM w polskim Zagłębiu Miedziowym. Od tamtej pory aż do dnia dzisiejszego Zakłady Górnicze KGHM zmagają się z wieloma zdarzeniami mającymi charakter gazogeodynamiczny. Cztery spośród tych zjawisk zakwalifikowano jako wyrzut skał i gazów lub zjawisko związane z wyrzutem skał i gazów. Wzmózone występowanie gazu ma swoją etiologię, ponieważ obszar eksploatacji rud miedzi zbliża się do złóż gazu ziemnego. Celem pracy było zidentyfikowanie mierzalnych parametrów układu skała-gaz, które mają realny wpływ na występowanie zjawisk gazogeodynamicznych, a także wyznaczenie granicznych wartości tych parametrów na potrzeby oceny stanu zagrożenia wyrzutami skał i gazów.

W rozdziale pierwszym dokonano wprowadzenia do zagadnienia oraz opisano zdarzenia związane z wyrzutami skał i gazów w polskich i światowych kopalniach węglowych oraz przeanalizowano czynniki odpowiadające za wyrzut gazu w węglu. Ponadto nakreślono sytuację występowania zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach pozostałych surowców naturalnych.

Rozdział pierwszy prezentuje również rys historyczny zarejestrowanych zdarzeń gazogeodynamicznych, charakterystykę geologiczną Zagłębia Miedziowego oraz istniejące przepisy prawne, definiujące czym jest wyrzut skał i gazów, jakie istnieją metody oceny zagrożenia wyrzutowego, elementy profilaktyki oraz klasyfikację kategorii zagrożenia wyrzutem skał i gazów. W

tym też rozdziale dokonano wstępnej analizy czynników determinujących możliwość wystąpienia zjawisk gazogeodynamicznych.

Ponadto dokonano analizy historycznych danych sejsmoakustycznych z rejonu wyrobiska, gdzie miał miejsce wyrzut skał i gazów. Wystąpienie wstrząsu może skruszyć calizną skalną, jednak nie przetransportuje materiału skalnego wzdłuż wyrobiska. Ponadto dokonano statystycznej analizy parametrów rutynowo określanych przez służby kopalniane celem identyfikacji zagrożeń związanych z obecnością w skale gazu.

Następny, drugi rozdział pracy, dotyczy badań laboratoryjnych, realizowanych na rdzeniach skał pobranych z wyrobisk zaliczonych do jednej z dwóch kategorii zagrożeń wyrzutem skał i gazów. Rdzenie badane były pod kątem zawartości gazu w strukturze porowej, parametrów opisujących strukturę porową oraz parametrów wytrzymałościowych. Porowatość przebadanych próbek mieściła się w zakresie od 0,03% do 30%. Ciśnienie złożowe gazu w przeanalizowanych rdzeniach mieściło się w zakresie od 0,01 MPa do 1,5 MPa. Średnią wytrzymałość skał na ściskanie w teście jednoosiowym uzyskano na poziomie 184 MPa, a wytrzymałość na rozciąganie w teście brazylijskim 8,3 MPa. Z uwagi na to, że podczas wyrzutu węgla i skał, dużą rolę w zjawisku odgrywa gaz zasorbowany, wykonane zostały analizy pojemności sorpcyjnej dolomitu i zestawione z izotermą sorpcji dla węgla. Badania wykazały, że pojemność sorpcyjna dolomitu względem metanu w porównaniu do węgla jest znikoma. Potwierdza to, że mechanizm wyrzutu dolomitu i gazu jest odmienny, niż wyrzut węgla i gazu.

Celem rozpoznania procesów fizycznych zachodzących podczas zjawisk gazogeodynamicznych przeprowadzono szereg badań eksperymentalnych z zastosowaniem autorskiej aparatury, które zostały opisane w rozdziale trzecim. Jednym z najważniejszych zagadnień było określenie charakteru przemiany termodynamicznej zachodzącej podczas dekompresji gazu, a w konsekwencji oceny energii gazu zawartego w strukturze porowej skały. Na podstawie przeprowadzonych badań i symulacji komputerowych przyjęto, że łączne efekty dekompresji i wymiany ciepła można opisać wyidealizowanym modelem izotermicznym.

Z uwagi na fakt, że gaz wydobywający się ze skały rozrywa ją, kolejnym krokiem było eksperymentalnie wyznaczenie pracy rozdrabniania. W tym celu wykonano serię testów brazylijskich oraz skany laserowe powstałych nowych powierzchni zniszczonych próbek skał. Zaproponowano autorską metodykę oceny pracy rozdrabniania skały, w której brana pod uwagę jest praca konieczna do zniszczenia próbki, jej nowa powierzchnia oraz rozkład ziarnowy jaki chcemy otrzymać po rozdrobieniu. Badania wykazały, że do zniszczenia metra sześciennego skały do klas ziarnowych odpowiadających masom powyrzutowym konieczne jest niespełna 0,4 MJ energii.

Definicja wyrzutu skał i gazów obejmuje zarówno rozdrobnienie skały, jak i jej transport w głąb wyrobiska, dlatego kolejnym etapem była ocena energii potrzebnej do transportu mas powyrzutowych. W tym celu zbudowano tunel, w którym obserwowano ruch ziarn pod wpływem działania sił poruszającego się gazu. Dzięki przeprowadzonym w tunelu badaniom, oceniono między innymi współczynnik tarcia statycznego, współczynnik tarcia dynamicznego, czy prędkość z jaką

pojedyncze ziarno porusza się w strudze gazu. Na podstawie obserwacji jakościowych, zaproponowano model przebiegu transportu składający się z dwóch etapów. W pierwszym etapie materiał opada grawitacyjnie na spąg wyrobiska, tworząc pryzmę przysłaniającą jego przekrój. Zgodnie z równaniem ciągłości strugi gazu powoduje to wzrost prędkości nad pryzmą, gdyż maleje przekrój wyrobiska. W momencie, gdy prędkość gazu uzyskuje wartość pozwalającą na uniesienie ziarna, zewnętrzna część mas powyrzutowych zostaje przeniesiona. W efekcie przeprowadzonych eksperymentów uzyskano równomierne rozłożenie materiału skalnego na całej długości tunelu. Taki rozkład był zbliżony z rozkładem mas powyrzutowych w wyrobiskach. Porównano pracę transportu jaką wykonuje gaz poruszający się z określoną prędkością do pracy jaka została wykonana aby masy skalne przenieść na określoną odległość. Zestawione wyniki były zbliżone.

Rozdział czwarty prezentuje bilans energetyczny zjawiska oparty o przeprowadzone badania eksperymentalne. W rozdziale tym zestawiono energię zasilaającą wyrzut, na którą składa się energia sprężonego gazu zgromadzonego w strukturze porowej skały oraz energia potencjalna odkształcanego górotworu, z pracą potrzebną na rozdrobnienie skały oraz jej transport wzdłuż wyrobiska. Analiza teoretyczna wskazała, że energia gazu zgromadzonego w porach skały podczas wyrzutu, w O/ZG „Rudna” w 2009 roku jak i w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” w 2018 roku, była wystarczająco wysoka do rozdrobnienia skały i transportu pokruszonego materiału.

W rozdziale piątym, w oparciu o przeprowadzone analizy i badania parametrów układu skała-gaz, sporządzono koncepcję zasad oceny zagrożenia wyrzutami skał i gazów. Wyznaczono najistotniejsze parametry mające bezpośredni wpływ na wystąpienie zjawiska gazogeodynamicznego oraz dokonano klasyfikacji tych zjawisk.

Ostatnim etapem podsumowującym niniejszą dysertację było wykonanie oceny zagrożenia wyrzutowego. Ustalono warunki brzegowe parametrów dla bezpiecznej eksploatacji i wykonano ocenę zagrożenia: progową oraz ciągłą opartą o logikę rozmytą. Ocenom poddane zostały badane w pracy rdzenie skalne. Na podstawie wyników badań porowatości skał, ciśnienia złożowego oraz parametrów wytrzymałościowych, uznano, że miejsca, z których pochodziły próbki charakteryzowały się w większości niskim potencjałem zagrożenia. Opracowane metody oceny można wykorzystać do bieżącej profilaktyki i klasyfikacji zagrożeń gazogeodynamicznych.

Reasumując, na bazie kompleksowych i szerokich badań laboratoryjnych, eksperymentalnych a także modelowych, wspartych rozważaniami teoretycznymi potwierdzona została teza postawiona w pracy – *„Istnieje grupa parametrów opisujących układ skała-gaz, za pomocą których można określić możliwość występowania zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach rud miedzi LGOM”*. Parametrami tymi są ciśnienie gazu zawartego w strukturze porowej skał oraz porowatość skał.