

Wiesław Grzebyk, Lech Stolecki**

IDENTYFIKACJA PROCESÓW TERMODYNAMICZNYCH ZACHODZĄCYCH W GÓROTWORZE POD KĄTEM OCENY ZAGROŻENIA ZJAWISKAMI DYNAMICZNYMI

1. Wstęp

Aktualnie, praktyczna wiedza o sposobie deformacji górotworu i towarzyszących jej zagrożeniach w kopalniach rud miedzi LGOM oparta jest głównie na wynikach obserwacji i pomiarach dołowych. Pomimo, że wszystkie dotychczas stosowane metody w istotny sposób przyczyniły się do lepszego rozpoznania pracy górotworu poddanego eksploatacji, to w dalszym ciągu szereg zagadnień nie zostało w pełni rozpoznanych. W kolejności należy wymienić takie problemy, jak: identyfikację stanów przedkrytycznych górotworu, szczególnie przed wysokoenergetycznymi wstrząsami sejsmicznymi, ocenę stabilności stref uskokowych, sposób deformacji skał spągowych. Zdobyte doświadczenia w stosowaniu dotychczasowych metod wskazują, że rozwiązanie wymienionych zagadnień wymaga innego podejścia i innych narzędzi pomiarowych. W odróżnieniu od obecnie stosowanych metod mierniczych i geofizycznych do wnioskowania o stanie deformacji górotworu postanowiono wykorzystać procesy termodynamiczne zachodzące w masywie skalnym traktowanym jako układ trójfazowy [1]. W układzie takim, w wyniku prowadzonej eksploatacji, dochodzi między innymi do zmiany takich jego parametrów, jak: objętość, ciśnienie czy temperatura. Ze względu na realne możliwości prowadzenia obserwacji, jako szczególnie przydatne pod względem pomiarowym wydają się być rejestracje zmian ciśnienia, temperatury i wilgotności fazy płynnej układu.

W chwili obecnej, w KGHM CUPRUM przystąpiono do testowania założeń termodynamicznej metody oceny stanu górotworu w warunkach kopalnianych. W pierwszym rzędzie obserwacje zostały ukierunkowane na rozpoznanie deformacji warstw stropowych w aspekcie sygnalizacji potencjalnego zagrożenia wysokoenergetycznymi wstrząsami sejsmicznymi.

* KGHM CUPRUM sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław

Jako poligon doświadczalny wybrano pole G-3/4 kopalni Rudna, w którym zainstalowano stanowisko pomiarowe i dokonano kilkumiesięcznych rejestracji. Uzyskane dotychczas wyniki pomiarów zostały zaprezentowane w niniejszym referacie.

2. Fizyczne podstawy termodynamicznej metody oceny stanu górotworu

Punktem wyjścia dla opracowanej termodynamicznej metody kontroli deformacji masywu skalnego było przyjęcie następujących założeń:

- 1) blokowego modelu deformacji ośrodka skalnego [2],
- 2) traktowanie masywu skalnego jako układu trójfazowego składającego się z fazy stałej, ciekłej i gazowej.

Biorąc pod uwagę specyfikę wykształcenia złoża rud miedzi na Monoklinie Przesudeckiej (mocne skały węglanowo-anhydrytowe w stropie i podatne skały piaskowcowe w spągu), blokowa struktura masywu skalnego powstaje głównie w warstwach stropowych, które ulegają pęknięciom i przemieszczeniom o bardzo różnej amplitudzie. Proces ten przebiega w sposób dynamiczny i jest odwzorowany w postaci występującej aktywności sejsmicznej. Szczególnie niebezpieczna faza tego procesu związana jest z tworzeniem się dużych i/lub rozległych pustek w masywie skalnym, które sprzyjają nagłemu przemieszczeniu się dużych mas skalnych w kierunku wyrobiska. Sytuacje takie odpowiadają wysokoenergetycznym wstrząsom sejsmicznym, stwarzając potencjalne zagrożenie zjawiskami typu tąpnięcie lub odprężenie.

Powstawanie blokowej struktury masywu skalnego jest ściśle powiązane z powstawaniem większych lub mniejszych pęknięć i szczelin, w których dochodzi do przemieszczania się, będących w stanie wolnym, cieczy i gazów. Oprócz przepływów filtracyjnych płynów, szczególnie w skałach osadowych, zachodzą również zjawiska sorpcyjno-dyfuzyjne, które mogą wywołać np. pęcznienie lub kurczenie się skały. Zgodnie z założeniami prezentowanej metody, identyfikacja procesu powstawania szczelin, wzrostu ich wymiaru lub ich zaciskania może odbywać się poprzez rejestracje zmian takich wielkości fizycznych, jak: ciśnienie i temperatura, a także wilgotność medium gazowego wypełniającego szczeliny. Jednocześnie, poprzez pośredni pomiar deformacji ośrodka skalnego, podjęto próbę oceny ewentualnego wpływu zjawisk sorpcyjno-dyfuzyjnych na zachowanie (odkształcanie) się materiału skalnego.

3. Układ pomiarowy do rejestracji zmian ciśnienia

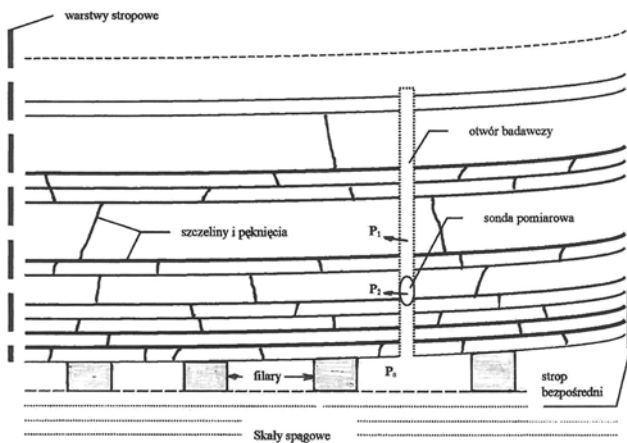
Prawidłowe rozpoznanie procesów termodynamicznych będących następstwem deformacji ośrodka skalnego wymagało zastosowania odpowiedniej metodyki pomiarowej oraz aparatury pomiarowo-rejestrującej. W warunkach dołowych zamierzony cel był możliwy do zrealizowania tylko poprzez pomiary otworowe, w izolacji od atmosfery występującej w wyrobiskach kopalniowych. Rozwiązaniem najbardziej skutecznym pod tym względem było wykonanie odpowiedniej sondy otworowej (rys. 1), która zapewnia bardzo dobre uszczelnienie otworu, umożliwia właściwy kontakt mierzonego medium z przetwornikami danych wielkości fizycznych oraz nieskomplikowany sposób transmisji danych do rejestratorów. Uszczelnienie otworu przedmiotową sondą

następowało w wyniku rozparcia elastycznego zbiornika będącego elementem sondy, poprzez wprowadzenie do niego oleju hydraulicznego pod odpowiednim ciśnieniem.



Rys. 1. Widok otworowej sondy pomiarowej

Wstępne pomiary obiektowe zostały przeprowadzone w polu G-3/4 kopalni Rudna. W tym celu, nieco na wyprzedzeniu zasadniczego frontu eksploatacyjnego, prostopadle do stropu nawiercono otwór wiertniczy o długości 51 m, w którym na wysokości 31 m umieszczono sondę pomiarową. Zakres prowadzonych obserwacji obejmował pomiar zmian ciśnienia medium gazowego w uszczelnionej części otworu (P_1) przetwornikiem ciśnienia bezwzględnego DMP331i — zakres 2 bary, pomiar zmian ciśnienia oleju w zbiorniku uszczelniającym sondy pomiarowej (P_2) przetwornikiem DMP331i — zakres 5 barów oraz pomiar zmian ciśnienia atmosferycznego w wyrobisku kopalnianym (P_a) przetwornikiem DMP331i — zakres 2 bary.



Rys. 2. Idea pomiaru zmian ciśnienia opracowaną metodą termodynamiczną

Schematycznie, ideę pomiaru ciśnień prezentuje rysunek 2. Dane pomiarowe były zapisywane na rejestratorach typu datalogger, początkowo z częstotliwością co 2 minuty, a w okresie późniejszym co 5 minut. System pomiarowy zasilany był z akumulatorów, natomiast zarejestrowane dane przepisywano okresowo na laptop celem dalszej ich analizy.

4. Wyniki obserwacji

Kilkumiesięczny okres obserwacji prowadzonych w warunkach kopalnianych pozwolił na zebranie doświadczeń odnośnie funkcjonowania samego układu pomiarowego oraz na wstępne rozpoznanie wielkości i zakresu mierzonych parametrów. Aktualnie, za przedwczesne należy uznać podejmowanie się prób interpretacji danych pomiarowych.

Uzyskany dotychczas materiał pomiarowy charakteryzuje się następującym zakresem zmian mierzonych ciśnień i rozdzielczością rejestracji zawiera tabela 1.

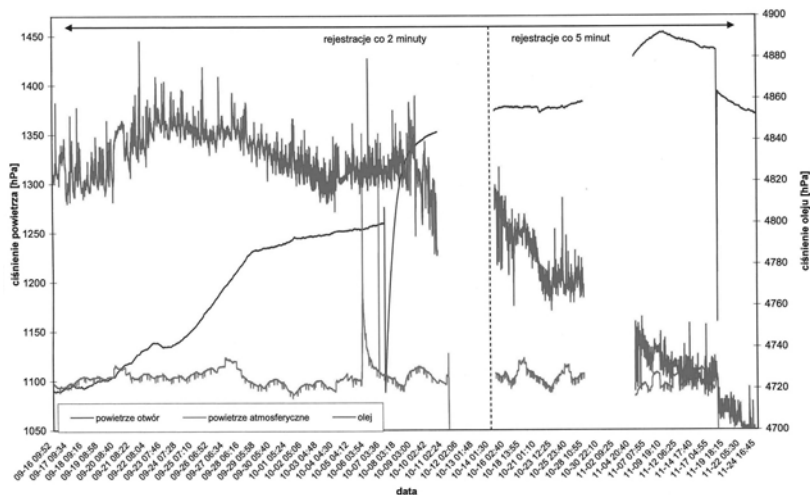
TABELA 1

Zakres zmian ciśnień i rozdzielczości zarejestrowanych podczas pomiaru

Medium	Zakres ciśnienia hPa (min—max)	Różnica ciśnienia hPa	Rozdzielczość pomiaru Pa
powietrze w wydzielonej części otworu, w przedziale od 31,5 do 51,5 metra (P_1)	1089 — 1453	364	30
olej w zbiorniku sondy pomiarowej (P_2)	4690 — 4850	160	80
powietrze atmosferyczne w wyrobisku kopalnianym (P_a)	1085 — 1124	39	30

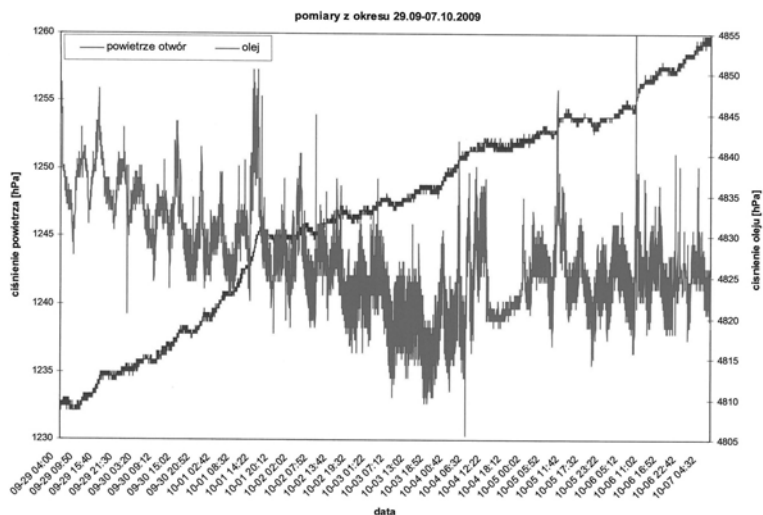
Odnosząc się do podanych w tabeli wielkości zmian mierzonego ciśnienia oraz biorąc pod uwagę rozdzielczość rejestracji, należy stwierdzić, że metoda pomiarowa charakteryzuje się dużą czułością. Powyższe świadczy też o trafnym doborze przetworników ciśnienia i ich zakresów pomiarowych.

Uzyskane wyniki pomiarów zmian ciśnienia medium gazowego w uszczelnionej części otworu, oleju w zbiorniku uszczelniającym sondy oraz atmosfery kopalnianej w wyrobisku, za cały okres prowadzenia obserwacji przedstawiono, w formie odpowiednich wykresów na rysunku 3. W przypadku ciśnienia powietrza w uszczelnionej części otworu (P_1), obserwuje się ogólny wzrost ciśnienia, przebiegający ze zmiennym wzrostem w kilkudniowych przedziałach czasowych. Występujący dwukrotnie gwałtowny spadek ciśnienia do poziomu ciśnienia atmosferycznego, związany był z rozszczelnieniem układu pomiarowego w następstwie wykonywanych prac technicznych na złączach przewodów procesowych. W przypadku oleju w zbiorniku sondy (P_2), zgodnie z oczekiwaniami, rozpiętość zmian ciśnienia występuje na o wiele niższym poziomie i posiada ogólnie tendencję spadkową.



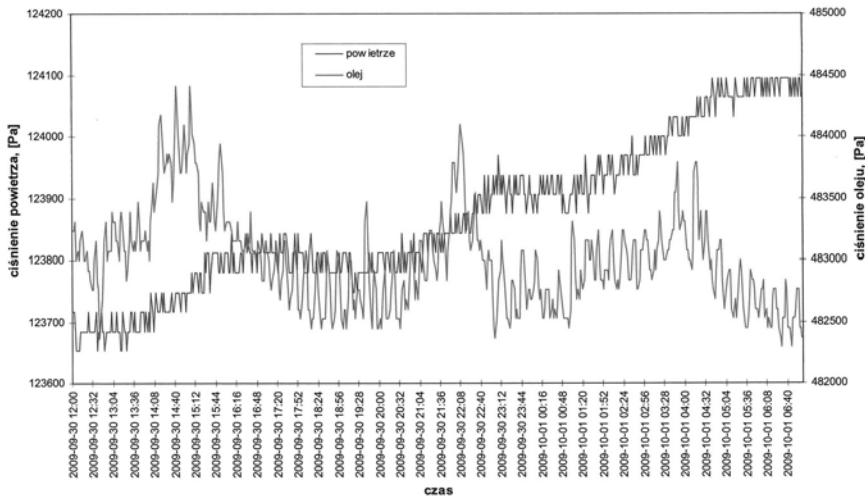
Rys. 3. Wykresy zmian ciśnienia powietrza w uszczelnionej części otworu, oleju w zbiorniku sondy oraz powietrza w wyrobisku kopalnianym

Tak więc, poza odwróceniem kierunku ogólnego trendu zmian ciśnienia powietrza (P_1) względem ciśnienia oleju (P_2), nie stwierdza się pomiędzy tymi parametrami jakiegś bliższej zależności. Zmiany ciśnienia atmosferycznego w wyrobisku kopalnianym oscylowały wokół wartości 1100 hPa, z wystąpieniem jednodniowego, bardzo dużego skoku ciśnienia. Pomiedzy zmianami ciśnienia w wyrobisku kopalnianym a ciśnieniem powietrza w otworze i oleju, w zbiorniku sondy, nie stwierdzono żadnej korelacji.



Rys. 4. Oscylacje zmian ciśnienia powietrza w uszczelnionej części otworu oraz oleju w zbiorniku sondy

W przebiegach krzywych zmienności mierzonego ciśnienia, oprócz trendu długookresowego, można wyróżnić również trend krótkookresowy. Bardziej szczegółowa analiza danych pomiarowych wykazuje, że zarówno w przypadku zmian ciśnienia powietrza w otworze (P_1), jak i oleju w zbiorniku sondy (P_2), widoczne są wyraźne, zmiennookresowe oscylacje jego wartości (rys. 4) zachodzące co kilka — kilkanaście godzin. W przypadku ciśnienia P_1 poziom amplitudy tych oscylacji wynosi najczęściej 100–200 Pa, natomiast oscylacje zmian ciśnienia oleju w zbiorniku sondy (P_2) są większe i zawierają się na ogół w przedziale od 1500 do 2000 Pa. Dla wykresu przebiegu ciśnienia oleju w zbiorniku sondy, charakterystycznym jest także występowanie krótkookresowych pulsacji (rys. 5), trwających kilkanaście minut i wynoszących kilkaset paskali.



Rys. 5. Krótkookresowe zmiany ciśnienia powietrza w uszczelnionej części otworu oraz oleju w zbiorniku sondy

5. Podsumowanie

Potrzeba opracowania nowej metody pomiarowej oceny stanu górotworu, ze szczególnym uwzględnieniem występującego w nim zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami, wynika z niedostatecznej informatywności i skuteczności aktualnie stosowanych metod oceny tego zagrożenia. Idea wykorzystania metody termodynamicznej w proponowanej wersji ma solidne uzasadnienie w zjawiskach fizycznych zachodzących w masywie skalnym. Zgodnie z przyjętymi założeniami, prawidłowa identyfikacja procesu tworzenia się przede wszystkim dużych i rozległych szczelin (pustek) w górotworze, które sprzyjają występowaniu wysokoenergetycznych wstrząsów sejsmicznych, może okazać się skuteczną drogą oceny zagrożenia zjawiskami dynamicznymi. Dla osiągnięcia postawionego celu został opracowany odpowiedni sposób pomiaru oraz wytworzona specjalna aparatura pomiarowo-rejestrująca.

Obecny etap badań miał na celu wstępne rozpoznanie skali i zakresu występujących w warunkach naturalnych, zmian ciśnienia powietrza w uszczelnionej części otworu i oleju w zbiorniku sondy. Uzyskane wyniki pomiarów zmian ciśnienia w uszczelnionej części otworu wynoszące ok. 36 000 Pa i zmian ciśnienia oleju w zbiorniku sondy na poziomie 16 000 Pa, przy rozdzielczości pomiarowej odpowiednio 30 i 80 Pa, należy uznać za korzystne w aspekcie czułości metody. Potwierdzeniem tego może być także rejestracja krótkookresowych zmian ciśnienia utrzymujących się na znacznie niższym poziomie, tzn. kilkuset czy kilku tysięcy paskali. Należy zatem stwierdzić, że przyjęte w założeniach parametry aparatury pomiarowo-rejestrującej są dobrze dopasowane do wielkości i zmienności mierzonych parametrów fizycznych.

Pomimo poczynionych w trakcie obserwacji pewnych korelacji z występującymi w tym czasie zjawiskami sejsmicznymi, aktualnie jest zbyt wcześnie na formułowanie wniosków w tym zakresie. Istotną informację i ewentualnie poprawkę w ocenie uzyskanych danych może wnieść planowany, równoległy do ciśnienia, pomiar temperatury.

LITERATURA

- [1] *Ryncarz T.*: Zarys Fizyki Górnotworu, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1993
- [2] *Butra J., Grzebyk W., Pytel W., Stolecki L.*: Fizyczne podstawy oraz techniczny sposób realizacji termodynamicznej metody oceny deformacji ośrodka skalnego, Rudy i Metale Nieżelazne, nr 7, 2009, s. 391–396
- [3] *Gawor M.*: Wyrzuty węgla i gazu w aspekcie badań eksperymentalnych zjawisk gazodynamicznych w brykietach węglowych nasyconych gazem, Prace IMG PAN, Rozprawy, Monografie, nr 7, Kraków 2004
- [4] *Topolnicki J., Wierzbicki M., Rzepa M.*: Rola filtracji gazu w zjawisku wyrzutu skalno-gazowego, Prace IMG PAN, tom 3, nr 3–4, 2001, s. 227–236
- [5] *Jakubów A., Topolnicki J., Wierzbicki M.*: Uwagi o mechanizmach prowadzących do inicjacji wyrzutu w kopalniach węgla kamiennego, Materiały XXVII ZSMG, Zakopane 2004, s. 661–669
- [6] *Majcherczyk T., Gembalczuk J.*: Parametry zagrożenia zjawiskami gazogeodynamicznymi a stan naprężeń wokół wyrobisk chodnikowych, Archiwum Górnictwa, vol. 44, 1999, s. 487–502
- [7] *Kidybiński A., Patyńska R.*: Analiza zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach węgla kamiennego w Polsce i na świecie, GIG, Katowice 2008
- [8] *Bobula E.*: Dyfuzyjny transport masy w górotworze a zagadnienie tąpnięcia, Materiały Konferencji N–T pt. „Geotechnika w górnictwie i budownictwie specjalnym”, Kraków 1999, s. 7–12
- [9] *Staniszewski B.*: Termodynamika, PWN, Warszawa 1978
- [10] *Milek M.*: Metrologia elektryczna wielkości nieelektrycznych, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2006
- [11] *Piotrowski J.*: Teoria Pomiarów, PWN, Warszawa 1986