

*Mirosław Wierzbicki**

CIŚNIENIE METANU PRZED CZOLEM WYROBISKA GÓRNICZEGO, NA PRZYKŁADZIE POMIARÓW WYKONYWANYCH W POKŁADZIE ZAGROŻONYM WYSTĘPOWANIEM WYRZUTÓW METANU I SKAŁ**

1. Wstęp

Pracy górniczej towarzyszą zagrożenia naturalne, wśród których jednymi z najważniejszych są zagrożenia związane z obecnością metanu w pokładach węgla kamiennego. Udokumentowane zasoby metanu w pokładach węgla występują w 49 złożach w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W polskim górnictwie węgla kamiennego wg informacji Wyższego Urzędu Górniczego z roku 2009 [13] na ogólną liczbę 31 czynnych kopalń węgla kamiennego w 30 kopalniach prowadzono roboty eksploatacyjne 120 ścianami, w tym 32 ściany prowadzono |w warunkach III i IV kategorii zagrożenia metanowego. Gaz obecny aktualnie w pokładach węgla kamiennego jest wynikiem procesu uwęglania substancji roślinnej. Ilość gazu powstałego w procesach diagenety i metamorfizmu generowanego została określone przez Kaisera i Levinea (1992) na około 147 do 183 cm³/g. Tak więc metan występujący aktualnie w pokładach węgla kamiennego jest niewielką częścią tego, jaki został wytworzony w procesie uwęglania. Scott (2002) podaje czynniki decydujące o zawartości metanu w pokładach. Są nimi m. in. stopień uwęglania, warunki hydrogeologiczne, zawartość popiołu, wilgocci, skład macerałowy, przepuszczalność i dyfuzyjność węgla, ciśnienie gazu, temperatura złożowa, geometria złoża i warunki hydrogeologiczne.

Z uwagi na bardzo dużą powierzchnię właściwą szacowaną przez Mahajana (1982) na 300 m²/g węgiel kamienny jest bardzo dobrym sorbentem dla gazów, w tym metanu. Według badań Grey'a (1987) gaz zasorbowany stanowi około 85 do 90% całości gazu zawartego

* Pracownia Mikromerytyki, Zakład Mechaniki Górotworu, Instytut Mechaniki Górotworu PAN, Kraków

** Praca została sfinansowana ze środków MNiSW, projekt rozwojowy numer NR09–0038–06

w węglu (1987). Pozostałą część gazu stanowi gaz niezwiązany z powierzchnią porową węgla — gaz wolny. Gaz ten znajduje się pod ciśnieniem wynikającym z równowagi termodynamicznej układu, wyznaczonej przez temperaturę i ciśnienie. Ciśnienie metanu przed czołem wyrobisk chodnikowych, zwane w pracy ciśnieniem porowym metanu jest przedmiotem zainteresowania poruszonym w niniejszej pracy. Parametr ten wydaje się być parametrem niezwykle istotnym dla oceny stanu zagrożenia wyrzutami metanu i skał oraz bilansu gazu w pokładach węgla kamiennego. Z powodu trudności technicznych pomiarów ciśnienia porowego dokonuje się dosyć rzadko. Częściej stosowane są metody pośrednie oceny ciśnienia złożowego metanu [1, 2, 9, 10].

2. Miejsce wykonania pomiarów

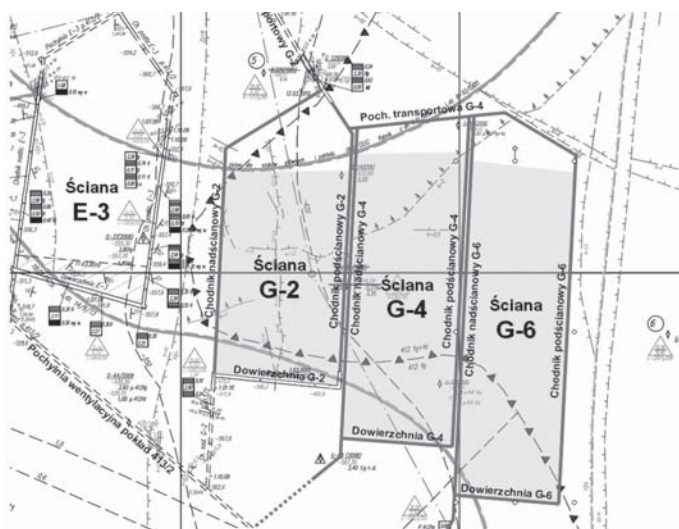
Pomiary ciśnienia gazu wykonano przed czołem drażonego chodnika nadścianowego G-4 w pokładzie 412 łg. Pokład ten, po nagłym wypływie metanu, jaki miał miejsce w chodniku transportowym G-2 dniu 12.03.2010 r. został zaliczony do pokładów zagrożonych wyrzutami metanu i skał.

Partia G zlokalizowana jest w centralnej części obszaru górniczego kopalni „Zofiówka”.

Granice partii G stanowią:

- od północy filar ochronny dla szybów głównych i zakładu,
- od południa filar ochronny dla miasta Jastrzębie Zdrój,
- od wschodu uskok „Jastrzębski”,
- od zachodu uskok „Zachodni”.

Pokład 412 łg + 1d i 412 łg posiada grubość od 3,4÷5,82 m. Schemat projektowanej rozcinki pokładu w partii G pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat projektowanej rozcinki pokładu 412 łg + 1d i 412 łg

Chodnik nadścianowy G-4 drażony był z pochylni wentylacyjnej pokł. 413/2 w rozpoznanej partii złoża. Na długości do 150 m (licząc od pochylni wentylacyjnej) prowadzony był przekopowo wg zadanej niwelacji (+10°) do udostępnienia pokładów 412 łd i 412 łg, przedzielonych przerostem łupków ilastych zapiaszczonych i łupków ilastych z laminami węgla. Dalsze drażenie prowadzone było w pokładzie 412 łg. W tej części wyrobiska przeprowadzono pomiary ciśnienia porowego metanu, przedstawione w niniejszej pracy. Głębokość zalegania wyrobiska wynosi od 855 do 884 m w pokładzie 413/2, od 884 do 875 m przekopowo, oraz od 875 do 917 m w pokładzie 412 łg (do zbiecia z chodnikiem transportowym G-2 w pokładzie 412 łg + łd i 412 łg).

Warstwy rozdzielające pokłady 413/2 i 412 łd tworzą: łupek ilasty z laminami węgla (0,30 m), łupek ilasty zwięzły, laminowany łupkiem piaszczystym (~2m), oraz łupek piaszczysty, laminowany piaskowcem drobnoziarnistym, zwięzły (~4 m). Na KM ~430 przerost (łupek ilasty, zapiaszczony z laminami węgla) między pokładem 413/2 i 412 łd maleje do około 0,8–0,6 m.

Zagrożenia naturalne:

- I stopień zagrożenia wodnego,
- B klasa zagrożenia wybuchem pyłu węglowego,
- IV kategoria zagrożenia metanowego,
- Partia pokładów 413/2, 412 łg + łd i 412 łg zagrożona wyrzutem metanu i skał,
- Partia pokładów 413/2 i 412 łg + łd i 412 łg zaliczona do I stopnia zagrożenia tapaniami,
- Pokład 412 łd nieskłonny i niezagrożony wyrzutem metanu i skał,
- Pokład 412 łd niezagrożony tapaniami,
- Temperatura pierwotna skał: $t = 37\text{--}39^{\circ}\text{C}$.

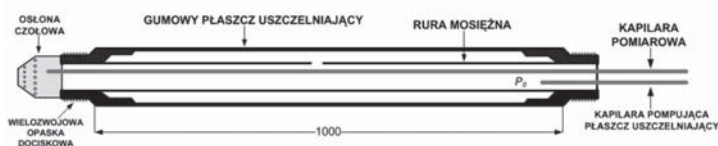
3. Pomiary ciśnienia porowego metanu przed czołem wyrobiska

Wraz z postępem chodnika nadścianowego G-4 wykonano serię pomiarów ciśnienia metanu na odcinku od 179 m licząc od pocylni wentylacyjnej do końca jego drażenia (239 m).

Do pomiarów ciśnienia metanu w otoczeniu wyrobisk górniczych wykorzystano sondę pomiarową IMG-CZ, zaprojektowaną i wykonaną w Instytucie Mechaniki Górnotworu PAN.

Schemat sondy pokazano na rysunku 2. Składa się ona z następujących elementów:

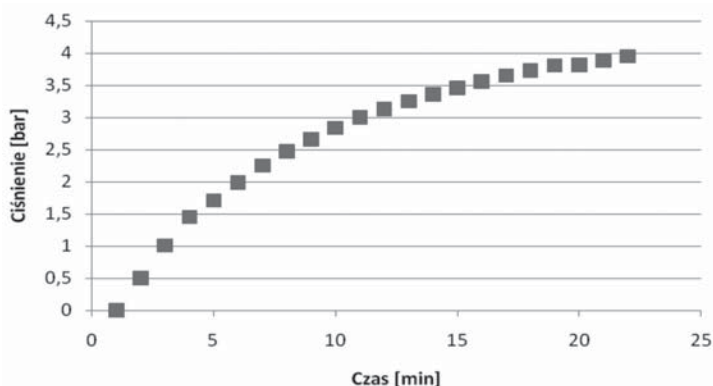
- mosiężna rura $\phi 16 \times 2$ o długości 1100 mm pełniąca rolę korpusu sondy,
- gumowy płaszcz uszczelniający sondę względem otworu,
- dwie miedziane kapilary $\phi 4 \times 1$: kapilara pomiarowa oraz kapilara pompująca płaszcz uszczelniający,
- zestaw zaworów, węży i manometrów do pompowania sondy i pomiaru ciśnienia.



Rys. 2. Schemat budowy sondy IMG-CZ

Sonda, po umieszczeniu jej w otworze małośrednicowym zostaje rozparta na pobocznicę za pomocą gumowej płaszczki uszczelniającego wypełnionego sprężonym powietrzem, doprowadzonym kapilarą pompującą płaszcz. Długość płaszczki uszczelniającego wynosi ok. 1 m, co zapewnia dobre uszczelnienie sondy względem gorotworu. Ciśnienie metanu mierzone jest za pomocą przetwornika ciśnienia umieszczonego na końcu kapilary pomiarowej, wyprowadzonej do wyrobiska. Zakres pomiarowy umożliwia pomiar ciśnienia gazu do 20 bar. Wartości zmierzonego ciśnienia są rejestrowane w funkcji czasu, przy czym czas rejestracji ograniczony jest pojemnością pamięci użytego rejestratora. Szczegóły dotyczące konstrukcji sondy pomiarowej IMG-CZ przedstawiono w pracy [4].

Wszystkie pomiary prowadzono na trzech metrach otworów wykonywanych w czole chodnika. Przykładowy przebieg zmian ciśnienia w otworze wykonanym na 179 m chodnika pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Przykładowy wykres pokazujący zmiany ciśnienia w otworze badawczym

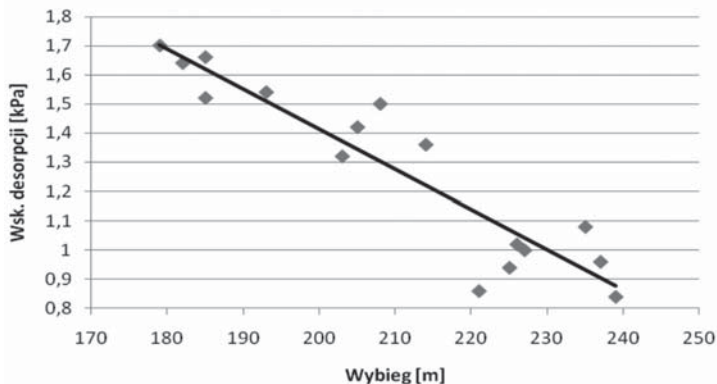
4. Uzyskane wyniki i ich analiza

Podczas drażenia chodnika nadścianowego G-4 wykonano łącznie 14 pomiarów ciśnienia metanu przed czołem chodnika. Pomiary wykonywane były raz na dobę, w dniach których następował postęp przodku. Podczas każdego z pomiarów mierzono również wartości wskaźnika intensywności desorpcji 2 minutowej oraz określano wartość zwięzłości węgla.

Wartości wskaźnika desorpcji dp w rejonie badań kształtowały się na dosyć wysokim poziomie, wynoszącym średnio 0,98 kPa. Do 214 m drażenia chodnika miały miejsce przekroczenia granicznej wartości wskaźnika desorpcji, wynoszącej 1,2 kPa. Wraz z postępem wyrobiska utrzymywała się wyraźna tendencja spadkowa wartości tego parametru wynosząca 0,14 kPa/m, co zostało zaznaczone linią prostą na wykresie przedstawionym na rysunku 4.

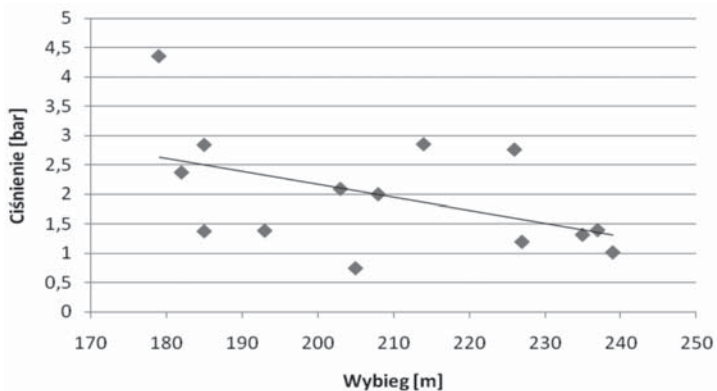
Spadki wartości wskaźnika dp wiązać można z wejściem chodnikiem pod zrobę wybranego wcześniej pokładu 410, zalegającego około 40 m nad pokładem 412, co spowodowało

wało częściowe odgazowanie pokładu w rejonie badań. Krawędź eksploatacyjna znajdowała się na 179 m wybiegu chodnika.



Rys. 4. Zmienność wskaźnika desorpcji na wybiegu chodnika nadścianowego G-4

Na wykresie przedstawionym na rysunku 5 pokazano zmienność ciśnienia zmierzonego na 3 m przed czołem przodku podczas kolejnych pomiarów wykonywanych wraz z postępowaniem wyrobiska. Przedstawione wartości są ciśnieniami bezwzględnymi. Ciśnienie średnie wynosiło 1,72 bar a zmiany ciśnienia zawierały się w przedziale od 0,66 do 4,3 bar. Największą wartość ciśnienia porowego metanu zmierzono bezpośrednio pod krawędzią eksploatacji pokładu. Ciśnienie to wynosiło 4,10–4,30 bar. W pozostałych pomiarach (z wyjątkiem jednego) wartości ciśnień mieszczą się w przedziale od 1 do 3 bar. Na wykresie widoczna jest również tendencja spadkowa wartości ciśnienia z postępowaniem chodnika. Jest ona mniej widoczna niż w przypadku zmian wskaźnika intensywności desorpcji.

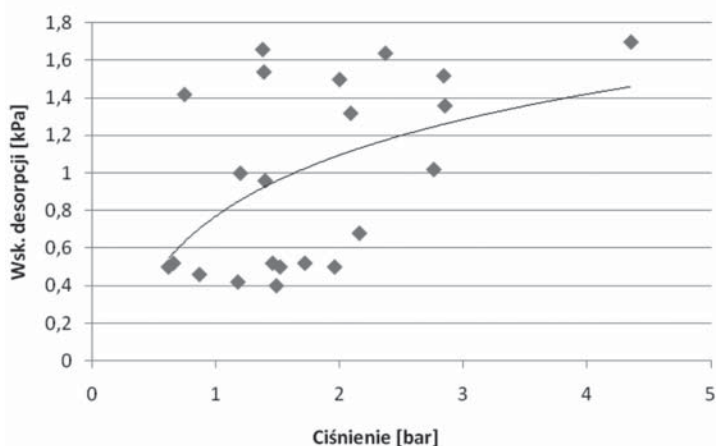


Rys. 5. Zmienność ciśnienia porowego metanu na wybiegu chodnika nadścianowego G-4

Najmniejsze zmiany wartości wykazuje wskaźnik zwięzłości wg Protodiakonowa. Zmienia się on w zakresie od 0,34 do 0,36. Węgiel pokładu 412 łg na wybiegu chodnika

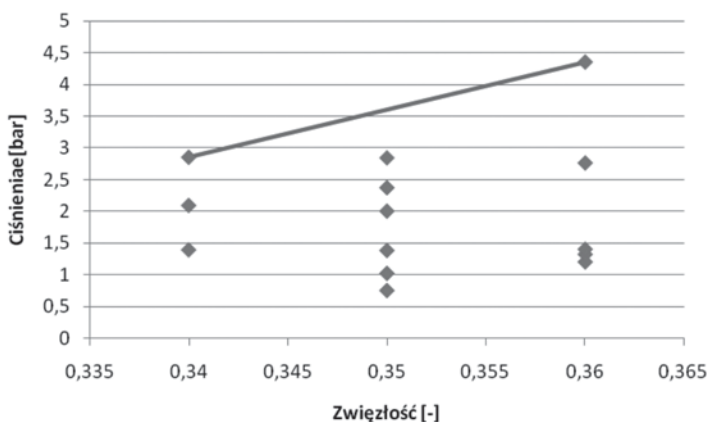
nadścianowego G4 jest węglem charakteryzującym się słabymi właściwościami mechanicznymi.

Na kolejnym wykresie, przedstawionym na rysunku 6, pokazano zależność pomiędzy dwoma parametrami gazowymi wpływającymi na stan zagrożenia wyrzutami metanu i skał jakimi są: ciśnienie metanu przed czołem przodku oraz wskaźnik intensywności desorpcji dwuminutowej. Wzrostowi wskaźnika dp towarzyszy wzrost zmierzonej wartości ciśnienia porowego metanu. Wyniki badań laboratoryjnych [7] pokazują, że przebieg zależności $dp = (P)$ ma charakter zbliżony do izotermy sorpcji co wydaje się zrozumiałe intuicyjnie. Objętość gazu uwolnionego w czasie pierwszych minut desorpcji jest bowiem proporcjonalna do początkowej zawartości metanu w próbce, a ilość ta jest związana z ciśnieniem przez izotermę sorpcji. Na wykresie przedstawionym na rysunku 6 zależność taka nie została uchwycona. Przyczyną takiego stanu są prawdopodobnie niepewności pomiarowe popełniane podczas pomiarów dołowych wskaźnika dp [12] jak i ciśnienia metanu.



Rys. 6. Zależność pomiędzy wartością wskaźnika desorpcji oraz ciśnieniem porowym metanu w pokładzie

Na kolejnym wykresie, przedstawionym na rysunku 7, pokazano zależność pomiędzy zwięzłością węgla a ciśnieniem porowym metanu. Na potrzeby niniejszej pracy pomijamy inne czynniki wpływające na możliwość zaistnienia wyrzutu takie jak zmiany strukturalne węgla, nachylenie wyrobiska, głębokość zalegania pokładu i inne, wymienione m. in. w pracach [8, 11]. W tej sytuacji możemy przyjąć, że, zagrożenie wyrzutem metanu i skał wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia porowego metanu oraz ze spadkiem wytrzymałości mechanicznej węgla. Nabyte doświadczenia w bezpiecznym prowadzeniu robót w rejonie prowadzenia badań pozwalają na stwierdzenie, że z punktu widzenia zagrożenia wyrzutami metanu i skał drażnienie może się odbywać przy wartościach parametrów f i p zawartych poniżej linii zaznaczonej na wykresie (rys. 7). Przy zwięzłości węgla wynoszącej 0,36, ciśnienie metanu na poziomie 4,3 bar nie stworzyło zagrożenia wyrzutowego w chodniku. Podobnie było w sytuacji, gdy wartość zmierzonego ciśnienia wynosiła 2,85 bar przy zwięzłości 0,34.



Rys. 7. Zależność pomiędzy zwięzłością oraz ciśnieniem porowym metanu w pokładzie

5. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzono serię pomiarów ciśnienia metanu przed czołem drażonego chodnika nadścianowego G-4 w pokładzie zaliczonym do zagrożonych wyrzutami metanu i skał. Maksymalne wartości ciśnienia przed czołem chodnika osiągają około 4 bar. Ciśnienie takie wydaje się być ciśnieniem bezpiecznym z punktu widzenia robót górniczych, przy drażeniu chodnika metodami strzałowymi. Wyniki pokazują, że w przypadku prowadzenia robót metodami strzałowymi, ciśnienie metanu może być parametrem bardziej zmiennym niż wskaźnik intensywności desorpcji. Dwa wcześniej wymienione parametry gazowe pokładu w otoczeniu czoła chodnika nie wykazały wzajemnej korelacji. Uzyskane wyniki pokazały, że pomiary ciśnienia metanu w warunkach *in situ* mogą być one uzupełnieniem metod prognozowania i oceny stanu zagrożenia wyrzutowego w kopalniach węgla kamiennego. Kontynuacja pomiarów ciśnienia porowego metanu w kopalniach wydaje się być celowa.

LITERATURA

- [1] *Borowski J.*: Określenie ciśnienia gazu w pokładach węgla. *Przegląd Górniczy*, 9, 1976
- [2] *Dutka B., Walaszczyk J., Wierzbicki M.*: Określenie ciśnienia złożowego metanu na podstawie pomiarów metanonośności oraz badań sorpcyjnych węgla na przykładzie KWK „Krupiński”. *Górnictwo i Geoinżynieria*; ISSN 1732–6702; R. 33, z. 1, 2009, s. 145–152
- [3] *Kaiser W.R., Levine J.R.*: Coalbed Methane: Depositional, Hydrologic and Petrologic Controls on Reservoir characteristics of Coal Beds. *Am. Assoc. Pet. Geol. Annual Convention, Short Course*, vol. 13, 1992, pp. 58–160
- [4] *Kudasik M., Skoczylas N., Topolnicki J., Wierzbicki M.*: Sonda IMG–CZ do pomiaru ciśnienia złożowego gazu w górotworze. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko*; Nr 4/3, 2010, s. 234–240
- [5] *Mahajan O.P.*: *Coal Structure*. Academic Press, New York, 1982, pp. 51–86
- [6] *Scott A.R.*: *Hydrogeologic Factors Affecting Gas Content Distribution in Coal Beds*. Interna-

- tional Journal of Coal Geology 50, 2002, pp. 363–387
- [7] *Skoczylas N.*: Wybrane właściwości mechaniczne i gazowe brykietów węglowych. Przegląd Górniczy 7–8/2009, s. 91–95
 - [8] *Skoczylas N., Topolnicki J., Wierzbicki M.*: Istotność wybranych parametrów górniczych w ocenie zagrożenia wyrzutowego na podstawie badań statystycznych. Przegląd Górniczy 6/2010, s. 10–16
 - [9] *Sporysz G.*: Ocena stanu zagrożenia metanowego w połudnowo–wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Rozprawa Doktorska, AGH, Kraków, 2009
 - [10] *Tarnowski J.*: Desorbometryczna metoda pomiaru ciśnień gazu w pokładzie węgla. Zeszyty Problemowe Górnictwa, Tom 4, Zeszyt 2, 1966
 - [11] *Wierzbicki M.*: Zmiany stanu naprężenia i wyężenia materiału w trakcie prowokowania i inicjacji laboratoryjnego wyrzutu skalno–gazowego. IMG PAN, Rozprawy, monografie, Nr. 4, 2003, s. 134
 - [12] *Wierzbicki M.*: Analiza zmienności wskaźnika desorpcji z zastosowaniem metody średnich ruchomych. WUG, Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie, Nr 3 (139), 2006, s. 22–27
 - [13] WUG, 2009: <http://www.wug.gov.pl/index.php?bhp>