

## BADANIA EMISJI METANU ZE ZLIKWIDOWANYCH ZATOPIONYCH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

Eugeniusz Krause<sup>1</sup>, Zbigniew Pokryszka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Główny Instytut Górnictwa – Kopalnia Doświadczalna „Barbara”, e-mail: ekrause@gig.eu

<sup>2</sup> National Institute for the Environment and Industrial Hazards (INERIS), France, e-mail: zbigniew.pokryszka@ineris.fr

### Streszczenie

Migracja metanu w kierunku powierzchni, w granicach obszarów górniczych zlikwidowanych kopalń, może stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa publicznego przez wiele lat od czasu zakończenia likwidacji.

Wydzielanie się metanu z nienaruszonych pokładów węgla i pokładów odprężonych prowadzoną wcześniej eksploatacją, nie jest dotychczas w pełni rozpoznane. Znajomość wpływu obecności wody oraz związanego z nią ciśnienia hydrostatycznego na intensywność desorpcji metanu z pokładów odprężonych, jest niezbędna do określenia szacunkowej ilości metanu dopływającego w przedziale czasu do zlikwidowanej kopalni. Badania laboratoryjne tych zależności przeprowadzone zostały w oparciu o metodykę badawczą opracowaną przez Państwowy Instytut Środowiska i Zagrożeń Przemysłowych (INERIS) we Francji, wspólnie z Głównym Instytutem Górnictwa w Katowicach. Wyniki badań pozwoliły na określenie wpływu zmian ciśnienia hydrostatycznego słupa wody na intensywność desorpcji metanu z węgla, co znalazło praktyczne zastosowanie w prognozowaniu wydzielania się metanu do zlikwidowanych kopalń i pozwoliło na odpowiednie ukierunkowanie profilaktyki zagrożenia metanowego podczas likwidacji kopalni oraz na powierzchni terenów pogórnich.

### Słowa kluczowe

desorpcja metanu, zatapianie kopalń, likwidacja kopalń

### 1. WPROWADZENIE

Migracja metanu w kierunku powierzchni terenów pogórnich trwa przez wiele lat od zakończenia likwidacji kopalni. Wydzielanie się metanu towarzyszy prowadzeniu likwidacji struktury dołowej (rejonów, poziomów oraz szybów), aż do wystąpienia zagrożenia na powierzchni kopalni zlikwidowanej.

Po zakończeniu likwidacji kopalni wydzielanie się metanu z niewybranych pokładów metanowych, odprężonych w wyniku prowadzonej wcześniej eksploatacji, występuje nadal, zazwyczaj przez około 15 lat.

W wyniku podnoszenia się poziomu wody na skutek zatapiania kopalni zachodzą następujące zjawiska:

- obniżenie się intensywności desorpcji metanu w wyniku oddziaływania ciśnienia hydrostatycznego i wypełnienia wodą dróg migracji gazu (pustki rezydualne, pory, szczeliny),
- wzrost ciśnienia gazu wolnego w wyrobiskach nad poziomem wody, tzw. efekt tłoka.

Wzrost ciśnienia gazów kopalnianych stwarza warunki do migracji metanu szczelinami w kierunku powierzchni obszarów pogórnich.

Wydzielanie się metanu na powierzchnię jest zjawiskiem bardzo złożonym i zależy od wielu czynników związanych między innymi ze strukturą i przepuszczalnością nadkładu karbonu, działaniem mechanizmów inicjujących migrację gazów, dopływem metanu desorbującego z odprężonych wcześniejszą eksploatacją pokładów oraz ich przestrzennego

usytuowania względem poziomu wody w zatapianej kopalni (Krause, Skiba 2010).

Oszacowanie ilości metanu wydzielającego się w warunkach zatapiania kopalni ma znaczenie przy prowadzeniu oceny zagrożenia metanowego na terenach pogórnich. W niektórych krajach jest ono przewidziane w obowiązujących przepisach i stanowi integralną część metodyki pozwalającej na ocenę zagrożeń gazowych na terenach pogórnich (Tauziede, Pokryszka, Barriere 2002; Pokryszka i in. 2005).

Należy jednocześnie stwierdzić, że mimo przeprowadzenia w ciągu ostatnich kilkunastu lat badań i monitoringu emisji gazu *in situ*, po zamknięciu kopalń węgla w Europie (Burrell, Friel 1996; Kral, Platenik, Novotny 1998; Pokryszka, Tauziede 2000; Robinson 2000; Novotny i in. 2001; Prokop 2001; Besnard, Pokryszka 2005; Krzystolik i in. 2002), zagadnienie wydzielania się i migracji metanu z pozostawionych niewyekspluowanych części złoża oraz pokładów węgla odprężonych prowadzoną wcześniej eksploatacją, wciąż jest słabo rozpoznane. Badania dołowe wydzielania się metanu do zrobów poeksploatacyjnych przeprowadzone w polskich kopalniach i wyniki badań laboratoryjnych pozwoliły na wypracowanie wspólnego stanowiska z INERIS.

### 2. WYDZIELANIE SIĘ METANU DO NIEZATOPIONYCH ZROBÓW POEKSPLOATACYJNYCH

Badania wydzielania się metanu z odprężonego złoża do zrobów poeksploatacyjnych czynnych oraz zlikwidowanych ścian, przeprowadzone przez Główny Instytut Górnictwa,

pozwołyły na opracowanie zależności pozwalającej na prognostyczne określenie ilości metanu wydzielającego się do zrobów.

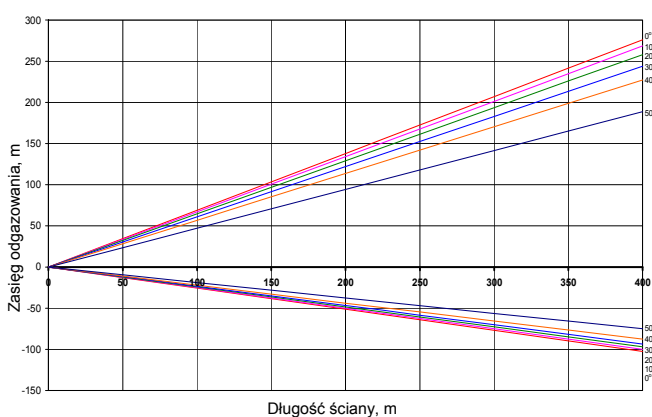
Opracowanie modelu wydzielania się metanu zostało oparte na wynikach badań wydzielania się metanu do otamowanych zrobów, prowadzonych w latach 1994–2000 oraz wynikach obliczeń wydzielania się metanu do wyrobisk, których podstawą były wydatki powietrza płynącego wyrobiskami w sąsiedztwie tam izolujących zroby oraz przyrosty zawartości metanu w powietrzu w tych wyrobiskach. W czasie eksploatacji ściany oraz po jej zakończeniu występują trzy okresy charakteryzujące się różnym przebiegiem wydzielania się metanu:

- okres eksploatacji – w którym po rozpoczęciu biegu ściany metanowość bezwzględna wzrasta do wartości odpowiadającej warunkom gazowym pokładu eksploatowanego oraz jego otoczenia,
- okres likwidacji ściany – wynosi 1–3 miesięcy, a metanowość bezwzględna maleje do wartości z przedziału 40–20% w stosunku do średniej metanowości bezwzględnej ściany z okresu eksploatacji,
- okres po zlikwidowaniu ściany – trwający około 15 lat, w którym sukcesywnie zanika wydzielanie się metanu do zrobów poeksploatacyjnych.

W okresie eksploatacji wydzielanie się metanu do środowiska ściany zależy od:

- długości oraz nachylenia ściany wpływających na zasięg strefy odprężenia eksploatacyjnego, w której następuje odgazowywanie pokładów,
- stopnia odgazowania pokładów podebranych i nadebranych, który zależy od wysokości eksploatowanej ściany, odległości tych pokładów od pokładu eksploatowanego oraz sposobu eksploatacji (zawał, podsadzka).

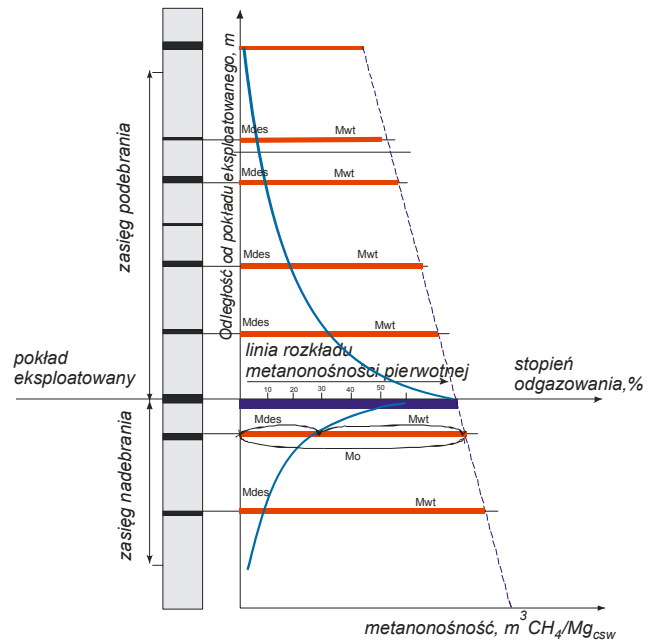
Zasięg strefy desorpcji dla ścian o zróżnicowanej długości określają zależności matematyczne (Krause, Łukowicz 2002; Krause 2008), które pozwoliły na zbudowanie nomogramów przedstawionych na rysunku 1.



Rys. 1. Zależność zasięgu odgazowania pokładów podebranych i nadebranych od długości i nachylenia ściany

Prognozując wydzielanie się metanu do projektowanej ściany, a następnie poeksploatacyjne po zakończeniu eksploatacji, należy wziąć pod uwagę zasięg odprężenia, który w zasadniczym stopniu wpływa na wielkość wydzielania się metanu do zrobów z odgazowywania pokładów podebranych i nadebranych.

Na rysunku 2 przedstawiono szacunkowe wartości stopnia odgazowania pokładów podebranych i nadebranych w zależności od ich odległości od pokładu eksploatowanego. Krzywe stopnia odgazowania dla pokładów podebranych i nadebranych (kolor niebieski) naniesiono na głębokościowy rozkład metanowości pokładów.



Rys. 2. Stopień odgazowania pokładów podebranych i nadebranych eksploataowaną ścianą

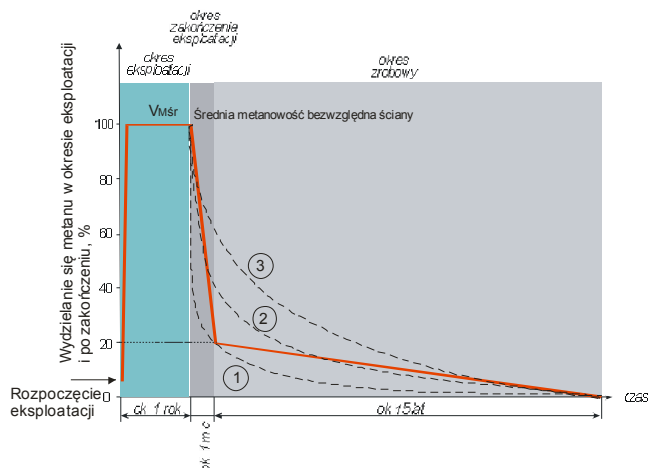
Metan uwalniany się z pokładów podebranych i nadebranych migruje do środowiska eksploatowanej ściany, co w konsekwencji powoduje obniżenie zawartości metanu w tych pokładach do wartości  $M_{wt}$ . Poeksploatacyjna wartość metanowości wtórnej pokładów  $M_{wt}$  jest różnicą między metanowością pierwotną  $M_0$ , a metanowością desorbowałą  $M_{des}$  ( $M_{wt} = M_0 - M_{des}$ ). Po zakończeniu eksploatacji, z pokładów odprężonych o metanowości  $M_{wt}$  następuje dyfuzyjne wydzielanie się metanu, które trwa około 15 lat, do zrobów poeksploatacyjnych ściany ze strefy odprężonej i częściowo odgazowanej prowadzoną wcześniej eksploatacją (Krause 2009).

W oparciu o przeprowadzone przez Główny Instytut Górnictwa badania został opracowany model wydzielania się metanu do otamowanych zrobów poeksploatacyjnych, w którym odniesiono się do metanowości bezwzględnej ściany z okresu eksploatacji wynoszącego 1 rok (rys. 3). Okres likwidacji ściany trwa 1–3 miesięcy, natomiast okres poeksploatacyjny wydzielania się metanu do zrobów, około 15 lat. W okresie eksploatacji oraz wyzbrajania ściany następuje odgazowanie pokładów podebranych i nadebranych do metanowości  $M_{wt}$ , a następnie długi okres desorpcji metanu z tych pokładów o mniejszej kinetyce wydzielania.

Wydzielanie się metanu do zrobów poeksploatacyjnych jest zależne od udziału metanu pochodzącego z pokładów podebranych i nadebranych w całkowitym wydzielaniu się metanu do środowiska z okresu eksploatowanej ściany.

Przebieg krzywych 1, 2 i 3 (naniesionych na rys. 3 liniami przerywanymi) odzwierciedla szacunkowe ilości metanu wydzielającego się do zrobów z pokładów podebranych i nadebranych po zakończeniu eksploatacji. Usytuowanie

krzywej 1, w najbliższej odległości od osi X, świadczy o niewielkim udziale metanu dopływającego do zrobów z odgazowywania się pokładów podebranych i nadebranych. W przypadku takiej charakterystyki wydzielania się metanu do zrobów eksploatowanej ściany, udział metanu uwolnionego z pokładu eksploatowanego w trakcie biegu ściany był przeważający względem metanu uwolnionego z pokładów podebranych i nadebranych.



Rys. 3. Model wydzielania się metanu ze zrobów ścianowych po zakończeniu eksploatacji

W przypadku, gdy w zasięgu odprężenia eksploatacyjnego nie występują pokłady metanowe podebrane i nadebrane, dopływ metanu do zrobów poeksploatacyjnych może być w przybliżeniu równy zero. Przebieg krzywych 2 i 3 wskazuje na znaczący udział metanu wydzielającego się do zrobów poeksploatacyjnych z pokładów podebranych i nadebranych, odprężonych w trakcie eksploatacji. W oparciu o wyniki badań dołowych wydzielania się metanu do zrobów stwierdzono duże zróżnicowanie wielkości wydzielania się metanu potwierdzone również analizą geologiczną otoczenia eksploatacyjnego.

W oparciu o opisany powyżej model, wydzielanie się metanu do zrobów ścianowych po zakończeniu eksploatacji można określić następująco

$$\dot{V}_Z = 0,2 \dot{V}_{Msr} \left( 1 - \frac{u}{15} \right), \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{ min} \quad (1)$$

gdzie:

$\dot{V}_{Msr}$  – średnia metanowość bezwzględna ściany w okresie eksploatacji,  $\text{m}^3 \text{ CH}_4 / \text{ min}$ ;  
 $u$  – liczba lat od zakończenia eksploatacji.

Graficzną interpretację modelu wydzielania się metanu ze zrobów przedstawiono na rysunku 3.

Wydzielanie się metanu ze zrobów poeksploatacyjnych ściany, po zakończeniu eksploatacji, w świetle statystycznych obliczeń, wynosi około 20% średniej wartości metanowości bezwzględnej ściany z okresu eksploatacji.

Opracowany model pozwala na oszacowanie ilości metanu wydzielającego się do zrobów ścianowych od zakończenia eksploatacji. Sumaryczne wydzielanie się metanu do zlikwidowanej kopalni jest sumą wartości wydzielania się metanu ze ścian eksploatowanych w okresie ostatnich 15 lat

$$\dot{V}_{zlik} = \sum_{i=1}^n \dot{V}_{z_i}, \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{ min} \quad (2)$$

gdzie:

$\dot{V}_{z_i}$  – wielkość wydzielania się metanu do zrobów  $i$ -tej wyeksploatowanej ściany,  $\text{m}^3 \text{ CH}_4 / \text{ min}$ ;

$n$  – ilość wyeksploatowanych ścian w okresie ostatnich 15 lat przed likwidacją kopalni,  $i = 1$  do  $n$ .

Należy zaznaczyć, że wydzielanie się metanu do wyrobisk dołowych udostępniających i przygotowawczych z płaszczyn odsłoniętych pokładów metanowych nie przekracza 6% całkowitej ilości metanu wydzielającego się do kopalni.

### 3. WYDZIELANIE SIĘ METANU Z ZATOPIONYCH POKŁADÓW WĘGLA

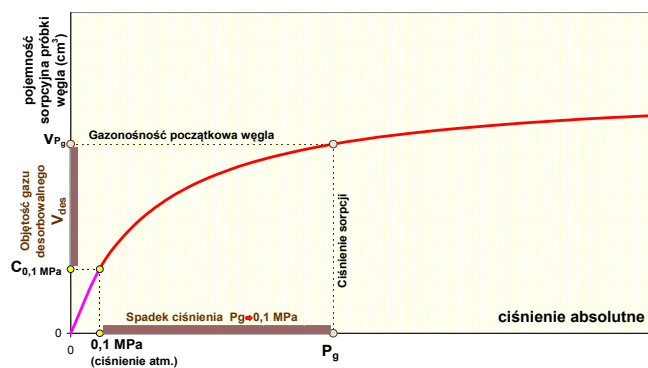
Doświadczenia ruchowe wykazały, że w warunkach zatapania likwidowanych kopalń metanowych, obecność wody i związane z nią ciśnienie hydrostatyczne ogranicza desorpcję i migrację metanu z pokładów odprężonych eksploatacją. W literaturze naukowej brak jest jednak informacji, istotnych z punktu widzenia praktyki górniczej, dotyczących szczegółowego opisu występujących mechanizmów.

W związku z powyższym, w latach 2004–2005, Instytut INERIS (Francja) oraz Główny Instytut Górnictwa (Polska) przeprowadziły wspólne badania laboratoryjne zmierzające do określenia zależności w układzie węgiel, gaz i woda, w kontekście zamykanych lub już nieczynnych metanowych kopalń węgla w oparciu o opracowaną metodykę badawczą.

Badania obejmowały następujące główne etapy:

- Określenie zdolności sorpcyjnych węgla w stanie powietrzno suchym przez wyznaczenie izotermy sorpcji metanu na próbce węglowej z badanego pokładu węgla.

Wyznaczenie izoterm sorpcji pozwala na oszacowanie ze znaczną dokładnością ilości gazu zawartego w węglu dla danego poziomu ciśnienia równowagi sorpcyjnej, a zatem również na określenie objętości gazu desorbowlanego  $V_{des}$  z danej masy węgla przy spadku ciśnienia do poziomu ciśnienia atmosferycznego (rys. 4).



Rys. 4. Izoterma sorpcji gazu na próbce węgla

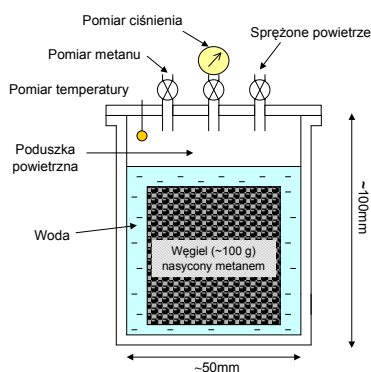
- Nасыcenie próbki węgla metanem przy określonym ciśnieniu równowagi sorpcyjnej.

Próbki węgla w stanie powietrzno suchym, o granulometrii 0,5–1 mm, nasycano metanem w warunkach różnych poziomów ciśnienia gazu, tj. między ciśnieniem charakteryzują-

cym pokłady bardzo mocno odgazowane (ciśnienie względne  $< 0,1$  MPa) i ciśnieniem zbliżonym do poziomu ciśnienia złożowego w pokładach nieodprężonych (ciśnienie względne  $> 1$  MPa).

Eksperyment przeprowadzano w autoklawach, w warunkach kontrolowanej temperatury i ciśnienia (rys. 5).

- Zalanie próbek węgla wodą i zadanie określonego poziomu ciśnienia hydrostatycznego. Próbkę węgla nasyconę metanem zalewano wodą tak szybko, aby węgiel został całkowicie pokryty warstwą wody o grubości około 1 cm. Następnie ustalano pewien poziom ciśnienia w górnej części autoklawu, włączając sprężone powietrze nad poziomem wody. Ciśnienie to przenosiło się na węgiel w formie ciśnienia hydrostatycznego wody (rys. 5). W trakcie danej serii eksperymentów, ciśnienie hydrostatyczne ustalano na poziomie niższym, równym i wyższym tak, aby stworzyć różne kombinacje w stosunku do ciśnienia sorpcji metanu w węglu.



Rys. 5. Autoklaw zastosowany w badaniach

- Obserwacja wydzielania się metanu z zalanego węgla.

Wydzielanie się metanu obserwowano, wykonując pomiary koncentracji metanu w poduszce powietrznej o znanej objętości ponad poziomem wody pokrywającej próbkę węgla. Dla znacznej większości próbek, stabilizację koncentracji metanu w poduszce powietrznej obserwowano po upływie od 14 do 30 dni. Badania przeprowadzono na kilkudziesięciu próbkach węgla pochodzących z GZW i Zagłębia Lotaryngii, dla różnych kombinacji ciśnienia sorpcji  $P_s$  i ciśnienia hydrostatycznego  $P_h$ , co umożliwiło bardziej precyzyjne ilościowe określenie wpływu wody i ciśnienia hydrostatycznego na intensywność wydzielania się metanu z węgla. W celach porównawczych przeprowadzono również badania wydzielania się metanu z próbek suchych.

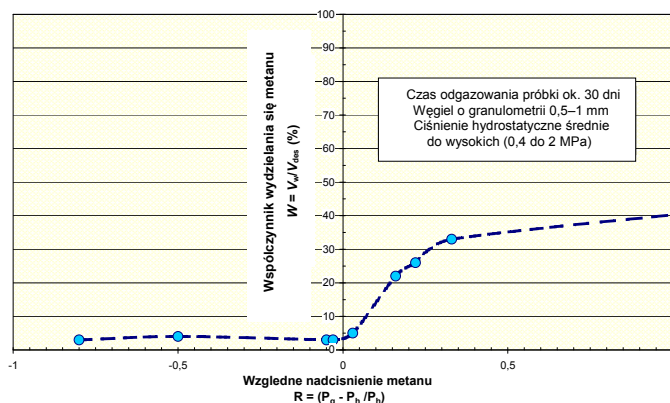
Na rysunku 6 przykładowo przedstawiono intensywność wydzielania się metanu obserwowaną dla różnych próbek węgla, pobranych w pokładzie Albert w Zagłębiu Lotaryńskim, w zależności od względnego nadciśnienia zaadsorbowanego gazu w stosunku do ciśnienia hydrostatycznego.

Współczynnik wydzielania się metanu z węgla  $W$  wyraża wzór

$$W = V_w/V_{des}$$

gdzie:

$V_w$  – objętość metanu wydzielonego z danej próbki węgla,  
 $V_{des}$  – objętość metanu desorbowanego przy spadku ciśnienia gazu od danego ciśnienia początkowego do ciśnienia atmosferycznego, przedstawiona na rysunku 6.



Rys. 6. Przykład wpływu ciśnienia hydrostatycznego na wydzielanie się metanu z próbki węgla zalanej wodą (węgiel z pokładu Albert w Zagłębiu Lotaryńskim)

Względne nadciśnienie metanu  $R$  jest wyrażone wzorem

$$R = (P_g - P_h)/P_h$$

gdzie:

$P_g$  – ciśnienie absolutne metanu w węglu, odpowiadające ciśnieniu równowagi sorpcyjnej,

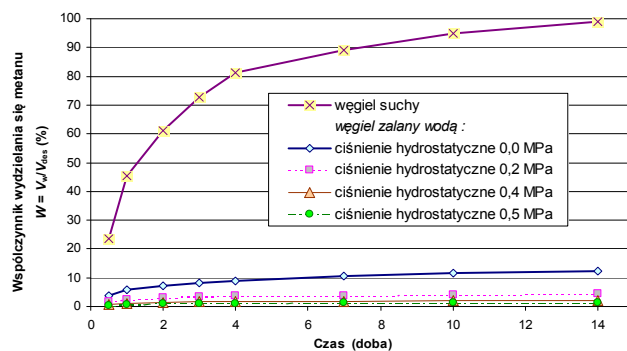
$P_h$  – ciśnienie hydrostatyczne absolutne wody pokrywającej próbkę węgla zawierającego metan.

Wyniki badań przedstawione powyżej, jak również badania prowadzone na innych polskich oraz francuskich węglach, wskazują, że ciśnienie hydrostatyczne wody w znacznym stopniu ogranicza wydzielanie się gazu z węgla. Wpływ ten zwiększa się wraz ze wzrostem ciśnienia wody w stosunku do ciśnienia równowagi sorpcyjnej metanu w węglu.

Wartość współczynnika wydzielania się gazu jest minimalna w przypadku równowagi między ciśnieniem hydrostatycznym i ciśnieniem gazu. Pozostaje ona następnie w przybliżeniu stała, pomimo wzrastającej przewagi ciśnienia hydrostatycznego w stosunku do ciśnienia gazu. W tym zakresie ciśnienia hydrostatycznego, ilość gazu wydzielonego w przeprowadzonych eksperymentach, pozostawała mniejsza od 10% objętości desorbwalnej.

Intensywność desorpcji gazu z węgla jest ograniczona już samą obecnością wody, przy braku oddziaływania istotnego ciśnienia hydrostatycznego.

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki badań wydzielania się metanu przeprowadzonych na próbce węgla suchego pobranej w pokładzie 361 w kopalni „Pniówek” oraz próbkach zalanych wodą do różnego poziomu ciśnienia hydrostatycznego (0; 0,2; 0,4 i 0,5 MPa), przy identycznym ciśnieniu początkowym równowagi sorpcyjnej gazu (0,4 MPa).



Rys. 7. Porównanie wydzielania się metanu z próbki węgla suchego i z próbek zalanych wodą, przy różnym ciśnieniu hydrostatycznym (węgiel z pokładu 361 w kopalni „Pniówek”)



Wyniki badań wykazały, że intensywność wydzielania się metanu z węgla zalanego wodą, bez działania ciśnienia hydrostatycznego była w analogicznych warunkach około 9-krotnie mniejsza niż z węgla suchego i zgodnie z wynikami przedstawionymi na rysunku 6, zmniejszyła się znacznie przy podwyższeniu ciśnienia hydrostatycznego.

#### 4. WNIOSKI

1. W trakcie i po likwidacji kopalni metanowej następuje wzrost koncentracji metanu w odizolowanych zrobach poeksploatacyjnych, a następnie jego migracja do wyrobisk bezpośrednio związanych i wypełnienie gazem pozostałej struktury przestrzennej wyrobisk dołowych.
2. W warunkach zatapiania likwidowanych kopalń metanowych, obecność wody i związane z nią ciśnienie hydrostatyczne ogranicza desorpcję i migrację metanu z pokładów odprężonych eksploatacją, tym samym przyczynia się do zmniejszenia ukierunkowanej migracji metanu na powierzchnię terenów pogórnich.
3. Przedstawione wyniki badań wykonanych w celu określenia zależności występujących w układzie węgiel – gaz – woda w aspekcie likwidowanych kopalń węgla mogą być wykorzystane w prognozowaniu wydzielania się metanu do zatapianych kopalń węgla oraz przy opracowywaniu zasad zwalczania zagrożenia metanowego podczas likwidacji kopalni i na powierzchni terenów pogórnich.

#### Literatura

1. Burrell R., Friel S. (1996): The effect of mine closure on surface gas emission. Proc. of the Conference on the environmental management of mine operations. London, IBC.
2. Besnard K., Pokryszka Z. (2005): Gases emission monitoring in a post-mining context. International Conference Post-Mining 2005, Nancy (France).
3. Kral V., Platenik M., Novotny R. (1998): Methane from closed-down mines in the soil. Proc. of the International Conference on Coal-bed Methane Technologies of Recovery and Utilisation. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
4. Krause E. (2008): Prognozowanie wydzielania metanu do rejonów poeksploatacyjnych kopalń czynnych i likwidowanych przez zatopienie. III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Ochrona środowiska w górnictwie podziemnym, odkrywkowym i otworowym”, Kłodzko – Złoty Stok.
5. Krause E. (2009): Ocena i zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 878.
6. Krause E., Łukowicz K. (2000): Dynamiczna prognoza metanowości bezwzględnej ścian (poradnik techniczny). Główny Instytut Górnictwa, Seria Instrukcje nr 14.
7. Krause E., Skiba J. (2010): Trends of improvement the effectiveness of methane drainage in Polish hard coal mines. International Conference „Advanced mining to sustainable development”, Vietnam, Ha Long Bay.
8. Krzystolik P., Kobiela Z., Krause E., Płonka A. (2002): Post-outburst spaces in the Wałbrzych Coal District: physico-chemical model [W] M.J. Kotarba (ed.) Gas hazard in the near – surface zone of the Wałbrzych Coal District caused by coal mine closure: geological and geochemical controls. Kraków, Society of Research on Environmental Changes GEOSPHERE.
9. Novotny R., Platenik M., Takla G., Kral V. (2001): Reduction of uncontrollable mine gas emission in the Czech part of Upper Silesian hard coal basin devastated by past mining activity. Proc. of the 7<sup>th</sup> International Mine Ventilation Congress – Research & Development. Katowice, EMAG.
10. Pokryszka Z., Tauziede C. (2000): Evaluation of gas emission from closed mines surface to atmosphere. Proc. of the 6<sup>th</sup> International Conference on Environmental Issues and Management of Waste in Energy and Mineral Production. Calgary (Canada), Balkema.
11. Pokryszka Z., Tauziede C., Lagny C., Guise Y. (2005): Gas Migration from Closed Coal Mines to the Surface. Risk assessment Methodology and Prevention Means, Symposium Post-Mining 2005, November 16–17, Nancy, France.
12. Prokop P. (2001): Gas leak effects on environment of Ostrava basin. Proc. of the 7<sup>th</sup> International Mine Ventilation. Katowice, EMAG.
13. Robinson R. (2000): Mine gas hazards in the surface environment. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A, Mining Technology Vol. 109, September – December 2000, s. 228–238.
14. Tauziede C., Pokryszka Z., Barriere J.P. (2002): Risk assessment of gas emission at the surface of French abandoned coal mines and prevention techniques publication: Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A – Mining Technology Vol. 111, December 2002.