

PAWEŁ BARAN\*, STANISŁAW HOŁDA\*\*, JAN MACUDA\*\*\*,  
ADAM NODZEŃSKI\*\*\*\*, LUDWIK ZAWISZA\*\*\*\*\*

## Badania zawartości metanu w węglach brunatnych

### Słowa kluczowe

Metan, sorpcja, węgiel brunatny, zasoby metanu

### Streszczenie

Gazoność pokładów węgla brunatnego zależy od ciśnienia złożowego gazu, składu gazu, składu petrograficznego i stopnia uwęglenia węgla, zawartości wody oraz temperatury złożowej. Istotną rolę w konkretnych przypadkach odgrywają warunki geologiczne, a w szczególności grubość i szczelność nadkładu spoczywającego na złożu węgla oraz występowanie uskoki.

Dla określenia metanoznośności aktualnie eksploatowanych węgla brunatnych w kopalniach węgla brunatnego Bełchatów, Adamów, Turów i Konin, do badań laboratoryjnych pobrano próbki węgla z każdej z kopalń. Miejsca poboru próbek węgla zostały dobrane w taki sposób, aby odzwierciedlały występujące różnice w ich wykształceniu petrograficznym.

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących występowania metanu sorbowanego w pokładach węgla brunatnego, w rejonach największych, udokumentowanych złóż węgla brunatnego na obszarze Polski. Określono wzajemne relacje pomiędzy metanem wolnym i zasorbowanym w strukturze węgla. Obliczono całkowitą ilość metanu zdeponowanego w badanych węglach. Przeanalizowano możliwe zagrożenia wynikające z obecności metanu w złożach.

### Wprowadzenie

Znaczna część naturalnych procesów chemicznych w skorupie ziemskiej zachodzi z wydzieleniem się gazów. Rodzaj, ilość i skład gazów powstających w procesie uwęglania skał

---

\* Mgr inż., \*\* Dr, \*\*\*\* Dr hab., Wydział Paliw i Energii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

\*\*\* Dr inż., \*\*\*\*\* Dr hab. inż., Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

zależy od szeregu czynników, w szczególności od: typu genetycznego substancji wyjściowej, sposobu i warunków jej nagromadzenia, temperatury, ciśnienia oraz czasu geologicznego.

Gazoność pokładów węgla zależy od (Borowski 1975; Kotarba, Rice 2002) ciśnienia złożowego gazu, składu gazu, składu petrograficznego i stopnia uwęglenia węgla, zawartości wody oraz temperatury złożowej.

Istotną rolę odgrywają warunki geologiczne, a w szczególności grubość i szczelność nadkładu spoczywającego na karbonie produktywnym oraz występowanie uskoku.

Złoża węgla brunatnego w Polsce występują w utworach trzeciorzędowych. Pokłady węgla brunatnego wykorzystywane przemysłowo w KWK Bełchatów, KWK Adamów, KWK Turów i KWK Konin związane są całkowicie z osadami miocenu (neogen) (Zawisza i in. 2006).

Wśród analizowanych węgla brunatnych dominują niskouwęglone humusowe ortoliginity, głównie nadlitotypu detrytycznego i ksylitowo-detrytycznego zwane też węglami ziemistymi (atrytowymi) i ksylitowo-ziemistymi. Węgle brunatne bitumiczne występują w mniejszej ilości (3–5%) podobnie jak węgle ksylitowe.

Geneza węgla brunatnych na Niżu Polskim jest ściśle związana z ewolucją wielkiego paleogeńsko-neogeńskiego basenu NW Europy. Materia roślinna, która dała początek węglom brunatnym tworzyła się i gromadziła w sprzyjających warunkach klimatycznych, paleogeograficznych, geotektonicznych i facjalnych. Powstanie pokładów węglowych wiązało się ściśle z określonym reżimem geotektonicznym, z regionalną subsydencją wielkich połaci basenu sedymentacyjnego oraz z lokalnym osiadaniem tektonicznym lub halokinetycznym określonych bloków, stref i obszarów. Pokłady węglowe po nagromadzeniu się ulegały dalszym przemianom postgenetycznym, wśród których szczególne znaczenie miały deformacje glacitektoniczne oraz erozja (Zawisza i in. 2006).

## 1. Pobór prób i ich charakterystyka

Dla określenia metaności aktualnie eksploatowanych węgla brunatnych w kopalniach węgla brunatnego Bełchatów, Adamów, Turów i Konin (Ościsłowo), do badań laboratoryjnych pobrano kilkadziesiąt próbek węgla po kilka próbek z każdej z kopalń (Zawisza i in. 2006). Miejsca poboru próbek węgla zostały dobrane w taki sposób, aby odzwierciedlały występujące różnice w ich wykształceniu petrograficznym.

W KWB Bełchatów, KWB Adamów i KWB Konin próbki węgla zostały pobrane w trakcie wiercenia otworów metodą rdzeniową. Natomiast w KWB Turów próbki węgla zostały pobrane przy wykorzystaniu sprzętu firmy Eijkelkamp, w trakcie wiercenia płytkich otworów technicznych.

W pobranych do analizy próbkach węgla dominuje węgiel humusowy detrytyczny i ksylitowo-detrytyczny, z niewielką domieszką węgla bitumicznych.

Pobrane do badań próbki węgla były transportowane bezpośrednio do specjalistycznego laboratorium Wydziału Paliw i Energii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, w którym przeprowadzono badania metaności.

## 2. Metodyka badań

Do badań węgla naturalnych konieczne jest stosowanie odpowiednio skonstruowanych aparatów, w których można używać próbek o stosunkowo dużej masie. Aparaty winny być przystosowane do długotrwałych pomiarów, a to ze względu na niejednorodność węgla, bardzo wolne ustalanie się stanu równowagi oraz długi czas potrzebny na usuwanie zanieczyszczeń przez odgazowanie.

Parametrem wyznaczanym w trakcie badań jest chłonność sorpcyjna, czyli maksymalna ilość substancji jaka może być zasorbowana przez jednostkę masy sorbentu w danych warunkach temperatury i ciśnienia. Wyniki badań statyki sorpcji są najczęściej przedstawiane za pomocą izoterm.

Zasada pomiaru chłonności sorpcyjnej przy podwyższonych ciśnieniach metodami objętościowymi, polega na rozprężaniu gazu o znanym ciśnieniu i objętości z przestrzeni dozującej, do ampułki zawierającej badaną próbę. Szereg takich aparatów opisano w literaturze, przy czym modyfikacje polegały na ogół na zastosowaniu różnych rozwiązań układu dozującego. W badaniach stosowano oryginalną aparaturę do pomiarów izoterm sorpcji i desorpcji gazów (par) przy podwyższonych ciśnieniach (Nodzeński 1996). Ponieważ pobrane próbki węgla miały kontakt z gazami wchodzącymi w skład atmosfery a zatem i ze znajdującymi się w nich zanieczyszczeniami, które mogłyby blokować mikropory węgla, to przed pomiarem zostały one poddane oczyszczeniu przez odgazowanie w temperaturze pomiaru. Przygotowane w ten sposób węgle mogły pochłonąć maksymalnie możliwą ilość metanu.

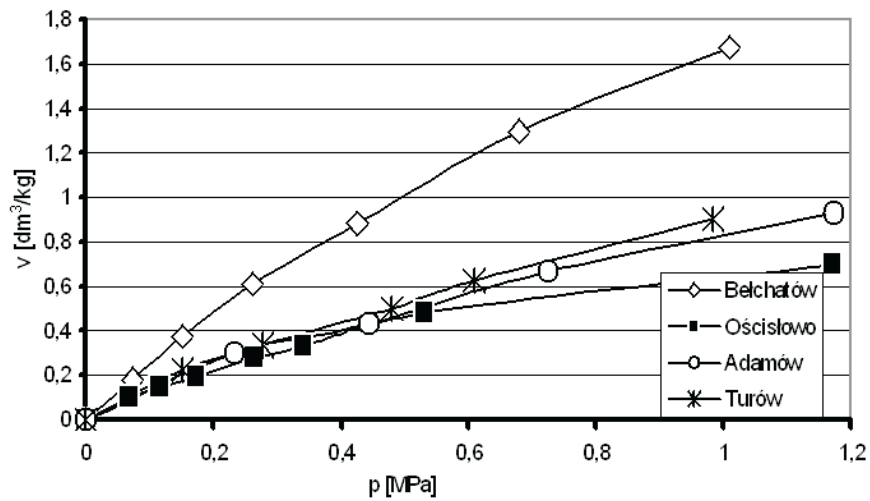
W opracowaniu wyników istotną sprawą jest uwzględnienie różnicy między gazem doskonałym a gazem rzeczywistym. Okazało się, że w zakresie badanych ciśnień i temperatur różnicę między gazem doskonałym a rzeczywistym można określić z dobrą dokładnością za pomocą równania Beattiego-Bridgmana (Michałowski, Wańkiewicz, 1993). Z równania tego można obliczyć objętość molową gazu dla danego ciśnienia i temperatury.

## 3. Wyniki badań i ich omówienie

Badania sorpcyjne w zakresie podwyższonych ciśnień przeprowadzono metodą objętościową w temperaturze 298 K w zakresie ciśnień do 1,2 MPa. Badania sorpcyjne przeprowadzono na czterech próbkach węgla:

1. Węgiel brunatny Ościsłowo otwór 160/76/H-I/1.
2. Węgiel brunatny Bełchatów Otwór 6-35 BR.
3. Węgiel brunatny Adamów.
4. Węgiel brunatny Turów, poziom t25 (k-21) pokład I.

Na rysunku 1 zestawiono izotermę sorpcji metanu na badanych próbkach. Analizując przebieg izoterm można stwierdzić, że sorpcja węgla z kopalni Bełchatów osiąga przy ciśnieniu 1,0 MPa wartości około 1,7 dm<sup>3</sup>/kg, w temperaturze 25°C, co jest wartością



Rys. 1. Porównanie potencjalnej metanopojemności węgla brunatnego w funkcji ciśnienia dla czterech kopalń węgla brunatnego: KWB Belchatów, KWB Adamów, KWB, Turów i KWB Konin (Ościsłowo)

Fig. 1. Comparison potential methane capacity of lignite coal in the function of the pressure for four mines of the lignite coal: KWB Belchatów, KWB Adamów, KWB, Turów and KWB Konin (Ościsłowo)

najwyższą w porównaniu wartościami sorpcji na innych węglach. Izotermi sorpcji w badanym zakresie ciśnień mają kształt zbliżony do liniowego.

#### 4. Obliczenie zasobów metanu w analizowanych złożach węgla brunatnego

Zastosowana w pracy metodyka obliczania zasobów metanu w węglu brunatnym opiera się na wzorze obliczeniowym (1):

$$Q_{mi} = w_T \cdot (\bar{G} - \bar{G}_r) \cdot \sum_{i=1}^n Q_{w_i} \cdot w_{1_i} \cdot w_{2_i} \quad (1)$$

gdzie:

$Q_m$  – zasoby metanu sorbowanego w  $m^3$ ;

$w_T$  – współczynnik przeliczeniowy objętości gazu w warunkach standardowych ( $25^\circ C$ ;  $0,10$  MPa) na warunki normalne ( $0^\circ C$ ;  $0,101$  MPa);

$\bar{G}$  – średnia metanonośność całkowita (rzeczywista) w  $m^3/Mg$  c.s.w.

$\bar{G}_r$  – metanonośność reszkowa w  $m^3/Mg$  c.s.w.

$i$  – oznaczenie poziomu obliczeniowego;

$Q_w$  – zasoby geologiczne węgla w obrębie okonturowanej strefy złożowej;

$w_1$  – współczynnik zwiększający z tytułu nieudokumentowanych pokładów węgla;

$w_2$  – współczynnik zmniejszający z tytułu zawilgocenia i zapopielenia węgla.

Metanonośność potencjalna  $G_p$  jest to całkowita, maksymalna objętość metanu, która może znajdować się w węglu w danych warunkach ciśnienia i temperatury. Metanonośność potencjalną można wyznaczyć, dla określonych warunków złożowych, z krzywych sorpcji metanu w funkcji ciśnienia (rys. 1). Na wielkość metanonośności potencjalnej ma wpływ stopień przeobrażenia (uwęglenia) substancji węglowej oraz struktura przestrzeni porowej w węglu.

Metanonośność rzeczywista  $G$  jest to objętość metanu, która znajduje się w określonym pokładzie węgla, w określonych warunkach ciśnienia i temperatury, przy uwzględnieniu desorpcji. Wartość metanonośności rzeczywistej jest zdecydowanie niższa od wartości metanonośności potencjalnej. Metanonośność rzeczywistą można obliczyć na podstawie metanonośności potencjalnej przy pomocy wzoru (2):

$$G = k \cdot G_p \quad (2)$$

gdzie:

- $G_p$  – metanonośność potencjalna w  $\text{m}^3/\text{Mg}$  c.s.w.
- $G$  – metanonośność rzeczywista (całkowita) w  $\text{m}^3/\text{Mg}$  c.s.w.
- $k$  – współczynnik proporcjonalności, który może być wyznaczany eksperymentalnie dla danego złoża, w ułamku jedności.

W celu obliczenia zasobów metanu sorbowanego w węglu brunatnym niezbędne jest również określenie tzw. metanonośności resztkowej, określającej niedesorbowalną część metanonośności. Metanonośność resztkowa  $G_r$  jest to objętość metanu, która pozostała w zdesorbowanej próbce węgla w warunkach normalnych ( $p = 0,101$  MPa). Zatem to ilość gazu całkowitego, która nie może być w sposób efektywny odzyskana. Metanonośność resztkową można wyznaczyć z krzywej sorpcji metanu w funkcji ciśnienia (rys. 1), przyjmując ciśnienie równe  $p = 0,101$  MPa (dla warunków normalnych).

Współczynnik  $w_2$  przyjęto w oparciu o dane literaturowe:  $w_2 = 0,82$ , natomiast współczynnik  $w_1$  przyjęto równy 1.

Współczynniki przyjęte do obliczeń oraz wyliczone zasoby metanu w pokładach węgla brunatnego zestawiono w tabeli 1 (Zawisza i in. 2006).

Wytypowanie obiektów złożowych do dalszych badań z punktu widzenia możliwości akumulacji metanu.

W oparciu o przeprowadzone w pracy badania dotyczące emisji metanu do atmosfery, określenia metanopojemności próbek węgla w funkcji ciśnienia, ocenę metanonośności potencjalnej, rzeczywistej i resztkowej oraz ocenę zasobów metanu w pokładach węgla brunatnego zostały wytypowane obiekty do dalszych badań.

Spośród czterech analizowanych złóż najwyższą metanopojemnością charakteryzuje się złoże węgla brunatnego w KWB Belchatów. Pozostałe cztery złoża (KWB Adamów, KWB Turów, KWB Konin) posiadają zdecydowanie niższą metanopojemność potencjalną (rys. 1).

TABELA 1

Zestawienie obliczonych zasobów metanu w pokładach węgla brunatnego KWB Bełchatów, KWB Adamów, KWB Turów i KWB Konin wg stanu na 31.12.2005 r. (Zawisza i in. 2006)

TABLE 1

List of calculated reserves of methane in the lignite coal beds of KWB Bełchatów, KWB Adamów, KWB Turów and KWB Konin according to the state on 31.12.2005 r. (Zawisza i in. 2006)

Złoże	Średnia głębokość zalegania złoże [m]	Metanonośność potencjalna $G_p$ [m <sup>3</sup> /Mg c.s.w.]	Metanonośność całkowita (rzeczywista) $G$ [m <sup>3</sup> /Mg c.s.w.]	Metanonośność resztkowa $G_r$ [m <sup>3</sup> /Mg c.s.w.]	Zasoby przemysłowe węgla $Q_w$ [mln Mg]	$w_1$	$w_2$	Zasoby metanu $Q_m$ [mln m <sup>3</sup> ]
KWB Bełchatów	150	2,110	0,633	0,26	963,9	1,0	0,82	294,82
KWB Adamów	45	0,510	0,102	0,10	61,9	1,0	0,82	0,10
KWB Turów	90	0,601	0,120	0,11	442,6	1,0	0,82	3,63
KWB Konin	55	0,440	0,088	0,08	80,3	1,0	0,82	0,53

Dla porównania, średnia wartość sorpcji węgla przy ciśnieniu 1,0 MPa i temperaturze 25°C w kopalni Bełchatów wynosi około 1,7 dm<sup>3</sup>/kg, w kopalni Adamów: 0,84 dm<sup>3</sup>/kg, w kopalni Turów: 0,86 dm<sup>3</sup>/kg i w kopalni Konin: 0,61 dm<sup>3</sup>/kg.

Zasoby metanu występującego w pokładach węgla brunatnego analizowanych kopalń cechują się dużą zmiennością.

Zdecydowanie największe zasoby metanu występują w KWB Bełchatów i wynoszą około 294,82 mln m<sup>3</sup>. Obliczone zasoby metanu w KWB Adamów wynoszą zaledwie 0,10 mln m<sup>3</sup>, zasoby metanu KWB Turów wynoszą 3,63 mln m<sup>3</sup>, natomiast zasoby w KWB Konin są równe mln 0,53 m<sup>3</sup> (tab. 1).

Największą metanonośność węgla eksploatowanych w złożu KWB Bełchatów potwierdzają również badania stężenia metanu w powietrzu wypływającym z odwiertów hydrogeologicznych, obserwacyjnych i technicznych, zlokalizowanych w rejonie pola Bełchatów i Szczerców (Zawisza i in. 2002; 2003).

Biorąc powyższe stwierdzenia pod uwagę do dalszych badań powinno być wytypowane złoże KWB Bełchatów (pole Bełchatów i Szczerców).

### Podsumowanie i wnioski

1. W pracy przedstawiono wyniki badań występowania metanu sorbowanego w pokładach węgla brunatnego, w rejonach największych, udokumentowanych złóż węgla brunatnego na obszarze Polski wraz z określeniem jego koncentracji w przeliczeniu na tonę czystej substancji węglowej.

2. Węgły brunatne, eksploatowane w analizowanych kopalniach, w znacznym stopniu różnią się między sobą wielkością metanonośności. Najwyższą metanopojemnością charakteryzuje się złożo węgla brunatnego w KWB Bełchatów. Pozostałe cztery złoża (KWB Adamów, KWB Turów, KWB Konin) posiadają zdecydowanie niższą metanopojemność potencjalną. Dla porównania, średnia wartość sorpcji węgla przy ciśnieniu 1,0 MPa i temperaturze 25° C w kopalni Bełchatów wynosi około 1,7 dm<sup>3</sup>/kg, w kopalni Adamów: 0,84 dm<sup>3</sup>/kg, w kopalni Turów: 0,86 dm<sup>3</sup>/kg i w kopalni Konin: 0,61 dm<sup>3</sup>/kg.
3. Metanonośność węgla eksploatowanych w złożu KWB Bełchatów jest największa, w porównaniu z innymi kopalniami węgla brunatnego potwierdzają to również badania stężenia metanu w powietrzu wypływającym z odwiertów hydrogeologicznych, obserwacyjnych i technicznych, zlokalizowanych w rejonie pola Bełchatów i Szczerców.
4. Zdecydowanie największe zasoby metanu występują w KWB Bełchatów i wynoszą około 294,82 mln m<sup>3</sup>. Obliczone zasoby metanu w KWB Adamów wynoszą zaledwie 0,101 mln m<sup>3</sup>, zasoby metanu KWB Turów wynoszą 3,63 mln m<sup>3</sup>, natomiast zasoby w KWB Konin są równe mln 0,527 m<sup>3</sup>.
5. Na podstawie analizy wyników pomiarów gazów wybuchowych i toksycznych w KWB „Bełchatów” można stwierdzić, że metan stanowi potencjalne zagrożenie wybuchowe. Występuje on w gazie wypływającym z otworów w bardzo dużym przedziale zmienności.

Pracę wykonano w ramach badań statutowych WPiE AGH umowa nr 11.11.210.124.

#### LITERATURA

- Borowski J., 1975 – Badanie gazonośności pokładów węglowych z zastosowaniem nowych metod. Prace Gł. Inst. Górn., 645. Katowice.
- Kasztelewicz Z., 2004 – Polskie Górnictwo węgla brunatnego. Bełchatów.
- Kotarba M.J. and Rice D.D., 2002 – Composition and origin of coalbed gases in Lower Silesian Basins, northwestern Poland”. Appl. Geochem., 16.
- Michałowski S., Wańkiewicz K., 1993 – Termodynamika procesowa. WNT, Warszawa.
- Nodzeński A., 1996 – A Method for the Measurement of Carbon Dioxide Desorption from Coal in the Elevated Pressure Range, Ads.Sci. & Technol., 13, Number 2, s. 71–84.
- Zawisza L. i in., 2002 – Uwarunkowania i zagrożenia w trakcie wykonywania robót wiertniczych i eksploatacji przy występowaniu gazów. Stowarzyszenie Naukowe im. Stanisława Staszica, Kraków.
- Zawisza L. i in., 2003 – Monitoring gazów wybuchowych i szkodliwych w warunkach KWB Bełchatów. Stowarzyszenie Naukowe im. Stanisława Staszica. Kraków.
- Zawisza L. i in., 2006 – Ocena występowania metanu w pokładach węgla brunatnego oraz możliwości jego przemysłowego wykorzystania. Praca wykonana na zamówienie Ministerstwa Środowiska. Kraków.

**INVESTIGATIONS OF METHANE CONTENT IN LIGNITE COALS****Key words**

Methane, sorption, the lignite coals, reserves of methane

**Abstract**

Gas capacity of the lignite coal beds depends from the pressure of gas, the composition of gas, petrographic composition and rank of coal, contents of water and temperatures of the bed. In concrete cases geological conditions particularly a thickness and an airtightness of cover of carbon resting on the deposit and appearing of fault.

In order to determine methane capacity of at the present exploited lignite coals in mines of the lignite coal: Bełchatów, Adamow, Turow and Konin, for laboratory examinations samples of coal were taken from above mines. Places of the drawing of samples of coal were selected this way so that appearing differences in their petrographic composition reflected.

Investigations concerning of methane sorbed in the lignite coal beds, in biggest, substantiated areas in the area of Poland were presented. An interrelation was determined amongst free methane and sorbed methane in the porous structure of coal. A total amount of deposited methane was calculated in explored coals. Possible threats resulting from the presence of methane in deposits were analysed.