

PRÓBA OBLICZENIA ILOŚCI METANU WYTWORZONEGO I ZAKUMULOWANEGO W KONTEKŚCIE ZMIENNOŚCI STOPNIA PRZEOBRAŻENIA POKŁADÓW WĘGLA W REJONIE BZIE-DĘBINA (GÓRNOŚLĄSKIE ZAGŁĘBIE WĘGLOWE)

ATTEMPT OF CALCULATION OF GENERATED AND ACCUMULATED METHANE QUANTITY IN THE CONTEXT OF VARIABILITY OF COAL RANK IN BZIE-DĘBINA REGION (THE UPPER SILESIAN COAL BASIN)

Sławomir Kędzior - Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Sosnowiec

Stopień uwęglenia pokładów wyrażony poprzez zawartość części lotnych (V^{daf}) dostarcza szeregu informacji na temat zarówno typu węgla, jak i ilości wytworzonych gazów. W artykule przedstawiono szacunek ilości metanu wytworzonego, zakumulowanego oraz pojemności sorpcyjnej węgla w obszarze Bzie-Dębina, w którego części planowane jest wydobywanie węgla koksowego przez Jastrzębską Spółkę Węglową. Jak wynika z obliczeń, w badanym obszarze o powierzchni ok. 40 km² i rozpoznanej miąższości serii węglonośnej 1000 m wytworzyło się 235 mld m³ metanu, podczas gdy ilość zakumulowanego współcześnie gazu wynosi 7,5 mld m³. Oznacza to, że w badanym obszarze występuje 3,2% metanu wytworzonego. Pokłady węgla występujące w badanym obszarze w danych warunkach ciśnienia i temperatury odpowiadających ich położeniu są w stanie zaadsorbować 26,2 mld m³ metanu, czyli znacznie więcej niż wynosi faktyczna ilość metanu obecnie zakumulowana w złożu. Niedosycenie pokładów metanem sięga 71%. Prawdopodobną przyczyną znacznego niedosycenia pokładów oraz niskiej ilości metanu zakumulowanego w stosunku do wytworzonego jest znacznych rozmiarów odgazowanie serii węglonośnej wywołane erozją kompleksu karbońskiego w mezozoiku i paleogenie. Bezpośredniej zależności pomiędzy stopniem uwęglenia i ilością metanu zakumulowanego nie obserwuje się. Jest jednak możliwy wpływ tzw. II skoku uwęglenia na wielkość metanonośności pokładów przejawiający się pokryciem się maksymalnych ilości metanu w profilach otworów z odpowiadającym przedziałem V^{daf} 23-38%. Obecność metanu w złożu będzie miała wpływ na warunki planowanej eksploatacji węgla.

Słowa kluczowe: metan, stopień uwęglenia, zawartość części lotnych, Bzie-Dębina, Górnośląskie Zagłębie Węglowe

Coal rank expressed by volatiles (V^{daf}) provides range of information about both coal technological type and quantity of generated gases. This paper presents estimation of quantities of generated and accumulated methane as well as sorption capacity of coal in the area of Bzie-Dębina, in part of which exploitation of coal is planned by Jastrzębie Coal Company. Calculations reveal that in the researched area with 40 km² of surface and recognized thickness of coal-bearing series 1000 m, 235 billion (109) m of methane generated, while only 7.5 billion m³ of methane accumulated in the coal series. It means, that in this area is present 3.2% of generated methane. The coal seams occurring in the area of research in given conditions of temperature and pressure referring to their depth are able to adsorb 26.2 billion m³ of methane or much more than actual quantity of methane accumulated in the deposit. The undersaturation of coal seams with methane reaches 71%. The probable reason of considerable undersaturation of coal seams and low content of accumulated methane in relation to generated one is wide spread of degassing of coal-bearing series caused by erosion of the Carboniferous complex in the Mesozoic and Paleogene periods. Direct dependence between coal rank and content of accumulated methane is not observed, but it is possible the influence of so called the second coalification jump on methane content showing the coincidence of maximum methane quantity in bore-holes profile and V^{daf} range of 23-28%. The occurrence of coal-bed methane in Bzie-Dębina deposit will influence the planned coal exploitation.

Keywords: methane, coal rank, volatiles, Bzie-Dębina, the Upper Silesian Coal Basin

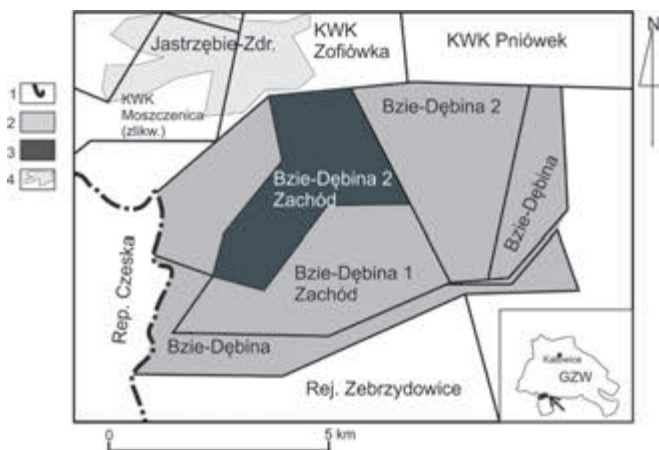
W związku z uzyskaniem w 2008 r. koncesji na wydobywanie węgla przez Jastrzębską Spółkę Węglową (JSW) w polu Bzie-Dębina 2 Zachód oraz planami zagospodarowania, udostępnienia i eksploatacji przez tę spółkę także innych pól rejonu Bzie-Dębina w przyszłości, wzrosło zainteresowanie tym obszarem z punktu widzenia jakości i zasobów węgla oraz występowania metanu jako głównego zagrożenia eksploatacji z jednej strony oraz kopaliny towarzyszącej z drugiej.

Obszar Bzie-Dębina znajduje się w południowo-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) przylegając od południa do obszarów górniczych kopalń Pniówek i Zofiówka, należących do JSW. Południową granicę obszaru stanowi niezagospodarowane złoże węgla Zebrzydowice, wschodnią nieudokumentowany obszar Drogomyśla, a zachodnią granicą państwową z Czechami (rys. 1). W ciągu kilku ostatnich lat obszar ten przechodził liczne reorganizacje

administracyjne związane z planami jego zagospodarowania i eksploatacji węgla przez JSW. Podział omawianego obszaru według stanu na koniec lutego 2016 r. ilustruje rysunek 1.

Cechą badanego pola jest wysoki stopień uwęglania pokładów (przewaga węgla koksującego typu 35.1 w zasobach zarówno bilansowych jak i geologicznych) oraz zróżnicowana metanonośność złoża odpowiadająca pokładom od niemeta-nowych do IV (najwyższej) kategorii zagrożenia metanowego [18].

Stopień uwęglania pokładów dostarcza szeregu informacji na temat zarówno kaloryczności węgla i jego przydatności gospodarczej, jak i potencjalnej ilości wytworzonych gazów podczas procesów uwęglania np. [16] [13] [6][8]. Na podstawie ubytku części lotnych oszacowano ilość wytworzonych gazów w pokładach węgla zarówno w całym GZW [16], jak i wybranych jego obszarach [6] [8] [13]. Zatem celem niniejszej pracy jest szacunek ilości potencjalnie wytworzonego oraz zakumulowanego metanu w obszarze Bzie-Dębina o wysokim stopniu uwęglania oraz przeanalizowanie obecnie obserwowanego rozkładu ilości metanu w tym obszarze oraz stopnia uwęglania pokładów.



Rys. 1. Lokalizacja i podział administracyjny obszaru badań wg [1]
1 – granica państwa, 2 – zasięg terytorialny badanego obszaru, 3 – obszar koncesyjny wydobycia węgla przez Jastrzębską Spółkę Węglową, 4 – obszar miasta Jastrzębie Zdrój

Fig. 1. Location and administrative division of the researched area after [1]
1 – state border, 2 – territory reach of the researched area, 3 – concession area of coal exploitation by Jastrzębska Coal Company, 4 – the area of Jastrzębie Zdrój town

Charakterystyka geologiczna badanego obszaru

Jak już wspomniano, obszar Bzie-Dębina leży w południowo-zachodniej części GZW na południowo-zachodnim skłonie niecki głównej, w strefie zapadliska przedkarpackiego, około 4-5 km na północ od nasunięcia Karpat [18]. Przez północną część obszaru przebiega regionalna w skali zagłębia dyslokacja Bzie-Czechowice.

Złoże rozpoznane jest w kategorii C_2 i C_1 siatką kilkudziesięciu otworów wiertniczych do przeciętnej głębokości 1300 m. W ostatnich latach rozpoznanie złoża uległo uszczegółowieniu w skrajnie północnym rejonie wskutek wstępnej rozczinki górotworu i głębinienia szybu przez kopalnię Zofiówka w ramach koncesji wydobywczej w polu Bzie-Dębina 2 – Zachód.

Badany obszar do głębokości rozpoznania geologicznego budują utwory karbonu węglonośnego (pensylwanu), miocenu

oraz czwartorzędu. Osady węglonośne karbonu wykształcone są w postaci kilku serii stanowiących pakiet iłowcowo-mułowcowo-piaskowcowy z licznymi pokładami węgla. Podział tych osadów na serie wraz opisem litologicznym ilustruje tabela 1.

Strop utworów karbońskich ma charakter erozyjny i wykazuje bardzo silne urozmaicenie morfologiczne. Deniwelacje powierzchni stropu dochodzą do 350 m. Obecne są tu zarówno wyniesienia morfologiczne w obrębie tzw. grzbietu Pawłowic na północy oraz garbu Zebrzydowice na południu, jak i obniżenia w postaci erozyjnego wymycia bogumińsko-skoczowskiego zlokalizowanego w centralnej części obszaru. Generalnie powierzchnia stropowa utworów karbonu ma charakter niecki obniżającej się w kierunku wschodnim [18].

Osady miocenu wykształcone są w postaci iłów zwartych i półzwartych przechodzących w iłowce (formacja skawińska - baden) oraz piaskowców słabo zwięzłych (warstwy dębowieckie - karpat) występujących w spągu sekwencji miocenijskiej w obrębie prawie całego złoża poza obszarem północnym. Miąższość utworów miocenijskich wynosi 700-980 m.

Utwory czwartorzędowe o przeciętnej miąższości 13-30 m występują bezpośrednio na powierzchni i pokrywają cały obszar. Stanowią je gliny i piaski akumulacji lodowcowo-rzecznej oraz pojedyncze soczewki torfu nie przekraczające 1 m grubości [18].

Charakter tektoniczny obszaru jest fałdowo-dysjunktywny, ponieważ występują tu zarówno struktury fałdowe, jak i uskoki. Do struktur fałdowych należy łagodna forma antyklinalna oraz płaska niecka w północno-wschodniej części złoża oraz równoleżnikowa brachyantyklinna w południowo-zachodniej partii obszaru [18].

Najistotniejszą dyslokacją w badanym obszarze jest uskoki Bzie-Czechowice w północnej części złoża o przebiegu równoleżnikowym i kilkusetmetrowym zrzucie, stanowiącym kilka równoległych płaszczyzn uskokowych. Jest to dyslokacja regionalna w skali GZW biegnąca z zachodu na wschód na odcinku ok. 50 km. Pozostałe uskoki w badanym obszarze o przebiegu zbliżonym zarówno do równoleżnikowego, jak i południkowego mają mniejszy zasięg i dzielą złoże na bloki tektoniczne.

Generalne zapadanie warstw karbońskich jest stałe i przyjmuje kierunek północno-wschodni pod kątem od kilku do kilkunastu stopni, zmienia się jedynie w obrębie lokalnych zafałdowań oraz w strefach uskokowych. W tych ostatnich obserwowano zwiększenie kąta upadu do ok. 40 stopni.

W złożu dominuje węgiel ortokoksowy typu 35.1 (ok. 68% zasobów), podrzędnie występuje węgiel gazowo-koksowy typu 34.2 (ok. 8% zasobów). W sumie węgiel koksowy wszystkich typów stanowi ok. 99% zasobów złoża, pozostały 1% przypada na węgiel energetyczny typów 32.1, 32.2 oraz 33 [18]. Na jakość węgla pozytywnie wpływa stosunkowo wysoka wartość opałowa (przeciętnie 26,7 MJ/kg), niestety jakość tę pogarsza znaczna ilość popiołu w węglu (średnio ponad 20%). Przeciętna zawartość siarki całkowitej w obrębie złoża wynosi 0,67%, a gęstość przestrzenna 1,45 t/m³ [18].

Występowanie metanu w złożu związane jest zarówno z nadkładem złoża – utworami miocenijskimi, jak i z węglonośnym kompleksem karbońskim. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z metanem wolnym, występującym w piaszczystych wkładkach wraz z tzw. piaskowcem reperowym na czele, których gazonośność związana jest z występowaniem gazu ziemnego w zapadlisku przedkarpackim oraz z metanem

współwystępującym z wodą (w postaci zgazowanych wód) w obrębie kompleksu warstw dębowieckich, których gazonośność powiązana jest z przystropową strefą gazonośną karbonu [7]. W obrębie kompleksu karbońskiego metan występuje w formie sorbowanej w pokładach węgla oraz wolnej w substancji węglowej oraz skałach płonnych (głównie w piaskowcach). Pionowy rozkład metanonośności utworów karbonu nawiązuje do tzw. południowego modelu gazonośności GZW z wyraźnie zarysowaną wtórną przystropową strefą gazonośną o ilości metanu dochodzącej do $13 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$ czystej substancji węglowej (csw), występującą poniżej strefą naturalnie odgazowaną w przeszłości geologicznej oraz obecną jeszcze głębiej pierwotną strefą gazonośną ukształtowaną podczas procesu uwęglania substancji węglowej pod koniec górnego karbonu (310-290 mln lat temu), o metanonośności rzędu $10 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$ csw [11]. Gazonośność złoża jest zróżnicowana także lateralnie. Występowanie oraz ilość nagromadzonego w złożu metanu czyni złożo wysokometanonośnym w podnadkładowych oraz głębszych partiach.

przyjęte częściowo za dokumentacją geologiczną złoża Bzie-Dębina 1 z 2005 r. [18]: -790, -920, -1040 oraz -1590 m npm. Zrezygnowano z poziomu najpłytszego -590 m npm z uwagi na występowanie wtórnych nagromadzeń metanu migracyjne oraz mikrobialnego, którego obecność nie jest związana z termokatalitycznym wytwarzaniem metanu w miejscu. Dodano za to poziom najgłębszy -1590 m npm, będącym poziomem granicznym rozpoznania geologicznego. Dla każdego z poziomów obliczono średnią zawartość części lotnych i na jej podstawie obliczono ilość metanu wytworzonego według wzoru:

$$V_w = V_{\text{jedn}} * Q_w \text{ [m}^3\text{]}, \quad (1)$$

gdzie V_w – ilość metanu wytworzonego w poziomie obliczeniowym,

V_{jedn} – ilość metanu wytworzonego z 1 tony węgla przy ubytku V^{daf} z 40% do średniej wielkości dla danego poziomu,

Q_w – całkowita masa węgla w poziomie obliczeniowym.

Tab. 1. Podział stratygraficzny obszaru badań z opisem poszczególnych serii
Tab. 1. Stratigraphical division of the researched area with description of individual series

Seria	Stratygrafia	Opis	Miąższość
Mułowcowa	Warstwy załęskie (westfal A)	Dominują iłowce i mułowce stanowiące 60-80% profilu. Pozostałą część stanowią piaskowce w postaci cienkich ławic. Liczne pokłady węgla kamiennego przechodzące często w łupki węglowe	Zmienna z uwagi na urozmaiconą morfologicznie powierzchnię stropu utworów karbońskich, przeciętnie do 600-700 m
Górnośląska piaskowcowa	Warstwy rudzkie i siodłowe (westfal A, namur B i C)	Przeważają gruboławicowe piaskowce nad iłowcami i mułowcami. Mniej liczne, ale miąższe pokłady węgla z najgrubszym pokładem 510 (ponad 12 m miąższości) w spągu serii	ok. 300-400 m
Paraliczna	Warstwy porębskie Namur A	Rozpoznana została jedynie partia stropowa. Duża ilość utworów piaszczystych, występują iłowce i mułowce z nielicznymi pokładami węgla. Obecne horyzonty z fauną morską (Gaebler)	120 m od stropu do granicy rozpoznania geologicznego

Metodyka

Podstawą opracowania są wyniki badań metanonośności pokładów węgla oraz zawartości części lotnych przeprowadzonych na próbkach węglowych pochodzących z głębokich otworów wiertniczych wykonanych na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. w celu rozpoznania złoża Bzie-Dębina. Wyniki te zostały udostępnione przez archiwum Katowickiego Przedsiębiorstwa Geologicznego [20].

Zawartość części lotnych jest jedną z podstawowych wielkości określających stopień uwęglania pokładów, a więc stopień przeobrażenia termicznego substancji węglowej. Przeobrażeniu temu towarzyszy wydzielanie się gazów, w tym metanu [16] [9]. Im mniejsza zawartość części lotnych w węglu, tym więcej metanu powinno się wytworzyć. Tak więc aktualny stopień uwęglania pokładów wyrażony m.in. zawartością części lotnych może wskazywać na potencjał generacyjny pokładów węgla w odniesieniu do gazów. Opierając się na tym założeniu zestawiono wielkości zawartości części lotnych w pokładach w stanie suchym i bezpopiołowym (V^{daf}) oraz metanonośność pokładów w rozbiciu na cztery poziomy obliczeniowe (dokumentacyjne)

Za początek wytwarzania metanu termokatalitycznego uznano wartość V^{daf} na poziomie 40%, jako umowną granicę pomiędzy węglem kamiennym i brunatnym [16]. Wyniki ilości metanu wytworzonego dla każdego poziomu zsumowano uzyskując całkowitą ilość wygenerowanego metanu dla badanego obszaru.

Następnie obliczono ilość współcześnie występującego metanu w złożu posługując się metodyką obliczania zasobów metanu jako kopaliny towarzyszącej. Podstawowym parametrem niezbędnym do obliczenia tych zasobów jest metanonośność pokładów węgla definiowana jako ilość metanu zawarta w jednej tonie czystej substancji węglowej. W tym przypadku skorzystano ze wzoru:

$$V_{\text{CH}_4} = Q * A * B * (M_{\text{sr}} - M_{\text{T}}) * W_{\text{T}} \text{ [Nm}^3\text{]} \quad (2)$$

gdzie V_{CH_4} – zasoby metanu,

Q – zasoby węgla,

A – współczynnik powiększający zasoby węgla o wkładki i pokłady nieudokumentowane,

B – współczynnik przeliczeniowy całkowitych zasobów węgla

na zasoby bezpopiołowej i suchej substancji węglowej (daf),
 M_{sr} – metanonośność średnia w poziomie obliczeniowym,
 M_r – metanonośność resztkowa,
 W_T – współczynnik temperaturowy określający zasoby gazu w warunkach normalnych.

Tak obliczone zasoby metanu porównano z potencjalną ilością wytworzonego metanu na podstawie ubytku części lotnych, a wyniki zestawiono w tabeli 2. W dalszej kolejności wykreślono w programie Surfer 12 mapy zmienności metanonośności pokładów węgla oraz zawartości części lotnych dla dwóch poziomów 1100 oraz 1300 m, odpowiednio ok. -825 oraz -1025 m npm, na których przewidziana jest eksploatacja górnicza w polu Bzie-Dębina 2 Zachód [2]. Zestawiono także profile pionowej zmienności ilości metanu oraz zawartości części lotnych dla wybranych otworów wiertniczych zlokalizowanych wzdłuż linii przekroju.

wykonaną dla pobliskiego obszaru KWK Jas-Mos [3]. Wynika z niej, iż pokłady węgla występujące w badanym obszarze w danych warunkach ciśnienia i temperatury odpowiadających ich głębokości występowania są w stanie zaadsorbować 26,2 mld m³ metanu, czyli znacznie więcej niż wynosi faktyczna ilość metanu obecnie zakumulowana w złożu (tab. 2). Wynika stąd, iż w badanym obszarze węgiel jest nasycony metanem w 28,3% w stosunku do jego pojemności sorpcyjnej. Innymi słowy, niedosycenie pokładów metanem w badanym obszarze wynosi ponad 71%.

Analiza zmienności poziomej metanonośności w płaszczynach poziomów 1100 oraz 1300 m (czyli -825 oraz -1025 m npm) (rys. 2 i 4) wykazała generalny wzrost metanonośności pokładów z północnego zachodu na południowy wschód oraz w przypadku poziomu 1300 także na wschód. Pozioma zmienność zawartości części lotnych malejąca w kierunku północno-zachodnim (rys. 3 i 5), wskazuje na wzrost stopnia uwęglenia w tym kierunku.

Tab. 2. Ilość metanu wytworzonego i zakumulowanego w rozbiu na poziomy obliczeniowe
 Tab. 2. Quantity of generated and accumulated methane in division into calculation levels

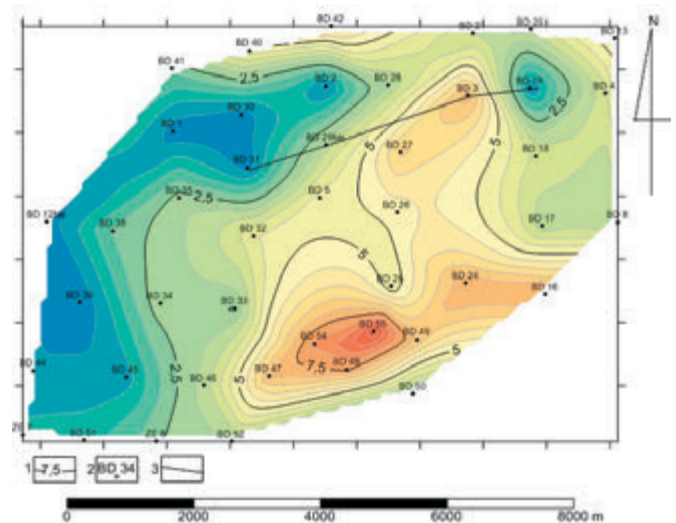
Poziom [m npm]		Całkowite zasoby węgla [mln t csw]	Średnia metanonośność [m ³ /t csw]	Metanonośność resztkowa [m ³ /t csw]	Zasoby metanu [mln m ³]	Współczynnik Nm	Zasoby metanu w warunkach normalnych (Mz) [mln m ³]	Części lotne (V ^{daf})* [%]	Różnica V ^{daf} ** [%]	Metan jednostkowy [m ³ /t csw]	Metan wytworzony (Mw) [mln m ³]	Mz/Mw (%)
od	do											
-590	-790	96 499	4,41	1,00	353 343,00	0,90	318 609,40	28	12	88,20	9 128 541,24	3,49
-790	-920	161 321	5,97	1,20	851 667,40	0,90	767 948,50	28	12	88,20	15 744 511,44	4,88
-920	-1040	304 541	4,96	1,40	1 223 461,40	0,90	1 103 195,10	26	14	102,80	35 309 332,80	3,12
-1040	-1590	1 265 515	5,56	1,60	5 893 452,73	0,90	5 314 126,33	24	16	117,50	174 868 862,70	3,04
SUMA		1 827 876			8 321 924,53		7 503 879,33				235 051 248,18	3,19

*wartość średnia dla poziomu

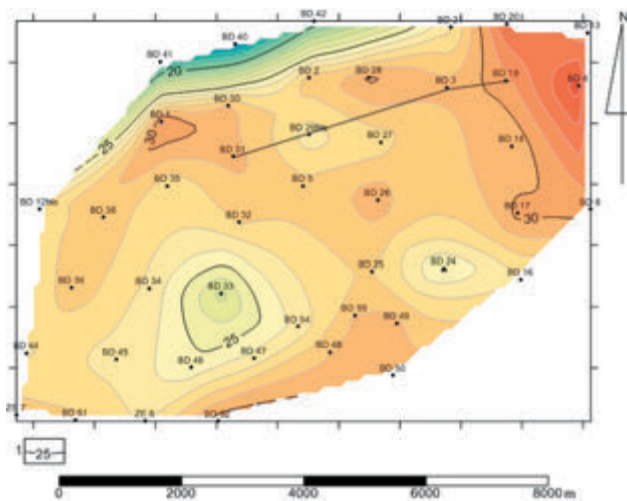
** różnica pomiędzy V^{daf} 40% a wartością średnią dla poziomu

Wyniki

Jak wynika z obliczeń, w badanym obszarze o powierzchni ok. 40 km² i rozpoznanej miąższości serii węglonośnej 1000 m wytworzyło się 235 mld m³ metanu, podczas, gdy ilość zakumulowanego współcześnie gazu wynosi 7,5 mld m³ (tab. 2). Oznacza to, że w badanym obszarze występuje 3,2% metanu wytworzonego. Stosunek procentowy metanu zakumulowanego do wytworzonego nieznacznie zwiększa się ku górze z 3,04% na poziomie -1590 m npm do 4,88% na poziomie -920 m npm, następnie ponownie spada do 3,49% na poziomie -790 m npm. Najbardziej zasobnym w metan jest poziom najniższy -1590 m npm, jednak wynikać to może z jego największej miąższości (550 m), a zatem większej sumarycznej grubości pokładów i wkładek węglowych. W przypadku pozostałych poziomów obserwowane jest zwiększanie się ilości metanu od poziomów wyżej do niższych położonych (z głębokością). Taki sam trend wykazuje zmienność stopnia uwęglenia, gdyż wzrasta on także z głębokością, o czym świadczy zmniejszająca się średnia zawartość części lotnych w kierunku poziomów głębszych (zgodność z regułą Hilita) (tab. 2). Analizując pojemność sorpcyjną węgla dla metanu w badanym obszarze posłużono się izotermą sorpcji

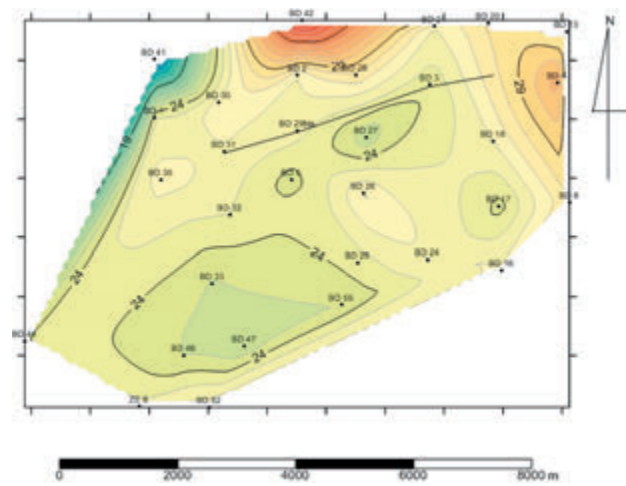


Rys. 2. Zmienność metanonośności na poziomie 1100 m
 1 – izarytma metanonośności [m³/t csw], 2 – otwór wiertniczy, 3 – linia przekroju
 Fig. 2. The variability of methane content on the level of 1100 m
 1 – the line of methane content [m³/t coal daf], 3 – bore-hole, 4 – cross-section line



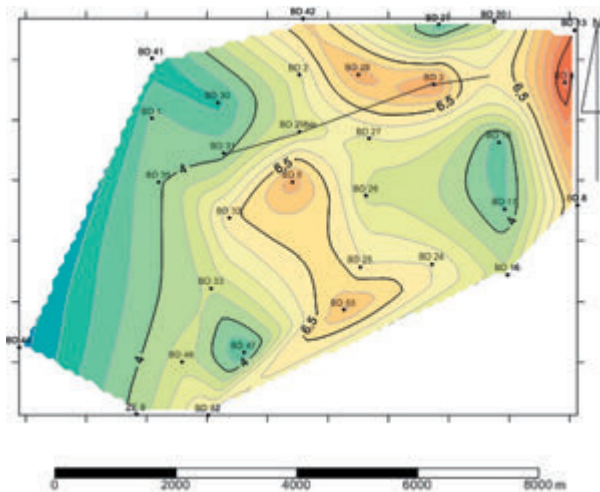
Rys. 3. Zmienność zawartości części lotnych na poziomie 1100 m
1 – izarytma zawartości części lotnych (%), pozostałe oznaczenia jak na rysunku 2

Fig. 3. The variability of volatiles on the level of 1100 m
1 – the line of volatiles (%), the remaining symbols like on fig. 2



Rys. 5. Zmienność zawartości części lotnych na poziomie 1300 m
Oznaczenia jak na rysunku 2 i 3

Fig. 5. The variability of volatiles on the level of 1300 m
The remaining symbols like on fig. 2 and 3



Rys. 4. Zmienność metanonośności na poziomie 1300 m
Oznaczenia jak na rysunku 2

Fig. 4. The variability of methane content on the level of 1300 m
The symbols like on fig. 2

Pionowa zmienność ilości metanu zobrazowana na wykresach (rys. 6) nawiązuje do modelu południowego GZW z zaznaczoną wtórną, podnadkładową strefą gazonośną, w której metan ma pochodzenie głównie bakteryjne i został nagromadzony w okresie miocenijskim i/lub dopłynął z głębiej leżących pokładów [14] [7]. Metanowi sorbowanemu w pokładach w obrębie tej strefy towarzyszy także metan wolny nagromadzony w zwietrzalej partii stropowej karbonu oraz w miocenie. Przy-

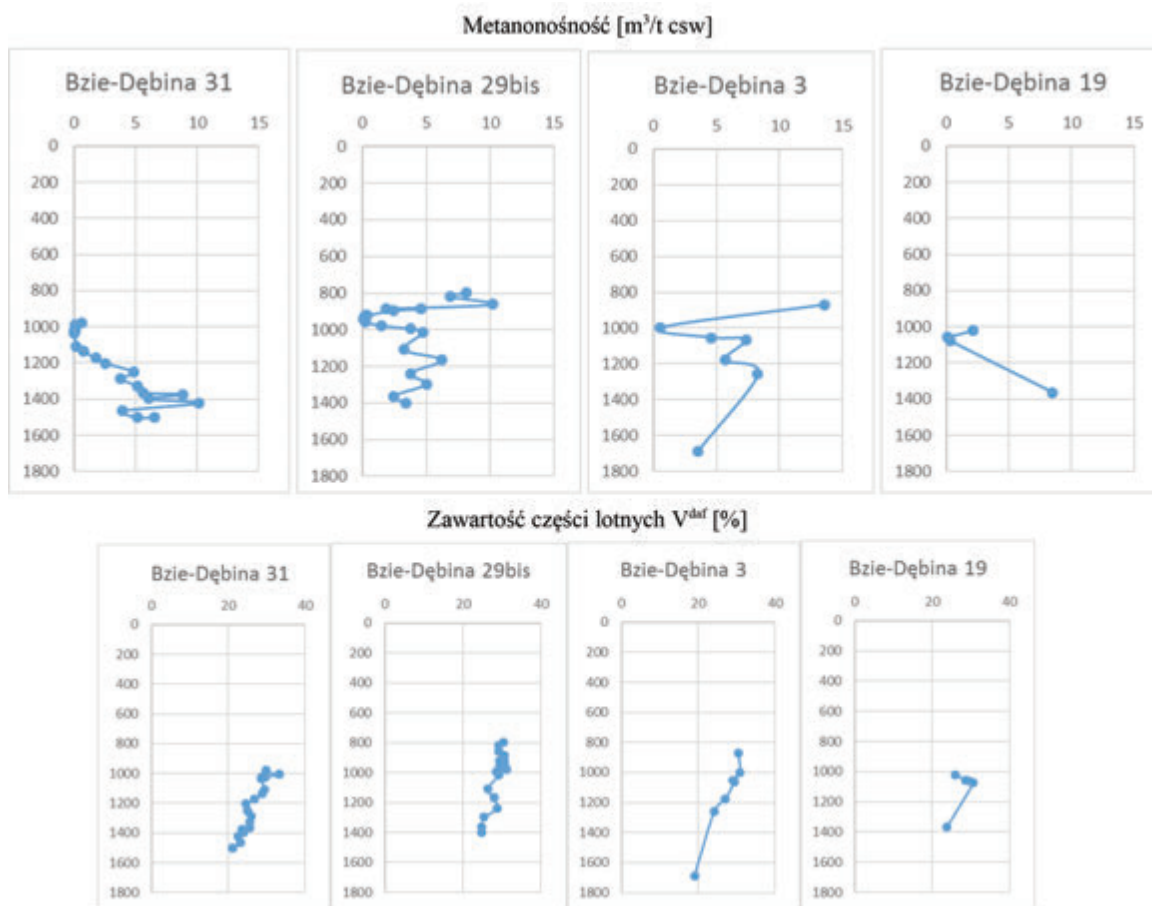
stropowa strefa metanonośna nie wykazuje charakteru ciągłego, są miejsca, w których nie występuje (np. otwór Bzie-Dębina 31). W głębszej partii złoża, w obrębie tzw. podstawowej strefy gazonośnej ilość metanu wzrasta wraz z głębokością do poziomu 1200-1500 m, po czym zaznacza się spadek. Pochodzenie metanu w tej strefie jest termogeniczne, np. [11]. Obie strefy metanonośne – przystropowa oraz podstawowa są wyraźnie rozdzielone strefą obniżonej metanonośności, w której ilość metanu spada prawie do zera. Zawartość części lotnych wykazuje tendencję malejącą wraz z głębokością, przy czym obserwowane są lokalne wahnięcia, por. [19] (rys. 6). Wskazuje to na, o czym wspomiano wcześniej, wzrost stopnia uwęglania pokładów wraz ze wzrostem głębokości występowania pokładów. Maksymalna metanonośność w profilu otworów (8-10 m³/t csw) odpowiada zawartości części lotnych 23-28% na danej głębokości.

Dyskusja

Współczesny rozkład metanonośności złoża w badanym obszarze jest rezultatem historii geologicznej Górnoszląskiego Zagłębia Węglowego, która obejmowała depozycję utworów węglonośnych w późnym karbonie, proces uwęglania substancji humusowej, któremu towarzyszyło wytwarzanie metanu i następnie długotrwałą erozję kompleksu karbońskiego w mezozoiku i paleogenie, w wyniku której znaczna ilość metanu została uwolniona z macierzystych pokładów węgla i w większości przedostała się do atmosfery, np. [4] [11]. Jak

Tab. 3. Zestawienie ilości metanu wytworzonego, pojemności sorpcyjnej węgla oraz zakumulowanego w wybranych obszarach GZW [6] [8] [12] [15]
Tab. 3. Quantity of generated and accumulated methane as well as sorption capacity of coal in selected areas of the USCB [6] [8] [12] [15]

Obszar (km ²)	Masa węgla [mln t]	Metan wytworzony (M _w) [mln m ³]	Pojemność sorpcyjna węgla [mln m ³]	Metan zakumulowany (M _z) [mln m ³]	M _z /M _w (%)
Bzie-Dębina (40)	1 827,88	235 051,20	26 197,23	7 503,88	3
Pawłowice (26)	1 296,54	100 603,52	23 549,46	5 357,90	5
Oświęcim-Polanka (9)	136,14	5 994,83	2 900,00	669,44	11
GZW ogółem część polska (6700)	527 000	48 167 000	3 408 000	365 000	<1



Rys. 6. Metanoność pokładów oraz zawartość części lotnych w otworach wiertniczych zlokalizowanych wzdłuż linii przekroju zaznaczonej na rys. 2-5
Fig. 6. Methane content and volatiles in the bore-holes located on the line of cross-section marked on fig. 2-5

wynika z przeprowadzonego modelowania Genex, w południowej części GZW zostało erozyjne usuniętych 700-1200 m utworów karbońskich [10]. Proces naturalnego odgazowania w południowej części zagłębia został zatrzymany w wyniku sedymentacji ilów mioceńskich, stanowiących obecnie barierę dla migrujących gazów. Efektem tych procesów jest współcześnie obserwowana znacznych rozmiarów odgazowana strefa naturalnej desorpcji, która w badanym obszarze przejawia się w strefie obniżonej metanoności, która rozdziela obie strefy gazonośne (rys. 6).

Kolejnym widocznym skutkiem erozji serii węglonośnej oraz związanej z nią migracji gazów jest zachowane jedynie 3,2% metanu wytworzonego w obrębie analizowanego obszaru oraz znaczne, bo aż 71% niedosycenie pokładów metanem. Podobne skutki są obserwowane zarówno w całym GZW, np. [12], jak i w poszczególnych jego obszarach [6] [8]. Zestawienie porównawcze ilości metanu wytworzonego i zakumulowanego w wybranych obszarach i całym GZW zawiera tabela 3. W porównaniu z innymi obszarami stosunek procentowy metanu zakumulowanego do wytworzonego w badanym obszarze jest niższy. Może to być spowodowane z jednej strony wyższym stopniem uwęglenia pokładów (przewaga węgla koksowego), a więc większą ilością wytworzonych gazów, a z drugiej intensywniejszym naturalnym odgazowaniem górotworu, na co może wskazywać np. urozmaiconą morfologicznie powierzchnia stropowa kompleksu karbońskiego, będąca wynikiem erozji.

W badanym obszarze nie obserwujemy stałego zwiększania się procentowego stosunku ilościowego metanu zakumulowanego do wytworzonego w górę profilu, jak na przykład w

obszarze Pawłowic [6], co oznaczać może dość ograniczone warunki migracji metanu w obrębie górotworu już po osadzeniu się utworów mioceńskich. Efektem tego jest dzisiaj widoczna znacznych rozmiarów strefa odgazowana (rys. 6) i słaba komunikacja mediów pomiędzy obiema strefami metanonośnymi – podnadkładową i głęboką.

Nie obserwuje się ścisłej zależności pomiędzy stopniem uwęglenia pokładów (V^{daf}) a ilością zakumulowanego współcześnie metanu. Zauważona maksymalna metanoność w profilu otworów (8-10 m^3/t csw) odpowiadająca zawartości części lotnych 23-28% na danej głębokości może wskazywać na oddziaływanie tzw. II skoku uwęglenia na ilość zakumulowanego gazu w węglu. II skok uwęglenia odpowiada bowiem przedziałowi V^{daf} 33-20% [17], w którym węgiel traci ponad 10% V^{daf} , nabierając właściwości termoplastycznych (koksujących), co może wywierać wpływ na ilość wytwarzanego metanu oraz późniejszą akumulację metanu w pokładach. Czynniki ten mocno zatarty przez oddziaływanie całego wachlarza pozostałych przyczyn natury geologicznej, może jednak w pewnym stopniu oddziaływać współcześnie na rozkład gazów w badanym obszarze.

Planowana eksploatacja węgla przez JSW w polu Bzie-Dębina-2 Zachód będzie przebiegała w warunkach zmiennego, ale poważnego zagrożenia metanowego dającego się szczególnie we znaki podczas robót przygotowawczych i udostępniających (głębinie szybów, rozcinka złoża). W razie prowadzenia robót górniczych (eksploatacyjnych) w warunkach IV kategorii zagrożenia metanowego konieczne będzie odprowadzanie obecnego w pokładach metanu systemami podziemnego odmetanowania [5] i ubocznej jego produkcji do celów użytkowych

(wytwarzanie ciepła, prądu oraz chłodu) zarówno na potrzeby kopalni jak i odbiorców zewnętrznych z Jastrzębia i okolic.

Podsumowanie

Na podstawie ubytku części lotnych obliczono, że w obszarze Bzie-Dębina o powierzchni ok. 40 km² i rozpoznanej geologicznie miąższości utworów węglonośnych 1000 m wytworzyło się 235 mld m³ metanu, z czego do dnia dzisiejszego zachowało się 7,5 mld m³ metanu, czyli 3,2%. Ilość ta nie uwzględnia wtórnych akumulacji metanu bakteryjnego oraz migracyjnego bezpośrednio pod nakładem mioceńskim, gdyż nie powstały one wskutek procesów termogenicznych w miejscu występowania. Ilość współcześnie zakumulowanego metanu nie zapewnia także pełnego nasycenia pokładów tym gazem, których pojemność sorpcyjna oszacowana została na 26,2 mld m³ metanu. Oznacza to ponad 71% niedosycenie pokładów metanem. Ilość metanu współcześnie zakumulowanego

w badanym obszarze w stosunku do metanu wytworzonego jest mniejsza niż w innych przebadanych pod tym względem obszarach oraz nie obserwuje się rosnącego stosunku procentowego pomiędzy metanem zakumulowanym i wytworzonym w górę profilu, co może wskazywać na (i) większy stopień uwęglenia w badanym obszarze (przewagę węgla koksowego w profilu), a zatem na większy potencjał generacyjny węgla oraz (ii) ograniczoną migrację metanu pomiędzy podnakładową i głęboką strefą gazonośną po osadzeniu się ilów mioceńskich. Zaobserwowane skojarzenie maksymalnej metanonośności pokładów w profilu otworów z przedziałem V^{daf} 23-28%, odpowiadającym II skokowi uwęglenia, może stanowić przesłankę oddziaływania tego czynnika, aczkolwiek mocno zatartego przez inne czynniki geologiczne, na współczesny rozkład metanonośności w badanym obszarze. Przyszła eksploatacja górnicza w obszarze Bzie-Dębina 2 Zachód będzie przebiegała w warunkach zmiennego, ale znacznego zagrożenia metanowego z możliwą koniecznością wprowadzenia odmetanowania.

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki na podstawie decyzji numer DEC-2013/11/B/ST10/00253

Literatura

- [1] Bońda, R., Siekiera, D. *Mapa koncesji na poszukiwanie, rozpoznawanie i wydobywanie złóż węgla kamiennego i metanu pokładów węgla na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego według stanu na dzień 29.02.2016 r.* Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2016 (<http://geoportal.pgi.gov.pl/>)
- [2] Chroszcz, H. *Możliwości zwiększenia bazy zasobowej w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A.* Mat. XIX Konf. „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, 2009, Kraków: 71 – 78, ISBN 978-83-60195-72-7
- [3] Hołda, J., Nodzeński, A., Chudzik, W. *Sorpcja metanu na węglach kamiennych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w zależności od ciśnienia i temperatury.* W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.* R. Ney, M. Kotarba (red), Centrum PPGSMiE PAN, Kraków, 1995: 159 – 167, ISBN 83-86286-65-2
- [4] Kędzior, S. *Accumulation of coal-bed methane in the south-west part of the Upper Silesian Coal Basin (southern Poland).* International Journal of Coal Geology, 2009 v. 80: 20 – 34, ISSN 0166-5162
- [5] Kędzior, S. *Możliwości zagospodarowania metanu występującego w stropowych partiach złóż węgla Bzie-Dębina oraz Gólkowic (Górnośląskie Zagłębie Węglowe).* Polityka Energetyczna, 2011, t. 14, z. 1: 197-212, PL ISSN 1429-6675
- [6] Kędzior, S. *Potencjał metanotwórczy węgla kamiennych w odniesieniu do ich pojemności sorpcyjnej oraz współczesnej ilości zakumulowanego metanu termogenicznego w złożu Pawłowice (Górnośląskie Zagłębie Węglowe).* Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN, 2014, nr 88, Kraków: 119 – 134. ISSN 2080-0819
- [7] Kędzior, S. *Przystropowa strefa gazonośna w utworach karbonu południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego – występowanie, parametry zbiornikowe węgla oraz możliwości pozyskania metanu.* Wyd. UŚ. Katowice, 2012. ISBN 978-83-226-2093-9, ISSN 0208-6336
- [8] Kędzior, S. *Szacowanie ilości metanu wytworzonego i zakumulowanego w nisko uwęglonych pokładach węgla na przykładzie złoża Oświęcim-Polanka (Górnośląskie Zagłębie Węglowe).* Górnictwo Odkrywkowe, 2015 LV 2: 54 – 61. ISSN 0043-2075
- [9] Kopp, O.C., Bennett, III, M.E., Clark, C.E. *Volatiles lost during coalification.* International Journal of Coal Geology, 2000, v. 44: 69–84, ISSN 0166-5162
- [10] Kosakowski, P., Botor, D., Kotarba, M. *Próba oceny wielkości erozji i warunków paleotermicznych utworów węglonośnych górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.* W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.* R. Ney, M. Kotarba (red), Centrum PPGSMiE PAN, Kraków, 1995: 41 – 51, ISBN 83-86286-65-2

- [11] Kotarba, M., Pękała, Z., Daniel, J., Więclaw, D., Smolarski L. *Rozkład głębokościowy zawartości metanu i węglowodorów wyższych w utworach węglonośnych górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*, R. Ney, M. Kotarba (red), Centrum PPGSMiE PAN, Kraków, 1995: 175 – 180, ISBN 83-86286-65-2
- [12] Kotarba, M., Ney, R. *Węglowodory w utworach węglonośnych górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*, R. Ney, M. Kotarba (red), Centrum PPGSMiE PAN, Kraków, 1995: 7 – 24, ISBN 83-86286-65-2
- [13] Kotarba, M.J., Lewan, M.D. *Characterizing thermogenic coalbed gas from Polish coals of different ranks by hydrous pyrolysis*. *Organic Geochemistry*, 2004 v. 35: 615 – 646. ISSN 0146-6380
- [14] Kotarba, M.J., Pluta, I. *Origin of natural waters and gases within the Upper Carboniferous coal-bearing and autochthonous Miocene strata in South-Western part of the Upper Silesian Coal Basin, Poland*. *Applied Geochemistry*, 2009 v. 24: 876 – 889, ISSN 0883-2927
- [15] Kotas, A., Kwarciński, J., Jureczka, J. *Methods of the estimation of coal bed methane reserves in the Silesia Coal Basin. Workshop on the Recovery and End-Use of Coal Bed Methane*, Katowice, 1992
- [16] Kowalski, A., Kotarba, M., Semyrka, G., *Model i bilans generowania gazów z pokładów węgla utworów górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*, R. Ney, M. Kotarba (red), 1995, Centrum PPGSMiE PAN, Kraków: 99 – 113. ISBN 83-86286-65-2
- [17] Kruszewska, K., Dybova – Jachowicz, S. *Zarys petrologii węgla*. Wyd. UŚ, 1997, Katowice, ISSN 0239-6432
- [18] Krzanowska, A. *Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego Bzie-Dębina 1 w kategorii C₁, C₂*, 2005, CAG PIG Warszawa (nie publ.)
- [19] Probierz, K., Marcisz, M., Sobolewski, A. *Od torfu do węgla koksowych monokliny Zofiówki w obszarze Jastrzębia (południowo-zachodnia część Górnośląskiego Zagłębia Węglowego)*. Wyd. Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze, 2012, ISBN 978-83-930194-2-7
- [20] Sporek C., *Dokumentacja geologiczna złoża węgla kamiennego rej. Bzie-Dębina – warunki gazowe*, 1988, Arch. KPG Katowice (nie publ.)



Kopalnia Trzuskawica S.A.

fot. A. Borowicz