

Sławomir KĘDZIOR*

Potencjał metanotwórczy węgla kamiennych w odniesieniu do ich pojemności sorpcyjnej oraz współczesnej ilości zakumulowanego metanu termogenicznego w złożu Pawłowice (Górnośląskie Zagłębie Węglowe)

Streszczenie: Metan występujący w złożach węgla kamiennego powstaje przede wszystkim wskutek przemian termokatalitycznych substancji węglowej podczas procesu uwęglania. Jednym ze wskaźników ilości wytworzonych gazów jest m.in. ubytek części lotnych (V^{daf}), tzn. im większy ubytek V^{daf} , tym należy oczekiwać większej ilości wytworzonych gazów. W związku z tym podjęto próbę oszacowania możliwej ilości wytworzonego metanu w obrębie złoża węgla Pawłowice na podstawie współczesnej zawartości części lotnych w węglu. Podstawę obliczeń stanowi jeden z modeli generowania metanu z pokładów węgla opracowany przez Kowalskiego i in. (1995). Na jego podstawie oszacowano, że w omawianym złożu wytworzyło się 100 604 mln m^3 metanu. Szacunek ten porównano z potencjalną pojemnością gazową węgla z omawianego złoża skalkulowaną na 23 549 mln m^3 gazu na podstawie danych uzyskanych z izoterm sorpcji metanu, a także z obliczoną ilością współcześnie zakumulowanego metanu termogenicznego ze złoża wynoszącą około 5 358 mln m^3 . Otrzymane różnice pomiędzy wytworzoną i zakumulowaną współcześnie ilością gazu mają znaczenie interpretacyjne zarówno co do rozmiarów migracji metanu i odgazowania serii węglonośnej w przeszłości geologicznej, jak i możliwości ekonomicznego pozyskania tego gazu. Skalkulowane na podstawie doświadczeń amerykańskich zasoby przemysłowe metanu wynoszą 373,69 mln m^3 .

Zależność pomiędzy ilością wygenerowanego metanu i współczesnymi jego zasobami jest znana w skali całego Górnośląskiego Zagłębienia Węglowego (GZW) i sprawdza się także w przypadku pojedynczego i dobrze rozpoznanego otworowo złoża węgla Pawłowice.

Słowa kluczowe: metan termogeniczny, węgiel kamienny, części lotne, II skok uwęglania, Górnośląskie Zagłębienie Węglowe

* Dr hab., Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Sosnowiec; e-mail: slawomir.kedzior@us.edu.pl

Methane-productive potential of coal in relation to sorption capacity and current quantity of thermogenic methane accumulated in coal deposit Pawłowice (the Upper Silesian Coal Basin)

Abstract: Methane associated with deposits of hard coal generates mainly as a result of thermal alterations of coal substance during coalification process. The one of quantitative indicators of generated gases is among others the volatiles (V^{daf}) loss, i.e. more V^{daf} loss involves more quantities of generated gases. Owing to this, the attempt was made to assess the possible quantities of generated gas within Pawłowice coal deposit based on the present V^{daf} content in coal. The base of calculation is one of patterns of methane generation from coal seams worked out by Kowalski et al. (1995). On the ground of this, 100,604 mln m^3 of generated methane within the area of research was estimated. This estimation was compared with sorption capacity of coal which was calculated based on sorption isotherms at 23,549 mln m^3 and also with calculated value of currently accumulated thermogenic methane in coal deposit, which amounts about 5,358 mln m^3 . The obtained differences between the quantities of generated and currently accumulated methane have an interpretive meaning with reference to both scale of methane migration and degassing of coal series in geological past, and also possibilities of economic using for methane. Based on American experiences the economic reserves of methane for the investigated area were calculated at 373.69 mln m^3 .

The dependence between the quantities of generated methane and current methane resources is well-known in the whole of the Upper Silesian Coal Basin and the same trend is observed in case of individual Pawłowice coal deposit which is well geologically prospected by the bore-holes.

Key words: thermogenic methane, hard coal, volatiles, the second coalification jump, the Upper Silesian Coal Basin.

Wprowadzenie

Metan towarzyszący formacjom węglonośnym, genetycznie związany z substancją węglową, zarówno skupioną w pokładach węgla, jak i rozproszoną w skałach osadowych, powstaje przede wszystkim na drodze przemian termokatalitycznych materii organicznej, stanowiąc jeden z produktów tych przemian. Decydującymi procesami zmierzającymi do wytworzenia metanu jest stopniowe pograżanie serii węglonośnej, z czym związany jest wzrost temperatury i ciśnienia. Towarzyszące temu przemiany substancji węglowej polegają głównie na zmniejszeniu udziału pierwiastka wodoru i zwiększeniu pierwiastka węgla. Wraz z postępującym procesem uwęglania maleje zawartość części lotnych (V^{daf}) i następuje wydzielanie się różnych produktów, m.in. dwutlenku węgla, metanu oraz wody (np. Kopp et al. 2000). Charakterystycznym punktem na ścieżce uwęglania jest tzw. II skok uwęglania, odpowiadający mniej więcej granicy pomiędzy węglami energetycznymi i koksowymi, podczas którego węgiel nabywa właściwości termoplastycznych i może podlegać procesowi koksowania (Kruszewska i Dybova-Jachowicz 1997; Teichmuller 1989). Podczas II skoku uwęglania węgiel traci około 10% V^{daf} , co pociąga za sobą wytwarzanie metanu i innych produktów. Oznacza to, że im większy ubytek V^{daf} , tym należy oczekiwać większej ilości wytworzonych gazów.

Jak wykazały badania izotopowe, metan i jego gazowe homologi powstały w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) głównie wskutek przemian termokatalitycznych związanych z powstawaniem węgla kamiennych w późnym karbonie i proces ten zakończył się wraz z fazą asturyjską, około 290 mln lat temu (np. Kotarba 1980, 2001). Kolejne badania procesu temperaturowo-uwęgleniowego w GZW przy zastosowaniu metody trakowej i helowej (Botor 2014) raczej wykluczyły wznowienie procesu uwęglania na szeroką skalę i wytwarzanie metanu w czasie późniejszym. Przyjmuje się natomiast wytwarzanie i aku-

mulację metanu mikrobialnego wtórnego w czasie okolołomocieńskim wskutek infiltracji wód zawierających pożywkę dla bakterii metanowych (Kotarba i Pluta 2009).

W połowie lat dziewięćdziesiątych XX wieku podjęto próbę oszacowania ilości metanu wytworzonego oraz pojemności gazowej pokładów węgla w GZW (np. Kotarba i Ney 1995). Z szacunków tych wynika, że z substancji węglowej wytworzyło się około 84 bln m³ metanu, z czego na pokłady węgla przypada około 48 bln m³, reszta na rozproszoną substancję węglową w skałach płonnych. Potencjalna pojemność gazowa utworów węglonośnych oszacowana została na około 5,5 bln m³ metanu, w tym pokładów węgla około 3,4 bln m³ (Kotarba i Ney 1995), zatem jest dużo niższa od ilości wytworzonych gazów. Zasoby perspektywiczne metanu obliczone na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku (np. Kotas et al. 1992) wynoszą około 365 mld m³, a więc jeszcze mniej niż podane wielkości.

Celem artykułu jest próba oszacowania ilości metanu wytworzonego, pojemności gazowej węgla oraz ilości współcześnie zakumulowanego gazu w złożu węgla Pawłowice, które znajduje się na południu GZW i charakteryzuje się znaczną metanonośnością pokładów węgla. Podjęto także próbę oszacowania zasobów przemysłowych metanu jako kopaliny głównej.

Niniejszy artykuł miał także na celu sprawdzenie, jak poznana w GZW zależność pomiędzy ilością metanu wytworzonego, zakumulowanego i pojemności sorpcyjnej węgla sprawdza się w przypadku pojedynczego i dobrze rozpoznanego otworowo złoża węgla Pawłowice.

1. Charakterystyka geologiczno-zasobowa złoża Pawłowice

Złoże węgla kamiennego Pawłowice znajduje się w południowej części GZW pomiędzy dyslokacją Bzie-Czechowice na południu i rejonami perspektywicznymi Warszowice-Pawłowice Północ i Studzionka-Mizerów na północy. Od wschodu omawiane złożo graniczy z rejonem Kobiór-Pszczyna, a od zachodu z Kopalnią Węgla Kamiennego Pniówek (rys. 1). W tych granicach złożo zajmuje 26 km² powierzchni. Zachodnia część złoża, nazwana polem Pawłowice 1 (rys. 1), przylegająca do obszaru górniczego KWK Pniówek, objęta jest koncesją wydobywczą węgla, należąca do Jastrzębskiej Spółki Węglowej (JSW), która od 2012 r. prowadzi działania zmierzające do wszczęcia eksploatacji w Polu Pawłowice polegające na odwierceniu zespołu otworów rozpoznawczych oraz drażeniu wyrobisk przygotowawczych i eksploatacyjnych.

Złoże Pawłowice jest rozpoznane w kategorii C₁ siatką ponad 35 otworów o głębokości >1000 m i odległości od siebie około 1 km. W budowie geologicznej złoża do głębokości udokumentowania (ok. 1500 m) wyróżnić można utwory karbonu górnego (seria złożowa), miocenu oraz czwartorzędu (nadkład).

Utwory karbońskie reprezentowane są przez serię mułowcową o miąższości około 1300 m oraz górnośląską piaskowcową, które różnią się od siebie udziałem piaskowców w profilu oraz regularnością występowania pokładów węgla na korzyść tej drugiej. Oprócz piaskowców obecne są także iłowce oraz mułowce, które przeważają nad piaskowcami w obrębie serii mułowcowej. Leżące powyżej serii węglonośnej utwory miocenijskie wykształcone są głównie w postaci iłów oraz sporadycznie utworów piaszczystych. Przeciętna miąższość utworów miocenijskich wynosi 200 m i zwiększa się w kierunku południowym do ponad

500 m w strefie uskoku Bzie-Czechowice. Osady czwartorzędu pokrywające badany obszar w całości stanowią mułki, piaski oraz żwiry akumulacji lodowcowej i rzecznej.

Pod względem tektonicznym badany obszar obejmuje fragment południowego skrzydła niecki głównej, warstwy zapadają w kierunku północnym oraz północno-wschodnim pod kątem kilku stopni, jedynie w pobliżu uskoków występują lokalne podgięcia warstw i zwiększenie kąta upadu. Sieć uskokowa w omawianym złożu jest stosunkowo gęsta, główną dyslokacją jest uskok Bzie-Czechowice o orientacji NW-SE i zrzucie kilkuset metrów na południe oraz o rozpoznanych kilku szczelinach uskokowych. Jest to dyslokacja regionalna w skali GZW. Oprócz niej występuje także szereg mniejszych uskoków o zrzutach od kilku do kilkudziesięciu metrów, różnych kierunkach przebiegu, dzielących złoża na bloki różnej wielkości.

W złożu występuje węgiel energetyczny (typu 31-33) o zawartości części lotnych rzędu 36–28% oraz koksowy (typu 34-35) o zawartości części lotnych poniżej 28%. Średnia wartość opałowa dla całego złoża wynosi 26 MJ/m³ a przeciętna zawartość siarki mieści się w przedziale 0,5–0,6%.

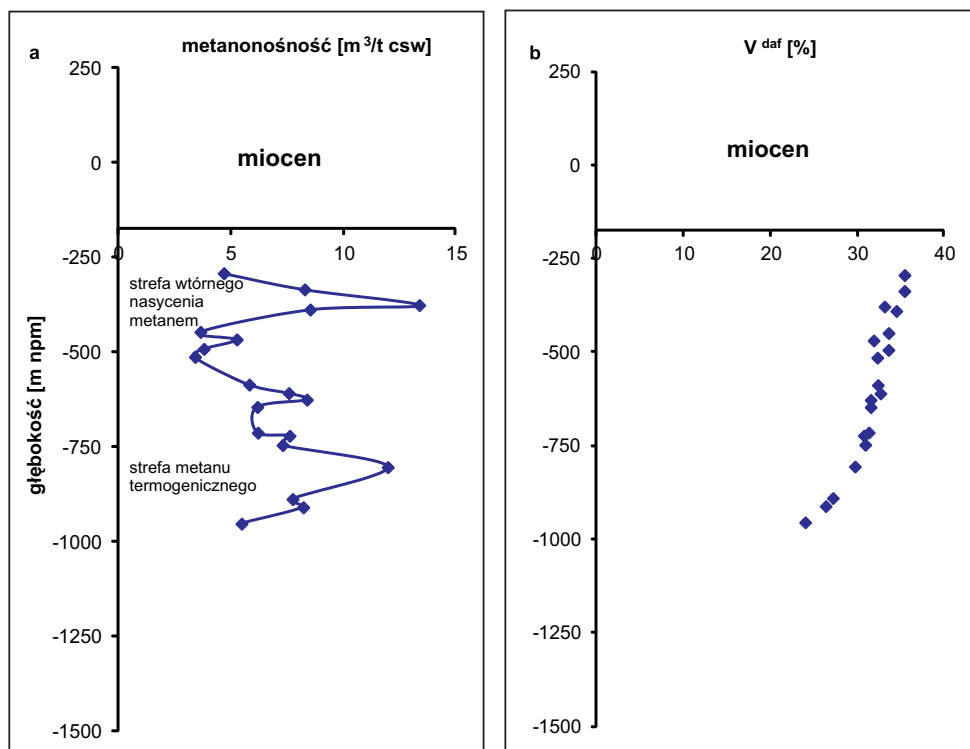
Zasoby bilansowe węgla w niezagospodarowanym rejonie Pawłowice według stanu na koniec 2013 r. wynosiły 414,3 mln ton, natomiast w zagospodarowywanym przez JSW rejonie „Pawłowice 1” zasoby te oszacowano na 303,8 mln ton węgla (Szuflicki i in., red. 2014).

Metan występuje praktycznie w całym profilu utworów węglonośnych złoża. Najwięcej tego gazu nagromadziło się w partii stropowej utworów karbońskich (strefa wtórnego nagromadzenia metanu o metanonośności pokładów do 20 m³/t czystej substancji węglowej, csw) oraz w tzw. strefie głębokiej, której górną granicę stanowi powierzchnia wyznaczona przez izarytmę metanonośności równą 4,5 m³/t csw. W obrębie tej strefy metanonośność pokładów wynosi do kilkunastu m³/t csw. Obie strefy nagromadzenia metanu rozdziela interwał obniżonej metanonośności (rys. 2a), którego występowanie jest zróżnicowane aż do całkowitego zaniku w niektórych rejonach. W omawianym złożu metanonośność pokładów zasadniczo zwiększa się w kierunku zachodnim i południowym. Oszacowano zasoby bilansowe metanu jako kopaliny towarzyszącej węglowi kamiennemu na 3,6 mld m³ w polu Pawłowice 1 (Szuflicki i in., red 2014).

2. Metodyka

Podstawą opracowania są archiwalne wyniki metanonośności i zawartości części lotnych (V^{daf}) pokładów węgla oraz dane dotyczące typu węgla przechowywane w Narodowym Archiwum Geologicznym w Warszawie oraz jego oddziale w Sosnowcu. Dane te posłużyły do konstrukcji wykresów zmienności pionowej (rys. 2 a i b), a także map stropu pokładów metanowych oraz węgla koksowych (rys. 3 i 4) i ponadto do obliczenia teoretycznej ilości wytworzonych gazów.

Podstawę tych obliczeń stanowi jeden z modeli generowania metanu z pokładów węgla opracowany przez Kowalskiego i in. (1995). Polega on na założeniu, że w miarę wzrostu stopnia uwęglenia pokładów (zmniejszania się zawartości części lotnych) uwalnia się z substancji węglowej coraz więcej metanu. Przykładowo, spadek V^{daf} o 1% powoduje wytworzenie metanu w ilości 7,1 m³/tonę węgla, spadek o 10% – 73,5 m³/tonę, a o 35%



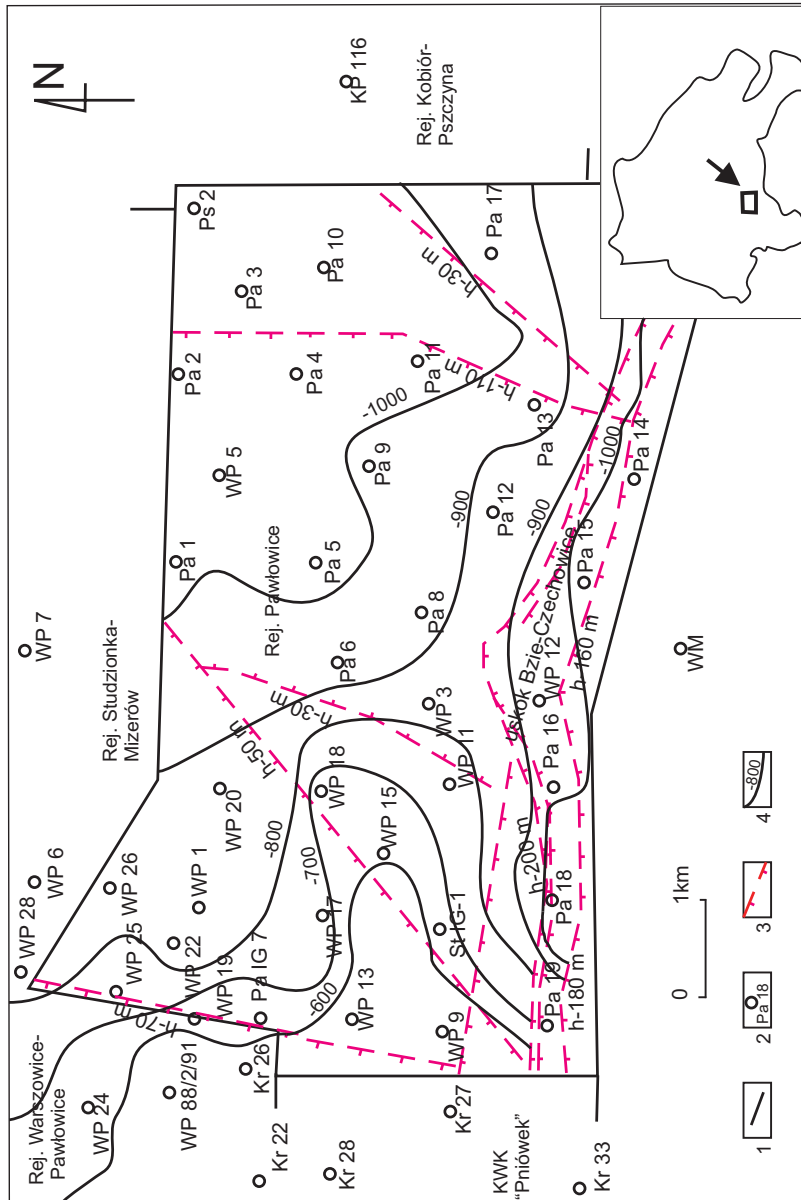
Rys. 2. Zmienność metanonośności (a) oraz zawartości części lotnych V_{daf} (b) z głębokością w obszarze Pawłowice

Fig. 2. Variability of methane contents (a) and volatiles V_{daf} (b) with depth in Pawłowice area

odpowiednio 255,8 m³/tonę (Kowalski i in. 1995). Model ten zakłada początek wytwarzania gazów termokatalitycznych na poziomie V_{daf} równym 40% (przybliżona granica pomiędzy węglem brunatnym i kamiennym). Na niższym stopniu uwęglenia (etap węgla brunatnego i torfu) wytwarzają się wprawdzie gazy, lecz brak dobrze rozwiniętej mikroporowatej struktury oraz szczelnego nadkładu powoduje, że gazy te nie zachowują się w strukturze węgla (Kowalski i in. 1995). Początek wytwarzania metanu termokatalitycznego na poziomie 40% przyjęto także w niniejszym opracowaniu.

Wielkość potencjalnej ilości wytworzonego metanu uzyskano mnożąc jednostkową ilość metanu wygenerowanego przypadającą na 1 tonę czystej substancji węglowej (adekwatną do ubytku części lotnych w stosunku do 40%) przez całkowitą liczbę ton węgla na poziomie obliczeniowym (całkowitą masę węgla).

Uzyskany szacunek ilości wytworzonych gazów porównano z potencjalną pojemnością gazową węgla z omawianego złoża skalkulowaną na podstawie danych uzyskanych z izoterm sorpcji metanu (Kędzior 2012), a także z obliczoną ilością współcześnie zakumulowanego metanu termogenicznego w złożu. Ilość tę oszacowano metodą objętościową zgodnie z metodą obliczania zasobów metanu jako kopaliny towarzyszącej na podstawie dokumentacji geologicznej złoża Pawłowice (Krzanoska 2002) rozszerzając zakres głębokościowy sza-

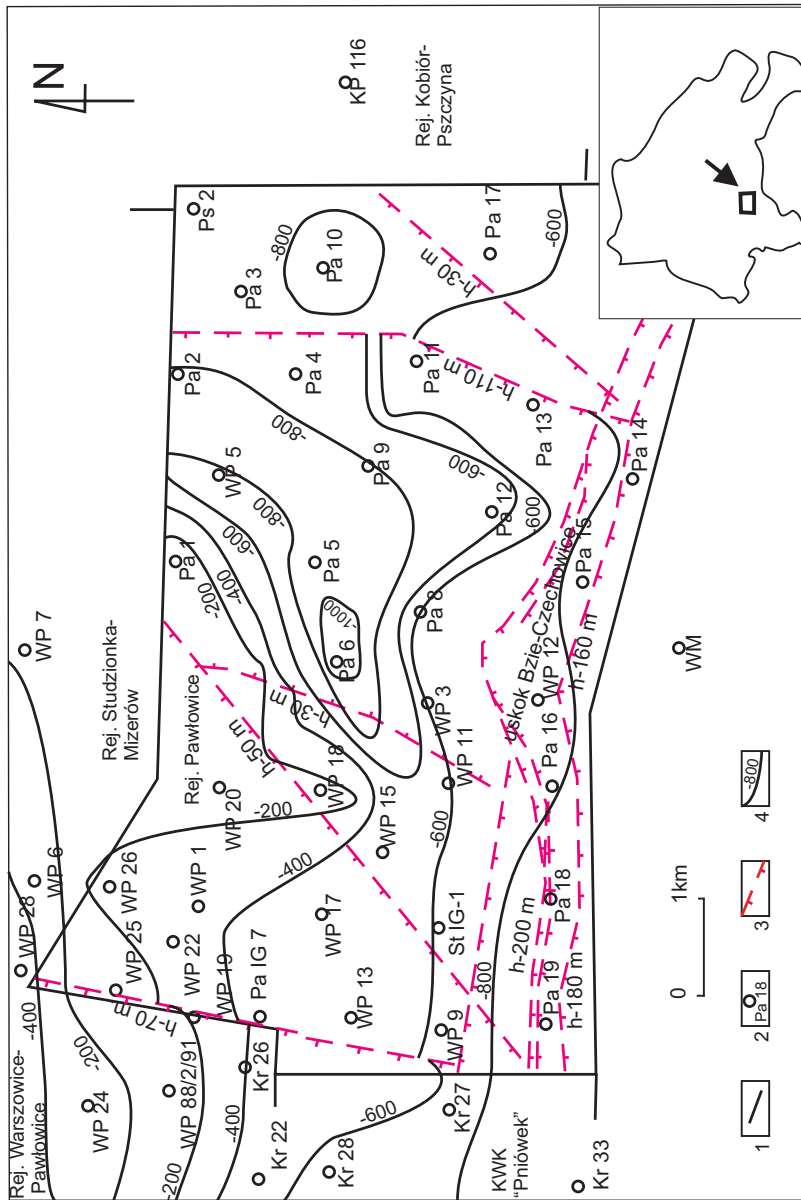


Rys. 3. Strop węgla koksowych (typu 35) w obszarze Pawłowice (na podstawie Kędzior 2008b, zmodyfikowane)

1 – granica obszaru, 2 – otwór wiertniczy, 3 – uskók, 4 – izarytma stropu pokładów węgla koksowego [m n.p.m.]

Fig. 3. Top of coking coals (type 35) in Pawłowice area (modified after Kędzior 2008b)

1 – boundary of the area, 2 – bore hole, 3 – fault, 4 – isoline of the top of coking coal seams [m above sea level]



Rys. 4. Strop strefy wysokometanowej (o metanonośności pokładów $M > 4,5 \text{ m}^3/\text{t}$ csw) w obszarze Pawłowice (na podstawie Kędzior 2008b, zmodyfikowane)

1 – granica obszaru, 2 – otwór wiertniczy, 3 – uskók, 4 – izarytma stropu pokładów o metanonośności $> 4,5 \text{ m}^3/\text{t}$ csw [m n.p.m.]

Fig. 4. Top of high-methane zone (with methane content of coal seams $M > 4,5 \text{ m}^3/\text{t}$ coal daf) in Pawłowice area (modified after Kędzior 2008b)

1 – boundary of the area, 2 – bore hole, 3 – fault, 4 – isoline of the top of coal seams with methane content $> 4,5 \text{ m}^3/\text{t}$ coal daf [m above sea level]

cowania do granicy rozpoznania złoża (ok. -1250 m n.p.m.), która dla potrzeb niniejszego opracowania stanowi także granicę obliczenia ilości wytworzonego metanu. Ilość zakumulowanego współcześnie metanu obliczono ze wzoru:

$$V_{CH_4} = Q \cdot A \cdot B (M_{\dot{S}R} - M_R) \cdot W_T \quad (1)$$

gdzie:

- V – zasoby metanu [m^3],
- Q – zasoby węgla [tony],
- A – współczynnik powiększający zasoby węgla o pokłady i wkładki węglowe nieudokumentowane,
- B – współczynnik przeliczeniowy całkowitych geologicznych zasobów węgla na całkowite geologiczne zasoby czystej i suchej substancji węglowej [csw],
- $M_{\dot{S}R}$ – średnia arytmetyczna metanonośności w m^3CH_4/t csw w interwale obliczeniowym,
- M_R – metanonośność resztkowa w $m^3CH_4/tonę$ csw, określona metodą degazacji próżniowej,
- W_T – współczynnik temperaturowy (0,9017) określający zasoby gazu w warunkach normalnych (0°C, 760 mm Hg).

W celu zobrazowania przestrzennego rozkładu ilości metanu zgodnie z głębokością, obliczeń dokonano w rozbiciu na poziomy dokumentacyjne przyjęte za Krzanowską (2002) (tab. 1). Dodano interwał od ostatniego poziomu dokumentacyjnego (-740 m n.p.m.) do granicy rozpoznania złoża (ok. -1250 m n.p.m.) oraz zrezygnowano z poziomu przystropowego (powyżej -300 m n.p.m.) z uwagi na to, że w stropowej partii złoża może występować przede wszystkim metan pochodzenia mikrobialnego oraz migracyjnego (np. Kędzior 2011; Kotarba i Pluta 2009), w związku z czym jego ilość w omawianym interwale prawdopodobnie nie jest związana z procesem uwęglania (ubytkiem części lotnych) dotyczącym węgla leżącego na tej głębokości. Głębiej zwiększa się udział gazu o genezie termokatalitycznej (np. Kotarba i Ney 1995), a więc można oczekiwać większej zależności pomiędzy ubytkiem V^{daf} i ilością wytworzonego metanu. Dlatego zdecydowano się uwzględnić interwał głębokościowy obliczeń począwszy od poziomu -300 m n.p.m. (ok. 550 m p.p.t.) do głębokości rozpoznania złoża (ok. -1250 m n.p.m., 1500 m p.p.t.).

Ponadto przeanalizowano zmienność pionową metanonośności oraz V^{daf} na podstawie wykresów oraz poziomą, porównując mapy stropu strefy wysokometanowej i stropu występowania węgla koksowych (typu 35). Zwrócono szczególną uwagę na pokrycie się pierwotnego (głębokiego) maksimum metanonośnego ze zmianą gradientu spadku V^{daf} (skokiem uwęglania) (rys. 2 a i b) oraz na zbieżność przebiegu izarytm na mapach (rys. 3 i 4) w celu sprawdzenia czy i w jakim zakresie procesy związane z II skokiem uwęglania wywarły wpływ na współczesne występowanie gazów w badanym rejonie.

TABELA 1. Ilość metanu wytworzonego, współcześnie zakumulowanego oraz pojemność sorpcyjna pokładów w rozbiću na poziomy obliczeniowe
 TABLE 1. Quantity of generated and currently accumulated methane with sorption capacity of coal divided in calculation levels

Poziom [m n.p.m.]		Miaższość poziomu [m]	Masa pokładów węgla csw [mln ton]	Początkowe V _{dat} [%]	V _{dat} średnie dla poziomu [%]	Ubytek V _{dat} [%]	Jednostkowa ilość wytworzonego metanu [m ³ /tonę]	Całkowita ilość wytworzonego metanu [mln m ³] (G)	Pojemność sorpcyjna węgla [mln m ³] (S)	Skalkulowana współczesna ilość metanu [mln m ³] (M)	Stosunek [%]	
od	do										S/G	M/G
-300	-425	125	49,40	40	37	3	21,8	1 077,00	839,86	332,43	78	31
-425	-580	155	116,36	40	34	6	44,0	5 119,85	2 210,84	418,21	43	8
-580	-740	160	144,78	40	33	7	51,4	7 441,53	2 750,76	708,57	37	10
-740	-1250	510	986,00	40	28	12	88,2	86 965,15	17 747,99	3 898,68	20	4
SUMA			1 296,54					100 603,52	23 549,46	5 357,90	23	5

3. Wyniki i dyskusja

W tabeli 1 przedstawiono wyniki dotyczące potencjalnej ilości wytworzonego metanu wskutek ubytku części lotnych, wielkości pojemności sorpcyjnej pokładów węgla oraz współczesnej ilości zakumulowanego metanu w rozbiciu na trzy poziomy dokumentacyjne (według Krzanowskiej 2002) oraz jeden poziom dodatkowy do poziomu –1250 m n.p.m. (granicy rozpoznania złoża Pawłowice).

W omawianym złożu w całym przedziale głębokości wytworzyło się ogółem ponad 100 603 mln m³ metanu, z czego najwięcej (86 965 mln m³) przypada na poziom najgłębszy od –740 m n.p.m. do granicy rozpoznania złoża. Jest to uwarunkowane przede wszystkim największą miąższością poziomu (około 500 m) i co się z tym wiąże większym udziałem pokładów i wkładek węgla, będących głównymi ośrodkami wytwarzającymi metan. Nie bez znaczenia jest także największa głębokość poziomu, a zatem i największy ubytek części lotnych (prawo Hilita), co pociąga za sobą największą ilość wytworzonych gazów (w tym metanu).

Jednak zarówno pojemność sorpcyjna węgla w tym interwale (17 748 mln m³ metanu), jak i współczesna ilość zakumulowanego metanu (3 899 mln m³) są dużo niższe niż przytoczona wcześniej ilość wytworzonego metanu. Zdolność sorpcyjna węgla to 20%, a współcześnie zakumulowany metan stanowi zaledwie 4% metanu potencjalnie wytworzonego.

Poziomy leżące wyżej cechują się korzystniejszym stosunkiem procentowym powyższych wielkości do ilości wytworzonego gazu – odpowiednio 37–78% i 10–31%, z tendencją zwykłą w miarę zmniejszania się głębokości (tab. 1). Może być to związane po pierwsze z malejącą ilością wytworzonego metanu w miarę zwiększania się zawartości części lotnych na mniejszej głębokości, a po drugie z coraz większym udziałem metanu migracyjnego (wytworzonego poza macierzystymi pokładami węgla). Jak wykazały badania izotopowe (np. Kotarba, Ney 1995) do głębokości 1000 m (–740 m n.p.m. w badanym rejonie) występują głównie gazy migracyjne, pochodzące z głębszych poziomów utworów węglonośnych, natomiast poniżej tej głębokości dominują gazy autochtoniczne, występujące w pokładach, w których powstały. Niski, bo zaledwie czteroprocentowy udział gazów zakumulowanych w stosunku do wytworzonych w interwale najgłębszym oraz pięcioprocentowy w całym analizowanym profilu (tab. 1) sugeruje, że ogromna ilość metanu (rzędu 95% gazów wytworzonych) opuściła macierzyste węgle i następnie migrowała albo w kierunku wyżej leżących pokładów, które były w stanie zaadsorbować migrujący gaz, albo do atmosfery. Działo się tak z powodu znacznie większej ilości wytworzonych gazów w stosunku do pojemności gazowej pokładów węgla. Dla badanego obszaru węgiel jest w stanie pomieścić przeciętnie około 20% wytworzonego metanu (tab. 1). Liczne publikacje podają, że istotną przyczyną tak znacznego transferu metanu było stopniowe podnoszenie górotworu karbońskiego i jego erozja w mezozoiku i paleogenie. Akumulacja iłów w miocenie, które pokrywają utwory węglonośne w całym badanym obszarze spowolniła lub zatrzymała ten proces (np. Kędzior 2009; Kotarba 1980, 2001; Kotarba et al. 1995; Kotas, red. 1994; Kwarciniński, Hadro 2008; Tarnowski 1989). Może to tłumaczyć stopniowo zwiększający się udział gazów zakumulowanych w stosunku do wytworzonych na płyciej położonych poziomach (tab. 1).

Kolejnym zagadnieniem związanym z przywołanym problemem, jest małe nasycenie pokładów węgla metanem, rozumiane jako stosunek współczesnej ilości zakumulowanego

metanu do pojemności sorpcyjnej pokładów węgla. W badanym złożu stosunek ten wynosi niecałe 23%, co oznacza ponad 77% niedosycenia metanem. W miarę zmniejszania się głębokości niedosycenie maleje do około 60% na poziomie –300 m n.p.m.

Metoda szacowania ilości powstałego metanu na podstawie ubytku części lotnych nie jest jedyna. Przeprowadzona analiza potencjału metanotwórczego w GZW na podstawie pirolizy oraz hydropirolizy próbek węgla (Kotarba, Lewan 2004) wykazała, że w południowej części GZW mogło powstać o około 50% metanu mniej w przypadku pirolizy i nawet 80% mniej w przypadku hydropirolizy w stosunku do wyliczeń na podstawie ubytku V^{daf} . Jednak nawet w takim wariacie ilość ta będzie przekraczała współczesny stan zasobów metanu zakumulowanego w złożu.

Analiza map (rys. 3 i 4) i wykresów (rys. 2 a i b) wskazuje na to, iż strop strefy pokładów metanowych pokrywa się częściowo ze stropem węgla koksowych typu 35 oraz w profilach niektórych otworów maksimum metanonośne głębokiego interwału metanu termogenicznego pokrywa się ze zmianą gradientu V^{daf} . Oznaczać to może, że w badanym obszarze widoczna jest zależność pomiędzy procesem uwęglania (związany z II sokiem uwęglania) i ilością wytworzonych gazów, która nieco zatarta wskutek późniejszych procesów migracji i akumulacji gazów, przetrwała do czasów obecnych.

4. Uwagi o zasobach przemysłowych metanu jako kopaliny głównej

Zasoby przemysłowe metanu stanowią tę część zasobów bilansowych, która może być odzyskana ze złoża przy przyjęciu odpowiednich rozwiązań technicznych i warunków ekonomicznych eksploatacji w ramach projektu zagospodarowania złoża (Nieć 1993).

Dotychczas nie zestawiano zasobów przemysłowych metanu w polach niezagospodarowanych górnictwo z uwagi na brak dostatecznej liczby danych dotyczących produktywności złoża, np. przepuszczalności pokładów, która w dużym stopniu decyduje o powodzeniu otworowej eksploatacji metanu z powierzchni (np. Kędzior 2008a). Zasoby przemysłowe metanu obliczane są jedynie w przypadku metanu jako kopaliny towarzyszącej, przewidzianego do uzysku wskutek odmetanowania wyrobisk kopalnianych.

W ostatnim czasie nasiliły się działania zmierzające do ponownego przetestowania możliwości wydobywania metanu z tzw. pól dziewiczych z zastosowaniem technologii intersekcji otworu horyzontalnego pojedynczego (Gilowice k. Brzeszcz) lub otworu horyzontalnego multilateralnego otworem pionowym ze sztucznym szczelinowaniem odcinka horyzontalnego w celu odmetanowania wyprzedzającego rejonów przyszłej eksploatacji węgla (kop. Wesoła) (np. Hadro i Wójcik 2013; Jureczka 2013; Hadro i Kędzior 2012).

Z tego względu podjęto próbę orientacyjnego szacunku zasobów metanu teoretycznie możliwego do sczerpania otworami produkcyjnymi wierconymi z powierzchni w badanym obszarze. Jako bazę obliczeń przyjęto wielkość zasobów metanu jako kopaliny głównej w warunkach normalnych, obliczoną ze wzoru (tab. 2).

$$V_{CH_4gt} = Q \cdot B (M_{SR} - 2,5) \cdot W_T \quad (2)$$

gdzie:

V_{CH_4gt} – zasoby metanu jako kopaliny głównej, pozostałe objaśnienia jak we wzorze (1).

TABELA 2. Zestawienie zasobów węgla, metanonośności średniej oraz zasobów metanu jako kopalinę główną w rozbięciu na poziomy obliczeniowe

TABLE 2. Statement of coal resources, mean methane content and methane resources as a main commodity divided in calculation levels

Poziom [m npm]		Miąszość poziomu [m]	Masa pokładów węgla > 0,6 m [mln ton]	Współczynnik csw	Zasoby węgla csw [mln ton]	Średnia metanonośność dla poziomu [m ³ /tonę csw]	Metanonośność desorbowana [m ³ /tonę csw]	Zasoby metanu [mln m ³]	Współczynnik temperaturowy	Zasoby metanu jako kopalinę główną [mln Nm ³]
od	do									
-300	-425	125	10,4	0,8	8,7	8,1	5,6	48,5	0,9	43,7
-425	-580	155	44,6	0,8	36,2	4,8	2,3	83,1	0,9	75,0
-580	-740	160	58,7	0,8	49,8	6,3	3,8	191,6	0,9	172,7
-740	-1 250	510	439,5	0,9	379,3	6,2	3,7	1 403,6	0,9	1 265,6
SUMA			553,2		474,0			1 726,8		1 557,0

Tak obliczona wielkość zasobów bilansowych metanu jako kopaliny głównej dla złoża Pawłowice wynosi w interwale od –300 do –1250 m n.p.m. 1 557 mln m³. Wielkość ta nie uwzględnia ilości metanu występującego bezpośrednio pod stropem utworów karbońskich ze względu na wcześniejsze założenia dotyczące metanu termokatalitycznego (rozd. 3).

W przypadku przemysłowych zasobów metanu istotne są tzw. współczynniki odzysku metanu ze złoża oraz zagospodarowania złoża (Nieć 1993), których iloczyn stanowi współczynnik wykorzystania złoża wahający się pomiędzy 0,2 i 0,8 (op. cit.) w zależności od warunków jego produktywności (przepuszczalności pokładów, zawodnienia itp.).

Z uwagi na to, że przepuszczalność w dużym stopniu decyduje o wydajności metanu z otworów, wielkość tę powinno się uwzględniać przy obliczeniu zasobów przemysłowych metanu. Zgodnie z badaniami Boyer'a i Kuuskraa (Nieć 1993) przy przepuszczalności 1 mD można wykorzystać do 24% zasobów metanu, przy 5 mD – 47%, a przy 25 mD odpowiednio 73%.

Według obliczeń przepuszczalności pokładów w czasie trwania testów produkcyjnych metanu prowadzonych przez spółkę Texaco w pobliżu badanego obszaru (Kędzior 2012), przepuszczalność pokładów węgla nie przekracza 1 mD, zatem obliczając zasoby przemysłowe metanu przyjęto współczynnik szcerpania na poziomie 0,24. Zatem:

$$V_{CH4przem} = V_{CH4gl} \cdot S \quad (3)$$

gdzie:

- $V_{CH4przem}$ – zasoby przemysłowe metanu,
- V_{CH4gl} – zasoby bilansowe metanu jako kopaliny głównej,
- S – współczynnik szcerpania metanu (0,24).

Wielkość zasobów przemysłowych metanu wynosi 373,69 mln m³, a przewidywane wydobycie z jednego otworu w ciągu 20 lat przy przepuszczalności rzędu 1mD to 31,1 mln m³ metanu (Boyer i Kuuskraa, Nieć 1993).

Ten szacunek oparty wyłącznie na doświadczeniach amerykańskich i dotyczący otworów pionowych może nie mieć bezpośredniego odniesienia do zagłębia górnośląskiego, jednak mógłby stanowić punkt wyjścia do dalszych rozważań na temat zagospodarowania metanu jako kopaliny głównej w GZW przy uwzględnieniu zarówno lokalnych warunków produktywności złóż, zważywszy że rezultaty badań w tym zakresie są wciąż skromne, jak i zastosowania nowych technologii pozyskiwania metanu.

Podsumowanie

W złożu węgla kamiennego Pawłowice w przedziale głębokości od –300 m n.p.m. do –1250 m n.p.m. wytworzyło się 100 603,52 mln m³ metanu, jeśli przyjąć ubytek V_{daf} występujących węgli.

Ilość współcześnie występujących gazów w złożu wynosi 5 357,90 mln m³, zatem jest dużo niższa zarówno od ilości metanu wytworzonego oraz od pojemności sorpcyjnej węgla dla metanu. Ilość ta stanowi zaledwie 5% gazu wytworzonego przy uwzględnieniu ubytku V_{daf} i 23% pojemności sorpcyjnej węgla.

Stosunek ilości gazu zakumulowanego w złożu do ilości gazu wytworzonego oraz pojemności gazowej węgla w omawianym złożu oznacza, że pojemność gazowa węgla nie jest w stanie pomieścić całości wytworzonego metanu. Niezakumulowane nadwyżki wskutek migracji albo są akumulowane w innych pokładach węgla, będących w stanie przyjąć pewne ilości tego gazu, albo są wydalone do atmosfery. Czynniki wspomagającymi migrację i akumulację metanu są m.in. ciśnienie i temperatura, rzutujące na zdolności sorpcyjne pokładów węgla.

Długotrwała erozja górotworu karbońskiego w mezozoiku i paleogenie przyczyniła się do znacznych rozmiarów odgazowania serii węglonośnej, co pociągnęło za sobą po pierwsze znaczne (kilkudziesięcioprocentowe) niedosycenie pokładów węgla metanem, a po drugie znacznie mniejszą ilość współcześnie zakumulowanego metanu w złożu w stosunku do metanu wytworzonego.

Znane z całego GZW zależności pomiędzy ilością metanu wytworzonego, zakumulowanego oraz pojemności sorpcyjnej węgla sprawdzają się także w przypadku złoża Pawłowice.

Obliczona na podstawie doświadczeń amerykańskich wielkość zasobów przemysłowych metanu w złożu Pawłowice wynosząca zaledwie 373,69 mln m³ jest jedynie szacunkiem orientacyjnym i stanowić może wyłącznie punkt wyjścia do dalszych rozważań nad możliwością wszczęcia produkcji przemysłowej metanu z tego złoża.

Badania do niniejszej publikacji zostały sfinansowane z grantu Narodowego Centrum Nauki, nr 2013/11/B/ST10/00253.

Literatura

- Botor, D. 2014. Wiek uwęglenia utworów górnokarbońskich w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym w świetle datowań apatytów za pomocą metody trakowej i helowej. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral resources Management* t. 30, s. 85–104.
- Hadro, J. i Kędzior, S. 2013. Testowanie możliwości eksploatacji metanu pokładów węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym otworami horyzontalnymi. [W:] Jureczka J. red. *Mat. konf. LXXXII Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wyzwania geologii regionu górnośląskiego w XXI w.* Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, s. 72.
- Hadro, J. i Wójcik, I. 2013. Metan pokładów węgla: zasoby i eksploatacja. *Przeg. Geol.* t. 61, s. 404–410.
- Jureczka, J. 2013. Perspektywy i problemy eksploatacji metanu z pokładów węgla w warunkach złożowych, górniczych i środowiskowych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. [W:] Jureczka J. red. *Mat. konf. LXXXII Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wyzwania geologii regionu górnośląskiego w XXI w.* Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, s. 18–19.
- Kędzior, S. 2008a. Potencjał zasobowy metanu pokładów węgla w Polsce w kontekście uwarunkowań geologicznych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral resources Management* t. 24, z. 4/4, s. 155–173.
- Kędzior, S. 2008b. Występowanie płytkiej strefy wysokometanowych pokładów węgla w rejonie Pawłowic. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* t. 429, s. 69–74.
- Kędzior, S. 2009. Accumulation of coal-bed methane in the south-west part of the Upper Silesian Coal Basin (southern Poland). *International Journal of Coal Geology* t. 80, s. 20–34.
- Kędzior, S. 2011. The occurrence of a secondary zone of coal-bed methane in the southern part of the Upper Silesian Coal Basin (southern Poland): potential for methane exploitation. *International Journal of Coal Geology* t. 86, s. 157–168.
- Kędzior, S. 2012. *Przystropowa strefa gazonośna w utworach karbonu południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego – występowanie, parametry zbiornikowe węgla oraz możliwości pozyskania metanu.* Katowice: Wyd. US.

- Kopp i in. 2000 – Kopp, O.C., Bennett, III M.E. i Clark, C.E. 2000. Volatiles lost during coalification. *International Journal of Coal Geology* t. 44, s. 69–84.
- Kotarba, M. 1980. Wpływ czynników geologicznych na akumulację gazów górnego karbonu południowej części ROW-u w świetle badań izotopowych. *Zeszyty Naukowe AGH, Ser. Górnictwo Z.* 110, Kraków: AGH, s. 61–69.
- Kotarba, M.J. 2001. Composition and origin of gases in the Upper Silesian and Lublin Coal Basins, Poland. *Organic Geochemistry* t. 32, s. 163–180.
- Kotarba, M.J. i Lewan, M.D. 2004. Characterizing thermogenic coalbed gas from Polish coals of different ranks by hydrous pyrolysis. *Organic Geochemistry* t. 35, s. 615–646.
- Kotarba, M. i Ney, R. 1995. Węglowodory w utworach węglonośnych górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. [W:] Ney R., Kotarba M., red. *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Kraków: Centrum PPGSMiE PAN, s. 7–24.
- Kotarba i in. 1995 – Kotarba, M., Pękała, Z., Daniel, J., Więclaw, D. i Smolarski, L. 1995. Rozkład głębokościowy zawartości metanu i węglowodorów wyższych w utworach węglonośnych górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. [W:] Ney R., Kotarba M., red. *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Kraków, Centrum PPGSMiE PAN, s. 175–180.
- Kotarba, M.J. i Pluta, I. 2009. 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* t. 24, s. 876–889.
- Kotas i in. 1992 – Kotas, A., Kwarciański, J. i Jureczka, J. 1992. Methods of the estimation of coal bed methane reserves in the Silesia Coal Basin. [W:] *Workshop on the "Recovery and End-Use of Coal Bed Methane"*, Katowice.
- Kotas, A. red. 1994. Coal-bed methane potential of the Upper Silesian Coal Basin, Poland. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego* t. 142, Warszawa, 81 s.
- Kowalski i in. 1995 – Kowalski, A., Kotarba, M. i Semyrka, G. 1995. Model i bilans generowania gazów z pokładów węgla utworów górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. [W:] Ney R., Kotarba M., red. *Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Kraków, Centrum PPGSMiE PAN, s. 99–113.
- Kruszewska, K. i Dybowa-Jachowicz, S. 1997 – *Zarys petrologii węgla*. Katowice: Wyd. UŚ.
- Krzyszowska, A. 2002. *Dodatek Nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża węgla kamiennego Pawłowice w kat. C₁, C₂*. Warszawa, NAG Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (nie publ.)
- Kwarciański, J. i Hadro, J. 2008. Metan pokładów węgla na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Przegląd Geologiczny* t. 56, s. 485–490.
- Nieć, M. 1993. Złoża metanu w formacjach węglonośnych. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej* t. 2, s. 281–301.
- Szuflicki M. i in. red. 2014 – Szuflicki, M., Malon, A. i Tymiński, M. 2014. *Bilans zasobów kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2013 r.* Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa, 466 s.
- Tarnowski, J. 1989. Geologiczne warunki występowania metanu w Górnośląskiej Niece Węglowej. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo* z. 166, Gliwice, 126 s.
- Teichmüller, M. 1989. The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology. *International Journal of Coal Geology* t. 12, s. 1–87.