



## Możliwości i problemy zgazowania węgla na dużej głębokości metodą szybowo-otworową (hybrydową)

### The possibilities of underground coal gasification at great depth with the use of combined mining-bore hole (hybrid) method

Prof. dr hab. inż. Marek Nieć<sup>\*)</sup>

**Treść:** W granicach złóż węgla w Polsce dostępnych dla eksploatacji konwencjonalnej do głębokości 1000 m możliwości stosowania podziemnego zgazowania węgla są bardzo ograniczone. Na głębokości 1000-1500 m występuje według różnych oszacowań 17-36 mld t węgla, w tym około 60% w pokładach o miąższości ponad 1,5 m. W przeważającej ilości są to węgle koksowe (typ 34-35) stanowiące 88% tych zasobów. Duże nadzieje wiąże się z podziemnym zgazowaniem węgla na tej głębokości za pomocą otworów wiertniczych wykonywanych z wyrobisk górniczych. Szczególnie w granicach złóż dotychczas zagospodarowanych, które są bardzo trudne do wydobywania z powodu rosnących zagrożeń naturalnych (tapaniowych, gazowych, gazo-dynamicznych). Wyjaśnienia w związku z tym wymaga możliwość zgazowania węgla typu 34-35 w złożu („in situ”) oraz warunki i zasięg migracji generowanych gazów w górotworze naruszonym przez proces podziemnego zgazowania. Trudność może stwarzać wiercenie głębokich otworów z wyrobisk górniczych, o długości pionowej do około 600 m, konieczność utrzymania tych wyrobisk oraz wcześniejszego rozpoznania złoża.

**Abstract:** The possibilities of underground gasification of coal is extremely limited in polish deposits conventionally mined up to the 1000 m depth. Below that depth up to 1500 m there are considerable coal resources: 17-36 mln t according to various estimates, 60% of which is occurs in seams over 1,5 m thick. The about 80% of that resources are of coking coal. This resources are mostly inaccessible for conventional mining due to natural hazards (rock bursts, very high methane content, gaso-dynamic outbursts). The possibilities of coal gasification of this resources is considered, with the use of boreholes drilled from lowest level of conventional mines. However the possibility of coking coal gasification in place, that occur under high natural pressure, should be verified by laboratory tests. The range of produced gas migration into the surrounding rock massif, disturbed over gasifire should be clarified. The underground drilling of boreholes up to 600 m long, preservation mining infrastructure on the upper level, and exploration of deep seated seams, may be the technical and economical problem.

#### Słowa kluczowe:

podziemne zgazowanie węgla, zasoby węgla, metoda hybrydowa

#### Key words:

underground coal gasification, deep coal resources, hybrid method

## 1. Wprowadzenie

Analiza warunków geologicznych polskich zagłębi węglowych (GZW, LZW i DZW) wykazała, że w granicach złóż dostępnych dla eksploatacji konwencjonalnej stwarzają one ograniczenia, a niekiedy barierę dla bezpiecznego stosowania podziemnego zgazowania węgla (PZW). Może być ono stosowane tylko w wyjątkowych przypadkach [3, 4]. Po szczegółowej analizie bazy zasobowej stwierdzono, że w chwili obecnej można wskazać tylko 4 rejony, w których można rozważać bezpieczne jej stosowanie i łączne ich zasoby kwalifikujące się do podziemnego zgazowania wynoszące tylko 49 mln t [4].

Duże nadzieje wiąże się w związku z tym z możliwością stosowania metody górniczo-wiertniczej (hybrydowej) do eksploatacji węgla metodą podziemnego zgazowania [1]. Polega ona na zgazowaniu węgla za pomocą otworów wiertniczych wykonywanych z wyrobisk górniczych. Może być poprzedzona wcześniejszym odmetanowaniem pokładów. Jej zasady zostały przedstawione w publikacji [1]. Stanowi

ona propozycję oryginalnego, nowatorskiego podejścia do eksploatacji złóż węgla kamiennego za pomocą podziemnego zgazowania. Myślą przewodnią jest możliwość jej stosowania do eksploatacji głęboko położonych pokładów węgla, znajdujących się w szczególności na głębokości poniżej 1000 m, niedostępnych dla eksploatacji tradycyjną metodą podziemną, „szybową”.

Dla stosowania podziemnego zgazowania, w tym także metodą hybrydową, spełnione muszą być podstawowe warunki: występowanie pokładów o odpowiednio dużej miąższości (ponad 1,5 m), a ponadto spokojne ich ułożenie, zmiany nachylenia w niewielkim zakresie, brak zaburzeń fałdowych, niewielki stopień zuskokowania [2].

## 2. Możliwości stosowania metody górniczo-wiertniczej do eksploatacji głęboko położonych zasobów węgla

### 2.1. Stan rozpoznania zasobów na głębokości poniżej 1000 m

Możliwości stosowania metody hybrydowej są uzależnione od zasobów węgla na głębokości poniżej 1000 m, budowy

<sup>\*)</sup> IGSMiE PAN w Krakowie

złóż na tej głębokości, rozmieszczenia zasobów. Dane na ten temat są zróżnicowane. Zasoby węgla poniżej głębokości 1000 m są tylko częściowo rozpoznane w stopniu odpowiadającym kategoriom D i C2. Wyniki prac rozpoznawczych przedstawiane są w dokumentacjach geologicznych złóż. Do 1989 r. zasoby na głębokości 1000-1500 m były dokumentowane i wykazywane częściowo jako bilansowe, częściowo jako pozabilansowe grupy „b”, z powodu ich niedostępności dla eksploatacji tradycyjnej. Po 1994 r. zostały one usunięte z publikowanego „Bilansu zasobów złóż kopalni w Polsce” w wyniku przyjęcia jako kryterium bilansowości maksymalnej głębokości położenia pokładów węgla 1000 m.

Obecnie zasoby węgla na głębokości poniżej 1000 m ewidencjonowane są w „Bilansie zasobów perspektywicznych Polski” [6]. Wykazane są jako „prognostyczne” udokumentowane w granicach kopalni i złóż rezerwowych oraz jako perspektywiczne, jeśli nie zostały zbadane w stopniu odpowiadającym kategorii D, lub występują poza granicami kopalni lub pól rezerwowych, w których zasoby zostały rozpoznane.

Zastosowana różna metodologia szacowania zasobów, zmiany granic dokumentowanych złóż, zmiany kryteriów bilansowości (przede wszystkim wymaganej minimalnej miąższości pokładów) powodują, że istnieją rozbieżności danych o zasobach poszczególnych obszarów wykazywanych w różnych okresach czasu. Różnice te nie mają istotnego znaczenia dla globalnej oceny wielkości zasobów zważywszy, że przyjmuje się, że dopuszczalny błąd ich oszacowania wynosi w kategorii C2 do 40%, a w kategorii D może wynosić ponad 40% (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 22 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny, Dz. U. Nr 291, poz. 1712 znowelizowane 1.07.2015 r.).

W 1985 r. wykazywano zasoby bilansowe na głębokości 1000-500 m (tylko w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym) w ilości [5]:

- udokumentowane: 5054 mln t,
- perspektywiczne: 31341 mln t.

Szacowano zatem, że zasoby na głębokości 1000-1500 m wynoszą ogółem: 36,4 mld t, w tym udokumentowane na głębokości:

- 1000 – 1250 m: 3,85 mld t,
- 1250 – 1500 m: 1,20 mld t.

W granicach czynnych wówczas kopalni wykazywano w tym przedziale głębokości:

- zasoby bilansowe: 2622 mln t,
- zasoby perspektywiczne: 11508 mln t.

Jako perspektywiczne były wykazywane zasoby słabo zbadane, w stopniu nieodpowiadającym kategorii C<sub>2</sub>. Zaliczano do nich także zasoby rozpoznane w kategorii C<sub>2</sub>, ale zakwalifikowane jako pozabilansowe (pozabilansowe grupy „b”), z powodu braku możliwości ich eksploatacji na dużej głębokości.

W bilansie zasobów perspektywicznych Polski w 2011 r. wykazano w granicach złóż udokumentowanych [6]:

- zasoby prognostyczne: 9193 mln t,
- zasoby perspektywiczne: 8060 mln t.

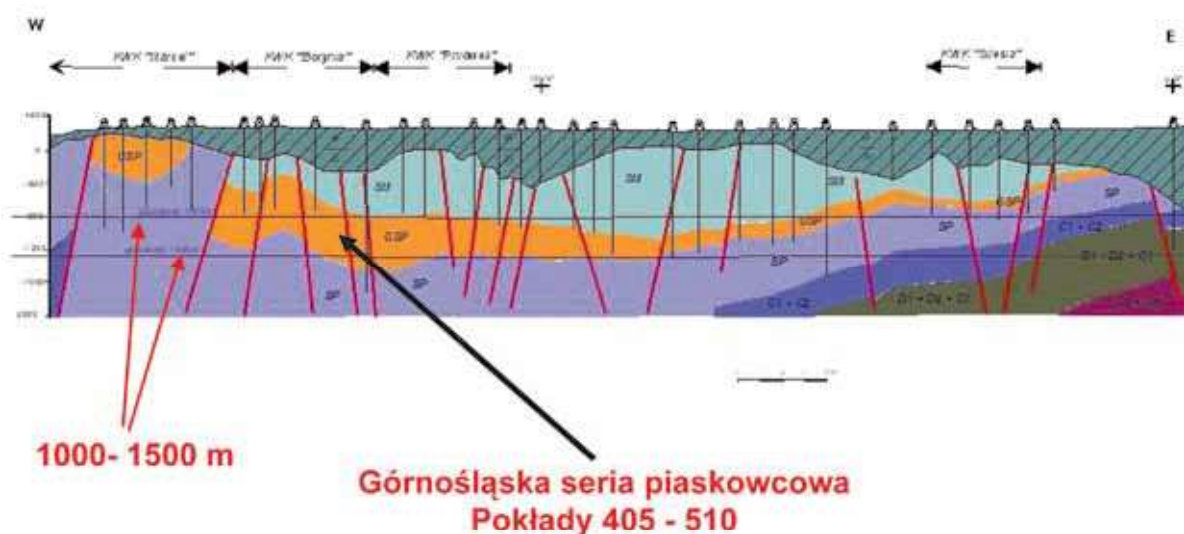
Zasoby prognostyczne w granicach poszczególnych złóż były szacowane od głębokości 1000 m do różnej głębokości; od 1100 (kop. Janina) do 1500 m. Zasoby perspektywiczne szacowano tylko do głębokości 1250 m.

Zasadnicze znaczenie mają zasoby w pokładach grubych o miąższości ponad 1,5 m. W pokładach takich znajduje się około 60% zasobów. Występują one przede wszystkim w górnośląskiej serii piaskowcowej w warstwach rudzkich i siodłowych (rys. 1), na obrzeżeniu niecki głównej i w południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (rys. 2). Na uwagę zasługują w szczególności bardzo grube pokłady występujące na dużym obszarze, np. 405 i 510.

W przeważającej ilości pokłady tworzą węgle koksowe (typ 34-35) stanowiące 88% zasobów prognostycznych i 47% perspektywicznych, co wynika z mniejszej głębokości ich występowania.

Szczególnie interesujące jest rozmieszczenie zasobów poniżej 1000 m w granicach złóż dotychczas zagospodarowanych. Są one bardzo trudne do wydobywania z powodu rosnących zagrożeń naturalnych (tąpniowych, gazowych, gazo-dynamicznych), można natomiast rozpatrywać ich ewentualną eksploatację po zakończeniu tradycyjnego wydobywania węgla na poziomach wyższych. Zasoby te w obszarze dotychczas czynnych kopalni są zróżnicowane w poszczególnych pokładach. Ilustruje to przykład obszaru przypisanego obecnie kopalni Ziemowit (tab. 1). Szczególnie interesujące są zasoby w pokładach najgrubszych. Są one także zróżnicowane w obszarze występowania poszczególnych pokładów. Zmiany miąższości pokładu, jego wyklinowania, rozmycia ograniczają obszar występowania zasobów, które mogą kwalifikować się do podziemnego zgazowania (rys. 3, 4).

W granicach tego obszaru, na głębokości 1000 do 1600 m



Rys. 1. Pokłady węgla (405-510) w górnośląskiej serii piaskowcowej na głębokości 1000- 1500 m  
Fig. 1. Coal seams 405 – 510 within Upper Silesian Sandstone series at 1000-1500 m depth



Rys. 2. Obszar występowania pokładu 510 na głębokości 1000-1500 m w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym

Fig. 2. Area of occurrence of coal seam „510” at 1000-1500 m depth within Upper Silesian Coal Basin

zasoby węgla w pokładach (częściach pokładów) o miąższości ponad 1,5 m stanowią 788,4 mln t, to jest 63,7 % zasobów wykazywanych w tym przedziale. Wśród pokładów udokumentowanych poniżej 1000 m, miąższość ponad 1,5 m osiąga tylko 5 pokładów. Wyróżniają się szczególnie 2 pokłady, występujące w sposób ciągły na znacznym obszarze:

- pokład 405 o miąższości 2,5-4,7 m, występujący prawie

- na całym obszarze w granicach tego obszaru,
- pokład 510 o miąższości 6,2-13,3 m, którego obszar występowania jest częściowo ograniczony przez wielkie rozmycie sięgające do warstw niżej leżących w południowo-wschodniej części złoża (rys. 3).

Pozostałe pokłady występują w sposób nieciągły, tylko w części obszaru kopalni, a partie o miąższości ponad 1,5 m rozmieszczone są w nich nieregularnie (rys. 4).

## 2.2. Problemy podziemnego zgazowania węgla metodą hybrydową

Podziemne zgazowania węgla metodą hybrydową jest interesującym przedsięwzięciem. Dotychczas znajduje się tylko w sferze propozycji nigdzie nieprzetestowanych, ale zasługujących na szersze zainteresowanie. Zwrócić wypada jednak uwagę na szereg problemów wymagających wyjaśnienia. Przede wszystkim niewyjaśniona jest możliwość zgazowania węgla typu 34-35 w złożu („in situ”), zwłaszcza na dużej głębokości. Poniżej 1000 m węgle koksowe (typ 34-35) stanowiące 88% zasobów [6]. Dotychczasowe doświadczenia stosowania PZW na mniejszych głębokościach dotyczą węgla o niższym stopniu uwęglenia (przede wszystkim typu 31-32). Niska przepuszczalność węgla występującego na głębokości ponad 1000 m z powodu wysokiego ciśnienia (litostatycznego) może powodować szybką kolmatację produktami pirolizy na obrzeżu gazogeneratora i ograniczony zasięg procesu zgazowania.

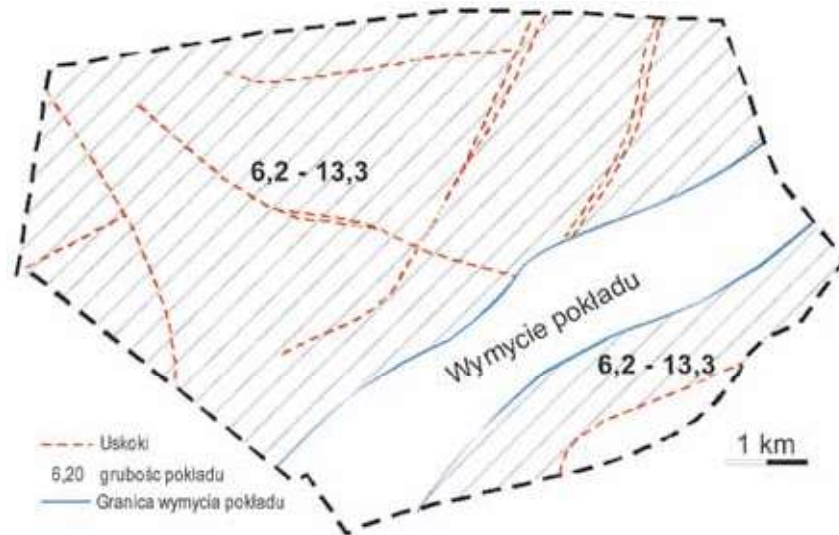
Trudność może stwarzać wiercenie głębokich otworów z wyrobisk górniczych, o długości pionowej do około 600 m. Pewne utrudnienie może także stanowić bardzo duża metanonośność węgla do ponad 15 m<sup>3</sup>/t<sub>csw</sub>. Rozwiązaniem tego problemu może być jednak wcześniejsze odmetanowanie pokładów.

Barierą dla stosowania hybrydowej metody PZW jest słabe rozpoznanie złóż na głębokości ponad 1000 m. Zasoby poszczególnych pokładów, nawet jeśli zostały udokumen-

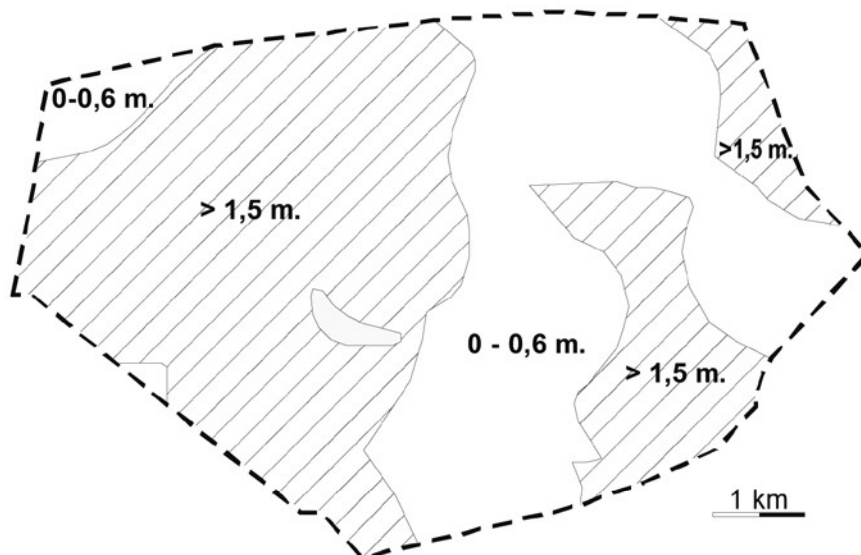
Tabela 1. Charakterystyka pokładów występujących na głębokości 1000-1600 m w granicach obszaru kopalni Ziemowit  
Table 1. Coal seams at 1000-1600 m depth within the area of Ziemowit mine

Pokład	Miąższość bilansowa*, m	Powierzchnia m <sup>2</sup>	Metanonośność m <sup>3</sup> /t <sub>csw</sub>	Zasoby [tys. t] na głębokości	
				do 1000 m	ponad 1000 m (do 1600 m)
401	0,9-1,6	42 339	4,5-11,2	11 507	71 512
402	0,9-1,3	13 978	5,1-13,5	4 809	18 434
404/1	0,8-2,6	35 245	5,8-12,7	2 325	65 393
404/2	0,8-1,85	9 381	5,4-17,8	777	15 571
404/4	0,7-1,5	14 548	7,3-15,5		21 811
404/5	0,8-1,2	30 639	7,6-15,8	1 882	47 338
405	2,5-4,7	53 964	5,7-15,8	16 496	240 684
405/1	1,9-2,2	5 648	8,5-9,7		13 221
406	0,8-1,2	16 253	6,3-14,9		24 446
407	0,85-1,45	23 333	7,2-13,2		36 155
409	0,85-1,3	13 112	6,0-13,3		21 973
410	0,8-1,5	10 704	5,4-14,6		15 713
414	1,0-3,6	44 208	5,2-15,3		113 475
416	0,9-1,75	18 728	6,0-12,4		39 270
418	1,15-2,10	14 827	6,2-10,9		27 714
510	6,2-13,3	40 524	4,6-17,4		463 523
				SUMA	1 236 233**

\* wg kryteriów obowiązujących w 1994 r., \*\* Obecnie w bilansie zasobów perspektywicznych są wykazywane z niewiadomych przyczyn tylko jako perspektywiczne wyłącznie zasoby do głębokości 1250 m w ilości 811 853 tys. t.



Rys. 3. Obszar Ziemowit. Pokład 510 na głębokości 1200-1600 m  
Fig. 3. Coal seam 510 at 1200-1600 m depth within the area of Ziemowit mine



Rys. 4. Obszar Ziemowit. Pokład 414 na głębokości 1000-1200 m  
Fig. 4. Fig. 3. Coal seam 414 at 1000-1200 m depth within the area of Ziemowit mine

owane, to tylko w kategorii C2. Zatem zróżnicowanie ich miąższości, położenie granic obszaru ich występowania, położenia uskokuw znane są tylko w przybliżeniu. Musi być zatem przewidywana konieczność lepszego rozpoznania złóż na takiej głębokości, zwłaszcza w strefach silniej zaangażowanych tektonicznie.

Nadal niewyjaśniona jest kwestia migracji generowanych gazów w górotworze naruszonym przez proces podziemnego zgazowania. Można, co prawda oczekiwać, że na głębokości ponad 1000 m przepuszczalność skał otaczających pokłady węgla będzie niska, nie mniej w górnośląskiej serii piaskowcowej może nastąpić poeksploatacyjne udrożnienie spękań i daleka migracja gazów.

### 3. Podsumowanie

Występowanie znacznych zasobów węgla, w części GZW w pokładach o dużej miąższości (przede wszystkim w pokładach w warstwach zależkich, rudzkich i siodłowych, zwłaszcza w pokładach 405 i 510 występujących na głębo-

kości ponad 1000 m na znacznym obszarze) stwarza szanse stosowania hybrydowej metody PZW. Może wystąpić jednak szereg trudności w jej zastosowaniu (tab. 2). Problemem organizacyjno-technicznym będzie konieczność dokładnego rozpoznania złoża i utrzymania sieci wyrobisk górniczych na dużej głębokości, z których mogą być wykonywane otwory rozpoznawcze i eksploatacyjne. Może to decydować o ekonomiczności zgazowania węgla metodą hybrydową.

Szereg zagadnień związanych ze stosowaniem PZW wymaga jeszcze wyjaśnienia, w szczególności warunki, tempo i zasięg migracji wytwarzanych toksycznych gazów w otoczeniu gazogeneratora. Dla wyjaśnienia tego zagadnienia niezbędne jest wykonanie eksperymentalnego zgazowania węgla na mniejszej głębokości, np. w rejonach wskazanych na podstawie dotychczasowej analizy bazy zasobowej węgla do PZW, a także odpowiednich badań modelowych. Wyjaśnienia wymaga także możliwość efektywnego zgazowania węgla koksowych (typu 34-35), które można osiągnąć przynajmniej częściowo na podstawie eksperymentalnego zgazowania monolitów węgla „ex situ” w warunkach laboratoryjnych.

**Tablica 2. Szanse i trudności stosowania metody hybrydowej ilustruje uproszczona analiza SWOT [3, zmodyfikowana]**  
**Table 2. Simplified SWOT analysis of “hybrid” underground coal gasification**

<p><b>S Mocne strony:</b> Duże zasoby w pokładach o miąższości ponad 1,5 m</p>	<p><b>W – Słabe strony</b> Niski stopień rozpoznania złoża i konieczność dobrego jego rozpoznania. Trudność wykonania otworów wiertniczych o dużej głębokości z wyrobisk górniczych; konieczność utrzymania tych wyrobisk. Niewyjaśniona możliwość zgazowania węgla typu 34-35</p>
<p><b>O Szanse</b> Udostępnienie złoża na wyższych poziomach wyrobiskami górnictwami</p>	<p><b>T Zagrożenia</b> Wysoka metanonośność pokładów; Możliwość dalekiej migracji toksycznych produktów gazowych</p>

## Literatura

1. Czaja P., Klich J., Tajduś A.: Metoda pozyskiwania pierwotnych nośników energii ze złóż węgla kamiennego na drodze odmetanowania i zgazowania in situ. „Polityka Energetyczna” 2013, t. 16, z. 3, s. 83–98.
2. Nieć M.: Geologiczne bariery i ograniczenia dla podziemnego zgazowania węgla. Biul PIG 448, 2012, s. 183–194.
3. Nieć M., Chećko J., Górecki J., Sermet E.: Stan bazy zasobowej węgla w Polsce i problemy złożowo-środowiskowe w odniesieniu do eksploatacji metodą podziemnego zgazowania. „Przegląd Górniczy” 2014, t. 70, nr 11, s. 28–37
4. Nieć M., Górecki J., Sermet E., Chećko J., Kokesz Z., Krzanowska A., Urych T.: Opracowanie wymagań odnośnie gospodarki złożem przy podziemnym zgazowaniu węgla oraz przeanalizowanie i typowanie bazy surowcowej do PZW. NCBiR Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoelektrywniej produkcji paliw i energii, Raport końcowy 1.3.3. AGH, Kraków 2015.
5. Stan rozpoznania bazy zasobowej węgla kamiennego i brunatnego i perspektywy jej rozwoju. CUG, Warszawa 1985.
6. Wołkowicz S., Smakowski T., Speczik S., (red.): Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski. PIG-PIB, Warszawa 2011.