

DOKUMENTOWANIE ZŁOŻ WĘGLA KAMIENNEGO NA POTRZEBY PODZIEMNEGO ZGAZOWANIA

GEOLOGICAL REPORTING OF HARD COAL DEPOSITS FOR UNDERGROUND GASIFICATION

Marek Nieć, Jerzy Górecki, Edyta Sermet - Katedra Geologii Złożowej i Górniczej,
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Czynniki geologiczne warunkują przebieg i efekty podziemnego zgazowania węgla (PZW). Planowanie PZW stawia wyższe wymagania odnośnie dokładności rozpoznania złoża aniżeli w przypadku klasycznej eksploatacji podziemnej. Wiąże się to z niemożnością bezpośredniej weryfikacji przebiegu i rezultatów zgazowania. Aby zbadać wystarczająco budowę wewnętrzną (obecność i ciągłość przerostów), budowę nadkładu, tektonikę, warunki hydrogeologiczne i właściwości izolujące skały otaczających pokład wytypowany do zgazowania, otwory rozpoznawcze w złożach węgla kamiennego należałoby lokalizować w sieci izometrycznej o boku do 500 metrów. Zaleca się także stosowanie badań sejsmicznych 3D. Ilustracją tych zaleceń jest propozycja lepszego rozpoznania części pokładu 375 w złożu Lublin K-4-5 (LZW), uznanej w trakcie wcześniejszych badań za potencjalnie przydatną do PZW.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, dokumentowanie geologiczne złóż, podziemne zgazowanie węgla

Geological position and coal seam structure are the crucial factors for underground coal gasification (UCG). The coal seams should be more detailed explored than for conventional coal mining due to the lack of possibility of direct monitoring of gasification and evaluation of results of the process. For reasonable UCG planning detailed knowledge is necessary of coal seam structure, splitting, tectonic features, roof lithology and hydrogeology. The deposit should be explored by boreholes drilled in 500 m grid spacing. Application of 3D seismic is advised. An example is presented of exploration project of part of coal seam 375 in Lublin K-4-5 deposit, designed as favorable for UCG.

Keywords: hard (bituminous) coal, geological reporting, underground coal gasification

Wprowadzenie

Podziemne zgazowanie jest atrakcyjnym przedsięwzięciem od ponad 100 lat inspirującym próby jego realizacji. Mimo, że podejmowane były one już w wielu krajach, nie doprowadziły do wdrożenia tej metody na skalę przemysłową. Jedynie w byłym ZSRR z trzech złóż uzyskano kilkunastoletnią produkcję gazu niskiej jakości (3-4 MJ/m³) wykorzystywanego na potrzeby lokalne. Przyczyną niepowodzeń są przede wszystkim trudności bezawaryjnego prowadzenia procesu zgazowania pod ziemią i zagrożenia emisją toksycznych produktów zgazowania węgla, w których znaczny udział ma tlenek węgla.

Dla podejmowania prób podziemnego zgazowania, w sposób efektywny i bezpieczny, szczególne znaczenie ma znajomość warunków geologicznych, w jakich ma być ono prowadzone, a zatem dobre rozpoznanie złoża.

Uwarunkowania geologiczne PZW

Warunki geologiczne, w jakich podziemne zgazowanie węgla może być prowadzone w sposób bezpieczny i efektywny są dotychczas słabo poznane, ze względu na niewielkie

obszarowo podejmowane jego próby. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń praktycznych i modelowania procesu da się określić warunki, w jakich należy oczekiwać, że może być ono podejmowane ([12, 11, 13], tab. 1).

Nie jest wyjaśniona możliwość efektywnego zgazowania węgla w pokładzie zawierającym przerosty płonne. Pożądany jest ich brak. Tak samo niepożądane są zaburzenia ułożenia pokładu, zwłaszcza spowodowane przez drobne uskoki „pokładowe” (o zrzutach nie większych od miąższości pokładu). Niejasny jest także wpływ metanonośności węgla na przebieg procesu zgazowania.

Istotne znaczenie czynników geologicznych dla przebiegu i efektów podziemnego zgazowania węgla sprawia, że szczególne wymagania powinny być stawiane odnośnie dokładności rozpoznawania i dokumentowania przede wszystkim:

- budowy nadkładu serii węglonośnej i właściwości utworów izolujących poszczególne pokłady,
- tektoniki,
- warunków hydrogeologicznych złoża, zwłaszcza w jego nadkładzie,
- rozmieszczenia pokładów w serii węglonośnej ich ciągłości, korelacji i budowy wewnętrznej.

Tab. 1. Warunki niezbędne dla podejmowania podziemnego zgazowania węgla
 Tab. 1. The coal seam feature demanded for underground gasification

Parametr	Wartość kryterialna	Uwagi
miąższość węgla w pokładzie	ponad 1,5 m	
typ węgla	31-32	typ 33 warunkowo
odległość od uskoków o zrzutach większych od miąższości pokładu	ponad 50 m	
odległość od głównych poziomów wodonośnych	ponad 100 m	
odległość od pokładów sąsiednich lub warstw zawodnionych	ponad 20 m	w złożu wielopokładowym
minimalne zasoby bilansowe bloku złoża spełniającego powyższe parametry	ponad 10 mln t	przy założeniu 50% wykorzystania
Położenie poza obszarami chronionego krajobrazu i trwale zabudowanymi		odległość od obszarów zabudowanych ponad 500 m

Tab. 2. Czynniki wpływające na dokładność oceny zasobów złoża węgla kamiennego [7, zmodyfikowane]
 Tab. 2. Factors that determine resources valuation accuracy

Rodzaj czynnika		Wpływ czynnika na dokładność rozpoznania budowy złoża i jego zasobów		
		w całym złożu wielopokładowym	w pokładzie	w parceli
Interpretacja budowy złoża	Interpretacja tektoniki	+	+	(+)
	Błędy korelacji pokładów	+	(+)	
	Interpretacja zasięgu pokładów	+	+	
Sposób geometryzacji złoża (podziału na parcele)			(+)	+
Zmienność miąższości		(+)	(+)	+

Objaśnienia: + wpływ znaczący, (+) – wpływ częściowy

Dane o budowie złoża i wielkości jego zasobów, mimo że badane są według sformalizowanych reguł, mają charakter przybliżony. Obarczone są niepewnością wynikającą z ograniczonego stopnia rozpoznania złóż i ich zmienności. Powinno to być brane pod uwagę przy projektowaniu wykorzystania złoża przy zastosowaniu PZW.

Dokładność rozpoznania złóż węgla kamiennego

Dotychczasowy stopień rozpoznania złóż węgla kamiennego jest niedoskonały, na co zwracano już dawno uwagę [5, 2, 16, 1, 9, 10], zwłaszcza z powodu skomplikowanej tektoniki uskokowej, trudności korelacji pokładów (w szczególności w warstwach orzeskich GZW), niedoskonałości techniki wiertniczej (na przykład stosowania dawniej koronek rolkowych, widiowych a nie diamentowych) nie zapewniającej właściwego uzysku rdzenia. Przyczyny błędów rozpoznania złoża i szacowania zasobów z tego powodu są zróżnicowane (tab. 2).

Za mierniki dokładności rozpoznania złoża uważa się dokładność oszacowania jego zasobów. Formalnie [17] dopuszcza się, że błąd ten, z tytułu naturalnej zmienności złoża i niedoskonałości jego rozpoznania, może wynosić: w kategorii C_2 do 40 %, w kat. C_1 do 30 %, w kat. B do 20 % i kat. A do 10 %.

Ważnym warunkiem uznania złoża za rozpoznane w odpowiedniej kategorii jest też stopień wyjaśnienia i wiarygodność interpretacji jego budowy, w szczególności tektoniki [20].

W kategorii C_2 dopuszcza się wielowariantową jej interpretację, natomiast w kategorii C_1 podstawowe cechy budowy złoża i jego tektoniki powinny być wyjaśnione w sposób jednoznaczny.

Po lepszym rozpoznaniu złóż dokumentowanych w kat. C_2 często mają miejsce znaczne zmiany interpretacji budowy złoża i jego zasobów. Dane z obszaru GZW wskazują, że zasoby szacowane w tej kategorii są zwykle zawyżane i przy ich przekwalifikowywaniu do kat. C_1 następuje ich zmniejszenie. W skali całego GZW oceniano, że zmniejszenie to może wynosić od 10 - 15 %, a nawet do 20 % [14]. Niekiedy stwierdzano także, że jest ono większe [15].

Brak możliwości wiarygodnej interpretacji budowy złoża (tektoniki, korelacji pokładów) w kategorii C_2 był podstawą do obliczania w tej kategorii zasobów niektórych złóż niezagospodarowanych, tylko na podstawie współczynnika węgl zasobności. Dla potrzeb projektowania górniczego wprowadzona była wówczas poprawka zmniejszająca je, wynosząca 0,75.

Niezadowolający stopień rozpoznania złóż, a zwłaszcza kwalifikacja w częściach złoża rozpoznanych tylko w kategorii C_2 , powoduje często zmiany kwalifikacji zasobów i ich ilości po lepszym rozpoznaniu. Zbyt niski stopień rozpoznania złoża w kategorii C_2 w zasadzie nie upoważnia do oceny „przemysłowości” zasobów [7, 6]. Nie jest też akceptowany w ocenie zasobów wydobywalnych przez międzynarodowe standardy szacowania zasobów (JORC code, UNFC).

Niski stopień rozpoznania złóż mógł być wystarczający

przy planowanym niewielkim wydobyciu i stosowaniu różnych systemów eksploatacji, stosownie do cech budowy złoża stwierdzanych wyprzedającymi wyrobiskami górnictwami. W przypadku wysoko wydajnej eksploatacji dla jej prawidłowego projektowania i racjonalnej gospodarki zasobami, złożo, zwłaszcza jego tektonika, powinno być w całości dobrze rozpoznane, a interpretacja jego budowy i warunków geologicznych eksploatacji - jednoznaczna. Spełnienie tego warunku powinno być podstawą dla uznania złoża za rozpoznane w kategorii C_1 . Stwierdzano jednak, że stopień rozpoznania złóż węgla w wielu przypadkach jest niewystarczający dla potrzeb tradycyjnego projektowania górnictwa [3, 4].

Zasoby złoża klasyfikowane są w poszczególnych kategoriach najczęściej na podstawie odległości między otworami rozpoznawczymi i punktami stwierdzeń pokładów w wyrobiskach górnictwami (tab. 3). Takie formalne podejście do klasyfikacji zasobów, w szczególności w kategorii C_1 w wielu przypadkach jest niewystarczające, gdyż nie gwarantuje wiarygodnej interpretacji budowy złoża, w szczególności podstawowych cech jego tektoniki. Odległości między stwierdzeniami pokładów są

często większe niż zalecane [9]. Wskazywano, że na potrzeby projektowania eksploatacji, odległości między otworami rozpoznawczymi powinny być mniejsze, w kat. C_1 500 – 700 m w złożach grupy II i 500-1000 w grupie I [8]. Również większe niż dawniej stosowane, powinno być zagęszczenie punktów rozpoznania złoża zaburzonego uskokami lub w przypadku gdy korelacja pokładów następuje trudności [9].

Dodatkowo, podstawą dla klasyfikacji zasobów w odpowiedniej kategorii jest ocena wiarygodności danych, na podstawie których są one obliczane. W szczególności dotyczy to interpretacji miąższości pokładów na podstawie danych z wierceń. Wymagany jest odpowiedni uzysk rdzenia (dawniej 80 %, obecnie 90 %¹). W starszych otworach nie zawsze był on osiągnięty. Nawet, jeśli interpretacja miąższości pokładów wspomagana była wynikami profilowania geofizycznego, nie dawało to gwarancji poprawnego jej określenia.

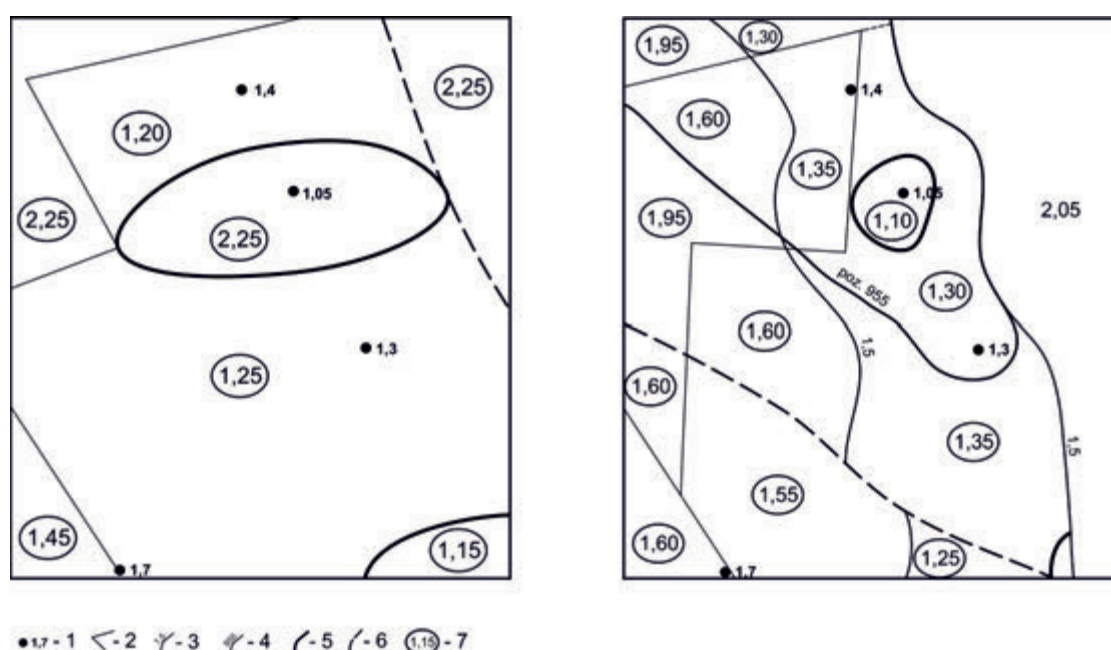
Naturalna zmienność miąższości pokładów powoduje, że często następuje zmiana oceny jej średniej wartości w wyniku lepszego rozpoznania, zwłaszcza wyrobiskami górnictwami i w konsekwencji zmiana wielkości szacowanych zasobów w

Tab. 3. Odległości między otworami rozpoznawczymi (wg Instrukcji ustalania zasobów złóż kopalin stałych, CUG 1982, i zalecane wg [20])

Tab. 3. Applied exploratory borehole grids (borehole distances)

Grupa złoża	Odległości między otworami lub wyrobiskami górnictwami w [m] stosowane i (zalecane) w m dla kategorii rozpoznania			
	C_2	C_1	B	A
I	4000-3000 (4000-2000)	3000-1500 (2000 – 1000)	1500-1000 (1000-500)	tylko wyrobiska górnictwa do 500
II	3000-1500 (2000-1000)	1500-1000 (1000- 500)	500 – 250 w tym co najmniej jedno wyrobisko górnictwa	tylko wyrobiska górnictwa do 250
III	1500-1000 (1000-500)	1000-500 (500 -250)	tylko wyrobiska górnictwa do 100-250	tylko wyrobiska górnictwa do 100

Grupa złoża określa stopień skomplikowania budowy geologicznej i zmienności jakości węgla



1 – otwory wiertnicze (w granicach wycinka mapy) i miąższość pokładu, 2- granice administracyjne „złóż”, 3 – izolinia miąższości 1,5 m, 4. warstwy spągu pokładu (granic poziomów), 5 - granice typów węgla, 6 – uskok, 7 – średnie miąższości pokładu w parcelach

Rys. 1. Zmiana podziału złoża na parcele obliczeniowe (Lubelskie Zagłębie Węglowe, pokład 389)

Fig. 1. Varied delineation of coal seam and evaluated average coal thickness for resources calculation (Lublin Coal Basin, seam no 389)

¹ W standardach międzynarodowych, np. kodeksie JORC stawiane są wyższe wymagania uzysku rdzenia 95 %

poszczególnych parcelach. W przypadku dużych parcel zmiany te mogą być znaczne, nawet przy niewielkiej wykazywanej różnicy miąższości.

Zasoby poszczególnych pokładów obliczane są metodą bloków. Kontury bloków (parcel obliczeniowych) stanowią interpretowane granice geologiczne: zasięgu rozprzestrzenienia pokładu, uskoków, linii zmian: kąta upadu, miąższości, jakości węgla, a także rozszczepienia pokładów oraz granice górnicze wynikające przede wszystkim z podziału złoża na poziomy eksploatacyjne oraz z konieczności wyznaczania filarów ochronnych. Do obliczenia zasobów w poszczególnych parcelach określa się średnią miąższość pokładu na podstawie danych z najbliższej położonych punktów jej pomiaru. Bierze się przy tym pod uwagę odległość tych punktów od parceli, a także przebieg interpretowanych izolinii miąższości. Sposób tego postępowania nie jest określony ścisłym algorytmem. Jest to sposób, który można określić jako metodę „intuicyjnego wagiowania”. Każda modyfikacja sposobu podziału złoża (pokładu) na parcele obliczeniowe spowodowana zmianą interpretacji jego budowy geologicznej lub wynikająca z wymagań projektu eksploatacji (np. wyznaczenia filarów, granic poziomów itp.) powoduje zmiany wielkości interpretowanych średnich wartości parametrów złoża, w szczególności miąższości (rys. 1) oraz powierzchni parcel, którym te miąższości są przypisane, a zatem także wielkości szacowanych zasobów.

Do 1998 roku do obliczania zasobów, zgodnie z normą PN-81/G-04501, przyjmowano miąższość węgla w pokładzie bez przerostów o grubości ponad 0,05 m. Po zmianie tej normy, zgodnie PN-G-04501 (1998), przyjmuje się miąższość węgla wraz z przerostami o grubości do 0,3 m. W pokładach z przerostami powoduje to wzrost zasobów od kilku do kilkunastu procent, w zależności od miąższości węgla w pokładzie.

Problemy rozpoznawania złóż z punktu widzenia PZW

W przypadku eksploatacji otworami z powierzchni nie ma możliwości weryfikacji danych geologicznych uzyskanych w czasie prac rozpoznawczych przez późniejsze bezpośrednie obserwacje w wyrobiskach górniczych wykonanych w nim i w jego otoczeniu. Sprawia to, że w przypadku jej planowania muszą być stawiane wyższe wymagania odnośnie dokładności rozpoznania złoża niż w przypadku eksploatacji podziemnej lub odkrywkowej.

Ze względu na konieczność dobrego rozpoznania tektoniki uskokowej wymagany dotychczas stopień rozpoznania złóż węgla kamiennych jest niewystarczający z punktu widzenia potrzeb projektowania PZW.

Dla w miarę poprawnego określenia położenia głównych zaburzeń tektonicznych niezbędne jest rozpoznanie złoża węgla kamiennego otworami wierceniami w siatce trójkątnej równobocznej o boku poniżej 500 m [9]. Wspomagane powinno być

ono badaniami sejsmicznymi, w miarę możliwości 3D. Wskazane jest też odpowiednie zagęszczenie otworów rozpoznawczych, które później mogą być wykorzystane jako eksploatacyjne.

Problem oceny jakości węgla z punktu widzenia PZW

Na podstawie dotychczasowych doświadczeń stosowania podziemnego zgazowania można stwierdzić, że kwalifikują się do niego węgle brunatne twarde i kamienne o niskim stopniu uwęglania, typu 31 i 32. Możliwość zgazowania węgla wyższych typów jest nie określona. Przypuszcza się jednakże, że może ono być bardzo utrudnione z powodu niskiej przepuszczalności węgla typu 34 i wyższych (koksowych i specjalnych), które z reguły występują na dużej głębokości i szybkiej kolmatacji otoczenia gazogeneratora przez produkty pirolizy węgla poprzedzającej samo zgazowanie.

Dodatkowe wymagania mogą być sformułowane na podstawie doświadczeń zgazowania naziemnego (tab. 4). Zwracając szczególnie uwagę bardzo ostre wymagania odnośnie zawartości chloru, która zwykle nie jest określana w rutynowych badaniach jakości węgla.

Problem rozpoznania złóż węgla kamiennego do PZW na przykładzie LZW

Szanse stosowania PZW w obrębie niezagospodarowanych złóż LZW są bardzo ograniczone [18, 19]. Kwalifikują się do zgazowania tylko fragmenty pokładów, bardzo rozproszone w przestrzeni złoża. Stosowanie tej metody stwarzałoby zagrożenie dla racjonalnego wykorzystania pozostałych zasobów. Można ją jedynie zastosować w parcelach położonych w stropowej części serii węglonośnej. Stosunkowo niewielkie, ale najlepiej rozpoznane parcele pokładów z górnej części warstw lubelskich, na głębokościach około 800 m, wskazano w złożach Lublin K-9 (fragment pokładu 379) i Lublin K-4-5 (część pokładu 375).

Złoże Lublin K-4-5 znajduje się w obrębie synkliny Radzyń – Bogdanka o przebiegu NW – SE, płaskim dnie i słabo nachylonych skrzydłach oraz mało skomplikowanej tektonice uskokowej. Udokumentowano w nim 18 pokładów. Występuje w nim kilka grubych pokładów, 375, 378, 397, 382 i 391 – możliwych do zagospodarowania tradycyjnymi technikami górniczymi. Jedynym miejscem dla możliwego zastosowania PZW otworami z powierzchni jest pokład 375 położony w górnej części profilu złoża, a zatem jego przeznaczenie na potrzeby PZW nie groziłoby podebraniem wyżej leżących pokładów bilansowych. W jego granicach jedynie jedna parcela spełnia wymagania podziemnego zgazowania, położona na głębokości około 800 m. Spełnia ona wszystkie najważniejsze warunki podejmowania PZW:

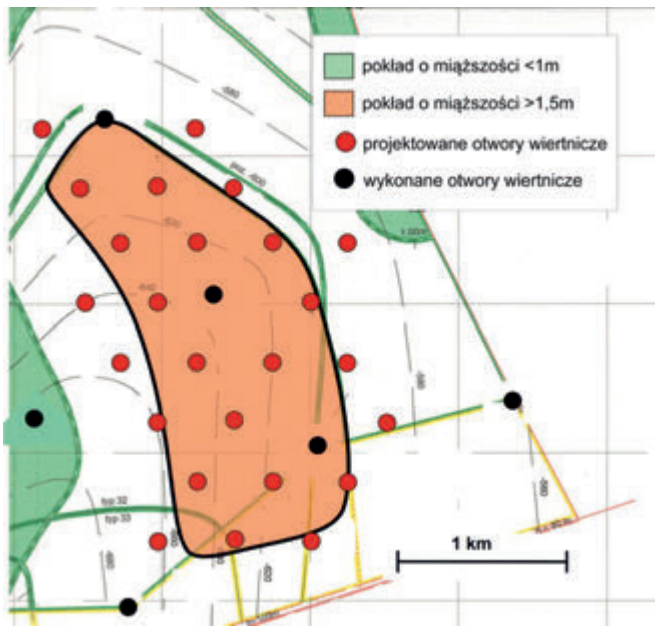
- prawie w całości węgiel typu 32.1 i 32.2,

Tab. 4. Parametry kluczowe węgla kamiennego do zgazowania naziemnego
Tab. 4. Key parameters of hard coal quality for gasification

Parametr	Reaktor ze złożem fluidalnym	Reaktor z przepływem strumieniowym
wartość opałowa MJ/kg	>18	>20
zwartość popiołu %	<25	5 - 20
temperatura topnienia °C	>1100	<1350
zawartość chloru %	<0,1	<0,04
spiekalność metodą Rogi RI	<15	nielimitowana

Rys. 2. Projekt lepszego rozpoznania części pokładu potencjalnie przydatnej do PZW

Fig. 2. Project of better exploration on example of coal seam potentially useful for UCG



- miąższość węgla w pokładzie 1,5 – 2,0 m,
- odległość od spągu zawadzonego nadkładu utworów karbońskich przekracza 100 m,
- brak zaburzeń uskokowych w tej części złoża,
- najbliższy w stropie pokład 373 o miąższości tylko około 1m jest położony w odległości 25-30 m, a leżący niżej pokład 376 ma tam znikomą miąższość,
- nad pokładem 375 dominują w profilu mułowce i iłowce; piaskowce o nieznanym charakterze, stwierdzone np. w otworze SIG-6 w obrębie pakietu iłowcowo-mułowego między pokładami 373 i 375 o grubości 2,3 m, nie tworzą ciągłej warstwy,
- uwarunkowania środowiskowe prowadzenia PZW są względnie korzystne: parcela jest zlokalizowana poza najbliższym obszarem NATURA 2000 PLH 060033 Dobromyśl i tylko w niewielkiej, peryferyjnej części wchodzi w granice Chełmskiego Obszaru Chronionego Krajobrazu, a teren jest słabo zabudowany.

Pokład węgla w granicach tej parceli rozpoznany tylko trzema otworami. Na tej podstawie określona została jej powierzchnia około 4,5 km² i zasoby około 11 mln t.

Przy istniejącym rozpoznaniu złoża niepewne jest położenie granic obszaru, w którym pokład ma miąższość co najmniej 1,5 m i przedstawienie budowy pokładu. Konieczne jest lepsze rozpoznanie tego fragmentu złoża, docelowo w myśl koncepcji przedstawionej na rysunku 2. Złoże powinno być rozpoznane za pomocą otworów badawczych, w pierwszej kolejności pozwalających uściślenie granic obszaru, w którym spełnione są wymagania odnośnie miąższości pokładu, a następnie ich zagęszczenie w siatce o boku około 500 m w celu potwierdzenia jego ciągłości, występowania w nich przerostów oraz dobrego rozpoznania skał bezpośredniego stropu (zwłaszcza położenia piaskowców – ich ciągłości, porowatości, lepiszcza itp.). Jako uzupełniające, wskazane jest wykonanie badań sejsmicznych 3D, które pozwolą na pełniejszą charakterystykę górotworu.

Podsumowanie

Duże znaczenie czynników geologicznych warunkujących prawidłowy przebieg i dobre efekty podziemnego zgazowania węgla powoduje wzrost wymagań odnośnie rozpoznawania złóż. Wymagania te są wyższe aniżeli przy dokumentowaniu złóż węgla kamiennego przewidzianych do klasycznej eksploatacji tradycyjnymi technikami górniczymi. Na potrzeby PZW należy ze szczególną uwagą rozpoznać budowę wewnętrzną złoża, tektonikę, charakter nadkładu oraz warunki hydrogeologiczne w złożu i skałach otaczających.

Zaleca się stosowanie trójkątnej siatki otworów rozpoznawczych o boku co najmniej 500 m i wspomaganie wierceń badaniami sejsmicznymi.

Zilustrowano to przykładem potrzeby lepszego rozpoznania parceli z pokładów LZW, uznanej za potencjalnie przydatną do PZW z uwagi na spełnianie wszystkich najważniejszych kryteriów tej przydatności.

Praca wykonana w ramach Zadania Badawczego nr 3 finansowanego przez NCBiR na podstawie Umowy nr SP/E/3/7708/10 i częściowo w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.140.320.

Literatura

- [1] Czekaj A., Obtułowicz A., *Problemy i kierunki postępu w dokumentowaniu geologicznym złóż węgla kamiennego*. Zesz. Nauk. Pol. Śl., nr 900, Górnictwo zeszyt 149, s. 53-69, 1986
- [2] Górecka M., *Analiza dokładności rozpoznania złóż węgla kamiennego w wybranym rejonie GZW*. Przegl. Geol., nr 4, s.162-163, 1981
- [3] Kicki J., Waclawski J., *Dokładność dokumentowania zasobów węgla w świetle dynamiki zmian ich stanu ewidencyjnego w GZW*. [W:] *Metodyka rozpoznawania i dokumentowania złóż kopalin stałych*. Wyd. AGH, s.5-20, Kraków, 1990
- [4] Kicki J., Waclawski J., *Gospodarka zasobami węgla w poszczególnych fazach działalności geologiczno-górnictwej w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. Przegl. Górn., nr 11, s. 3-10, 1991
- [5] Kozubski F., *Zagadnienie dokładności rozpoznania tektoniki złoża za pomocą wierceń w świetle potrzeb projektowania górniczego*. Przegl. Geol., nr 12, s. 629-632, 1961

- [6] Mucha J., Nieć M., Sobczyk E.J., Wasilewska M., Saługa P., *Ryzyko inwestycji w górnictwie węgla kamiennego jako funkcja dokładności oszacowań parametrów złożowych*. Gosp. Sur. Min., t. 24, z. 2/4, s. 161-173, 2007 b
- [7] Mucha J., Nieć M., Wasilewska M., Sobczyk E.J., Saługa P., *Dokładność szacowania zasobów węgla kamiennego jako element oceny ryzyka inwestycyjnego*. Wyd. AGH, Kraków, 2007 a
- [8] Musiał A., Bednarz J., *Ustalenie optymalnych siatek rozpoznawczych dla złóż węgla kamiennego*. [W]: Optymalizacja siatek wiertniczych przy dokumentowaniu złóż surowców stałych. IG – SiTG, s. 37-44, Warszawa 1976
- [9] Nieć M., *Dokładność i strategia rozpoznawania złóż węgla kamiennego*. Zesz. Nauk. Pol. Śl., nr 900, Górnictwo zeszyt 149, s. 71-86, 1986
- [10] Nieć M., *Dokumentowanie złóż węgla kamiennego i klasyfikacja ich zasobów*. Kierunki zmian. Przegl. Górn., nr 11, s. 32-44, 1991
- [11] Nieć M., *Geologiczne bariery i ograniczenia dla podziemnego zgazowania węgla*. Biul. PIG 448, s. 183 – 194, 2012
- [12] Nieć M., *Uwarunkowania geologiczne eksploatacji otworowej złóż kopalin stałych i podziemnego zgazowania węgla*. Szkoła Ekspł. Podziemnej. Symp. i Konf. IGSMiE PAN nr 74, s. 73 – 84, 2009
- [13] Nieć M., Chećko J., Górecki J., Sermet E., *Stan bazy zasobowej węgla w Polsce i jej problemy złożowo-środowiskowe w odniesieniu do eksploatacji metodą podziemnego zgazowania*. Przegl. Górn., nr 11, s. 28-37, 2014
- [14] Nieć M., Gruszczyk H. i in., *Inwentaryzacja i ocena ekonomiczna złóż węgla kamiennego w Polsce*. Mat. Arch. AGH. Zakł. Geol. Kop. i Zakł. Geol. Gosp./OBR G P E. Kraków-Katowice, 1980
- [15] Nieć M., Młynarczyk M., *Gospodarowanie zasobami węgla kamiennego w Polsce*. Studia Rozprawy monografie 187, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2014
- [16] Obtułowicz A., *Dokumentowanie geologiczne złóż węgla kamiennego a problemy związane z gospodarką zasobami i projektowaniem górnictwem*. Przegl. Geol., nr 8, s. 433-436, 1984
- [17] Rozp. Min. Środ. z dn. 22 grudnia 2011 w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny. Dz. U. 2011.291.1712
- [18] Sermet E., Górecki J., *Ocena szans podziemnego zgazowania węgla w niezagospodarowanych złożach Lubelskiego Zagłębia Węglowego*. Gór. Odkrywk. nr 2, s.19 – 23, 2013
- [19] Sermet E., Górecki J., *Ocena potencjału zasobowego złóż Lubelskiego Zagłębia Węglowego do podziemnego zgazowania węgla*. Gór. Odkrywk. nr 2-3, s. 80 – 84, 2014
- [20] *Zasady dokumentowania złóż kopalin stałych*. Min. Środ., Dep. Geol. i Konc. Geol., KZK, Warszawa 2002



Arboretum w Wojsławicach

fot. z archiwum Arboretum