

GEOLOGICZNE BARIERY I OGRANICZENIA DLA PODZIEMNEGO ZGAZOWANIA WĘGLA

BARRIERS AND LIMITATIONS FOR UNDERGROUND COAL GASIFICATION

MAREK NIEĆ¹

Abstrakt. Przedstawiany optymistyczny pogląd na temat możliwości szerokiego zastosowania podziemnego zgazowania do eksploatacji złóż węgla w Polsce wymaga weryfikacji. Warunki geologiczne mogą stanowić ograniczenia, a nawet barierę dla bezpiecznego jego stosowania. Jedynym kryterium, które jest dostatecznie uzasadnione przez doświadczenia praktyczne jest miąższość pokładów, która powinna być większa od 1,5 m. Warunki eksploatacji polskich złóż węgla brunatnego metodą podziemnej gazyfikacji są trudne, ze względu na występowanie warstw wodonośnych w ich otoczeniu. W złożach węgla kamiennego utrudnienia dla podziemnej gazyfikacji stwarzają: (1) obecność warstw wodonośnych piaskowców w serii węglonośnej, (2) zaburzenia tektoniczne naruszające ciągłość pokładu, (3) przerosty płonne w pokładach, (4) występowanie wielu pokładów w serii węglonośnej, których eksploatacja będzie oddziaływać na siebie.

Istotną cechą pokładów węgla jest ich izolacja od powierzchni, zbiorników wód podziemnych i poziomów wodonośnych przez twory nieprzepuszczalne dla toksycznych produktów zgazowania (CO, fenole). Niezbędna ich miąższość powinna wynosić około 100 m. Warunkiem szczelności jest dodatkowo brak zaburzeń tektonicznych, uskokowych. Przy obecnym stanie wiedzy na temat podziemnego zgazowania węgla, w szczególności odnośnie: przebiegu procesu w zróżnicowanych warunkach geologicznych oraz warunków migracji gazów w górotwór w otoczeniu gazogeneratora i skali możliwych z tego tytułu zagrożeń, brak jest podstaw dla rozważania metody PZW ani jako alternatywnej, ani uzupełniającej dla konwencjonalnych metod eksploatacji w warunkach polskich złóż węglowych. Nie wyklucza to możliwości jej lokalnego zastosowania na małą skalę w wyjątkowych warunkach. Niezbędne są prace badawcze modelowe i eksperymentalne dla określenia warunków stosowania PZW.

Słowa kluczowe: złoża węgla, podziemne zgazowanie.

Abstract. The possibilities of underground gasification of coal in the Polish deposits were previously overestimated. Geological conditions of coal occurrence may restrain or preclude possibility for safe UCG. According to the experimental data the minimum thickness of coal should be at least 1,5m and it is the only one criterion justified enough. The underground gasification of the Polish lignite deposits will be very difficult or impossible due to the presence of aquifers in their close vicinity. In hard coal deposits, underground gasification is restrained by: (1) friable, porous, water-bearing sandstones within coal-bearing series, (2) tectonic disturbances (faults), (3) barren partings in coal seams, (4) numerous coexisting coal seams whose simultaneous gasification may be difficult.

The most important factor for safe UCG is isolation of the coal seams by a sufficiently thick seal of impermeable rocks preventing toxic gases and substances (CO, phenols) escape to the environment. The minimum necessary thickness of such rocks should be close to 100 m. There should be no faults. According to the recent knowledge, there is no possibility to replace conventional underground coal mining by UCG in the Polish coal deposits. Underground coal gasification could be applied only exceptionally. Further investigations of unsolved problems of UCG application are necessary on the minimum safe thickness of undisturbed impermeable rocks surrounding coal seams, and the impact of the seam structure and coal quality on the gasification process and results.

Key words: coal deposits, underground gasification (UCG).

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków

STAN BADAŃ I STOSOWANIA PODZIEMNEGO ZGAZOWANIE WĘGLA

Podziemne zgazowanie od ponad 100 lat inspiruje próby zastosowania tej metody do eksploatacji złóż węgla. Jej idea sformułowana została w drugiej połowie XIX w. Założenia i próby jej praktycznego stosowania miały miejsce w Anglii na początku XX w. (Hajdo i in., 2010). Na szeroką skalę działania zmierzające do jej przemysłowego wykorzystania podjęto jednak dopiero po I wojnie światowej, w byłym Związku Socjalistycznych Republik Radzieckich z inspiracji W.I. Lenina. Uważał on, że w kapitalizmie podziemne zgazowanie węgla „zrodzi masowe nieuchronnie bezrobocie i ogromny wzrost nędzy”, natomiast tylko w socjalizmie pozwoli na uwolnienie robotników od uciążliwości i ryzyka pracy w kopalniach². Próby jej stosowania na złożach w zagłębiu podmoskiewskim i donieckim kończyły się bądź niepowodzeniem (Kler, 1975), bądź prowadzono tą metodą tylko krótkotrwałą eksploatację. Jedynie na złożu twardego węgla brunatnego Angren, obecnie w Uzbekistanie, uruchomiona została długotrwała eksploatacja przemysłowa (Fyodorov i in., 1984). Uzyskiwano tu jednak gaz o niskiej jakości (700–900 kal/dm³), kwalifikujący się tylko do wykorzystania na miejscowe potrzeby (Kler, 1975; Arens, 1986).

Na szeroką skalę prowadzone były badania możliwości zastosowania tej metody na kilku złożach w Stanach Zjednoczonych A. P. (Underground..., 1983). Próby jej stosowania podejmowano też w wielu innych krajach (Green, 2008), nie doprowadziły one jednak do podjęcia systematycznej eksploatacji. Mimo to nadal podejmowane są dalsze próby jej stosowania i nie słabną nadzieje jej wdrożenia na szerszą skalę. Rosnące zainteresowanie możliwością eksploatacji węgla metodą podziemnego zgazowania skłania do rozważania jej zastosowania w złożach polskich (Kowol, 1997; Bednarczyk, 2007; Dubiński i in., 2008).

W opiniach na temat podziemnego zgazowania węgla w Polsce, prezentowanych w wielu publikacjach, przedstawiano optymistyczny pogląd o możliwości szerokiego jej zastosowania do eksploatacji złóż węgla w Polsce. Zakładano, że może ono być alternatywą dla konwencjonalnych metod eksploatacji węgla, w szczególności w pokładach, których eksploatacja nie może być podejmowana ze względów ekonomicznych lub z powodu istniejących zagrożeń (Stańczyk, 2008), w szczególności w pokładach cienkich, na dużej głębokości, a także w resztkach nie wyeksploatowanych pokładów w likwidowanych kopalniach. Prezentowano też, w sposób bezkrytyczny całą bazę zasobową jako podstawę dla optymistycznej oceny możliwości stosowania tej metody na szeroką skalę (Białecka, 2008a, b; Stańczyk, 2008). Opinie te budziły zastrzeżenia (Nieć, 2009; Kasztelewicz i in., 2009). Zwracano uwagę na znaczenie znajomości budowy geologicznej dla właściwego projektowania podziemnego

zgazowania oraz wpływ czynników geologicznych na przebieg procesu PZW i jego efektywność (Kasztelewicz i in., 2009; Nieć, 2009; Palarski i in., 2009). Rozpatrywana jest możliwość podziemnego zgazowania węgla w dwóch wariantach:

- za pomocą otworów wierconych z powierzchni,
- w złożu udostępnionym wyrobiskami górniczymi.

W obu przypadkach warunki geologiczne mogą stanowić ograniczenia, a nawet barierę dla bezpiecznego jej stosowania. Niezbędna jest zatem analiza warunków, jakie powinny być spełnione, by mogła być ona w sposób bezpieczny i efektywny zastosowana. Stosowanie PZW w złożu udostępnionym wyrobiskami górniczymi dodatkowe ograniczenia mogą stwarzać wymagania warunków bezpieczeństwa, wynikające z podobieństwa procesu zgazowania węgla do zjawisk, jakie zachodzą przy podziemnych jego pożarach.

Jednym z argumentów skłaniających do podejmowania prób PZW jest mniemanie, że pozwoli ono na bardziej efektywne i mniej kosztowne wykorzystanie zasobów (Palarski i in., 2009; Magda, 2011). Doświadczenia eksploatacji węgla tą metodą w byłym ZSRR wskazywały jednak, że koszty PZW i klasycznej górniczej eksploatacji są porównywalne, a wykorzystanie zasobów jest podobne lub nawet niższe (Arens, 1986). Stopień wykorzystania węgla w procesie zgazowania wynosi: około 80% w przestrzeni roboczej i poniżej 80% w przestrzeni złoża (Fyodorov i in., 1984). Udział produktów palnych w uzyskiwanym gazie stanowi około 70–80% według dotychczasowych doświadczeń eksploatacji. Łącznie wykorzystanie zasobów złoża wynosi około 50%, to jest znacznie mniej niż w przypadku eksploatacji odkrywkowej. Zatem ze względu na wymagania racjonalnego wykorzystania zasobów złóż jako nieodnawialnego składnika środowiska przyrodniczego złoża dostępne dla eksploatacji odkrywkowej nie powinny być przeznaczane do gazyfikacji. Przedstawione niżej ograniczenia dla stosowania PZW powodują, że wykorzystanie zasobów tą metodą może być porównywalne, a nawet niższe niż w przypadku klasycznej podziemnej eksploatacji górniczej (Arens 1986).

Uważa się także, że PZW pozwala na ograniczenie oddziaływania eksploatacji na środowisko, w szczególności przez eliminację składowania odpadów spalania węgla, nie mniej nie bierze się pod uwagę, że zagrożenie stwarzać mogą również wydobywane produkty zgazowania, szczególnie wybitnie toksyczny tlenek węgla („czad”), który ma w nich znaczący udział. Bezpodstawne są mniemanie, że tą metodą ograniczona zostanie emisja CO₂. Zużycie (spalanie) produktów gazyfikacji jest także źródłem porównywalnej emisji.

² W. I. Lenin – „Jedna z wielkich zdobyczy techniki”. *Prawda* nr 91, 21 kwietnia 1913 r.

OCENA MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA PZW ZA POMOCĄ OTWORÓW WIERCONYCH Z POWIERZCHNI

PODSTAWY OCENY

Mimo licznych prób podziemnego zgazowywania węgla podejmowanych od dawna w wielu krajach (Green, 2008) nie uzyskano dotychczas wyczerpujących i jednoznacznych informacji jakie wymagania musi spełniać złożę węgla i poszczególne pokłady, by mogły kwalifikować się do eksploatacji metodą PZW. Wymagania te określone są na podstawie:

- uogólnienia dostępnych informacji pochodzących z podejmowanych prób podziemnego zgazowania węgla,
- modeli koncepcyjnych przebiegu eksploatacji metodą PZW i zakładanych warunków technicznych prowadzenia procesu,
- doświadczeń eksploatacji metodą otworową innych kopalni i magazynowania podziemnego substancji gazowych,
- zakładanej konieczności pełnego zapewnienia bezpieczeństwa i niezbędnej ochrony środowiska.

DOŚWIADCZENIA EKSPLOATACJI OTWOROWEJ ZŁÓŻ KOPALIN W ODNIESIENIU DO MODELI TEORETYCZNYCH PZW

Eksploatacja węgla metodą podziemnego zgazowania należy do grupy metod otworowych. Metody te stosowane są do eksploatacji wielu kopalni stałych. Ich wydobywanie realizowane jest w różny sposób i różny jest stan poeksploacyjny złoża. We wszystkich przypadkach można jednak wyróżnić szereg ich cech wspólnych (Nieć, 2009). Umożliwia to określenie uwarunkowań geologicznych, w jakich metody otworowe mogą być stosowane efektywnie i bezpiecznie. W przypadku podziemnej gazyfikacji węgla, łącznie z doświadczeniami z dotychczasowych prób jej stosowania, pozwala to na określenie warunków, w jakich może ona być prowadzona (tab. 1).

Złożę kopaliny przewidzianej do eksploatacji otworowej musi posiadać szereg cech warunkujących możliwość jej po-

Tabela 1

Wpływ czynników geologicznych na bezpieczeństwo i efektywność eksploatacji węgla metodą podziemnego zgazowania
Geological impact on safety and effectiveness of UGC

Czynniki geologiczne		Zagrożenia	Możliwe przeciwdziałanie	Uwagi
Budowa i właściwości skał nadkładu	cechy litologiczne, parametry fizyczno-mechaniczne	możliwość nieciągłych deformacji powierzchni, i przestrzeni przyotworowej (zniszczeń otworów), możliwość migracji toksycznych produktów gazyfikacji (CO) do powierzchni	dobrze rozpoznanie odpowiedniego sterowanie eksploatacją	mała grubość nadkładu może wykluczyć możliwość stosowania metody otworowej
	zaburzenia tektoniczne			
Szczelność nadkładu	poziomy wodonośność	możliwość zanieczyszczenie wód podziemnych, możliwość wdarć wody i kurzwawki do przestrzeni roboczej	izolacja poziomów wodonośnych	może wykluczyć możliwość podejmowania eksploatacji
	zaburzenia tektoniczne		dobrze rozpoznanie tektoniki	
Przeobrażenia termiczne skał nadkładu		zmiany właściwości, metamorfizm termiczny (porcelanity, „erdbrandy”)		
Zawodnienie złoża i skał podłożowych		utrudnienia w prowadzeniu eksploatacji	odwodnienie	wzrost kosztów eksploatacji lub jej uniemożliwienie
Niejednorodność budowy złoża	zaburzenia tektoniczne	naruszenie ciągłości złoża nieregularny, ukierunkowany rozwój przestrzeni eksploatacyjnej	dobrze rozpoznanie tektoniki, odpowiednie sterowanie eksploatacją	ograniczenie stopnia wykorzystania złoża
	przerosty skał płonnych	ograniczony lub ukierunkowany rozwój przestrzeni eksploatacyjnej	dobrze rozpoznanie złoża, odpowiednie sterowanie eksploatacją	
	wymycia	naruszenie ciągłości złoża ograniczony lub ukierunkowany rozwój przestrzeni eksploatacyjnej		
Miąższość złoża	duża >5 m	duże osiadania powierzchni, możliwość ograniczonego wykorzystania zasobów	monitoring osiadań, odpowiednie prowadzenie eksploatacji, podszadanie przestrzeni poeksploatacyjnej	
	zmienna	nieregularne osiadania powierzchni		
	mała <1,5 m	utrudnienia w prowadzeniu eksploatacji, straty ciepłe procesu, niska jakość produktów gazyfikacji	dobrze rozpoznanie złoża	ogranicza możliwość prowadzenia eksploatacji
Jakość kopaliny	zawartość składników szkodliwych	możliwe zanieczyszczenie środowiska produktami gazyfikacji (SO ₂ , NO _x , Hg i pirolizy węgla (fenole i in.))	dobrze ujmowanie produktów gazyfikacji i ich oczyszczanie	
	cechy petrograficzne i właściwości węgla	efektywność eksploatacji i jakość produktów gazyfikacji	dobrze rozpoznanie jakości	

dejmowania oraz decydujących o jej powodzeniu. Podstawowymi czynnikami geologicznymi istotnymi dla prowadzenia takiej eksploatacji są:

- miąższość złoża,
- warunki hydrogeologiczne złoża i jego otoczenia,
- rodzaj, budowa i grubość nadkładu,
- tektonika złoża,
- rodzaj i właściwości skał budujących złożo i ich zmiany w wyniku eksploatacji,
- budowa wewnętrzna złoża (jego ciągłość, przerosty skał płonnych itp.).

Podstawową cechą, istotną dla większości złóż, które mogą być eksploatowane metodą otworową, i decydującą o możliwości jej stosowania jest izolacja złoża od otoczenia, w szczególności od utworów wodonośnych. Izolacja może być naturalna lub musi być uzyskana środkami technicznymi przez odpowiednie sterowanie eksploatacją (np. w złożach siarki) lub tworzenie ekranów. Istotne znaczenie ma także grubość nadkładu dla izolacji przestrzeni roboczej w złożu od powierzchni.

Nieuniknionym efektem eksploatacji jest osiadanie powierzchni terenu nad wyeksploatowaną częścią złoża. Wielkość obniżen zależy od jego miąższości i stopnia wypełnienia przestrzeni wyeksploatowanej. Brak możliwości bezpośredniego sterowania przebiegiem procesów w złożu powoduje często nieregularny jego rozwój i w konsekwencji nieregularny kształt tej przestrzeni. Istotne znaczenie mają zwykle w tym przypadku zaburzenia tektoniczne i spękania skał tworzących złożo. Zaburzenia takie naruszają ciągłość złoża i mogą albo utrudniać prowadzenie eksploatacji, albo powodować ukierunkowany przebieg procesów wydobywczych i nieregularny kształt przestrzeni poeksploatacyjnej. Zabur-

zenia tektoniczne, nieciągłe (uskoki, spękania) naruszają ponadto szczelność nadkładu i wpływają na przebieg poeksploatacyjnych obniżen powierzchni.

Zmienność miąższości złoża lub zmienny stopień wyeksploatowania złoża powoduje nieregularny przebieg procesu osiadania powierzchni, urozmaiconą morfologię niecek obniżeniowych i, w związku z tym, trudności w zagospodarowaniu terenu pogórniczego.

Istotny wpływ na przebieg procesu eksploatacji złoża i jego efekty ma budowa wewnętrzna złoża, w szczególności jego ciągłość oraz obecność i rozmieszczenie przerostów płonnych oraz jakość kopaliny i jej zmienność.

DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA W PODZIEMNYM ZGAZOWANIU WĘGLA

Podejmowane dotychczas liczne próby podziemnej gazyfikacji węgla ograniczone są z reguły do niewielkich fragmentów złóż. Nie daje to poglądu na przebieg i efekty jej prowadzenia na dużą skalę, zwłaszcza w złożach wielopokładowych i o zmiennych parametrach.

Jedynym kryterium, które jest dostatecznie uzasadnione przez doświadczenia praktyczne, jest minimalna miąższość pokładów.

Udowodniono (Fyodorov i in., 1984), że efektywny przebieg procesu, oceniany na podstawie wartości opalowej uzyskiwanego gazu, ma miejsce, gdy prowadzona jest gazyfikacja pokładów o miąższości ponad 2 m. Może być zadowalająca jeszcze przy miąższości ok. 1,5 m, ale przy mniejszej efektywność procesu gwałtownie spada (fig. 1). W przypadku małej miąższości pokładów istotne znaczenie dla

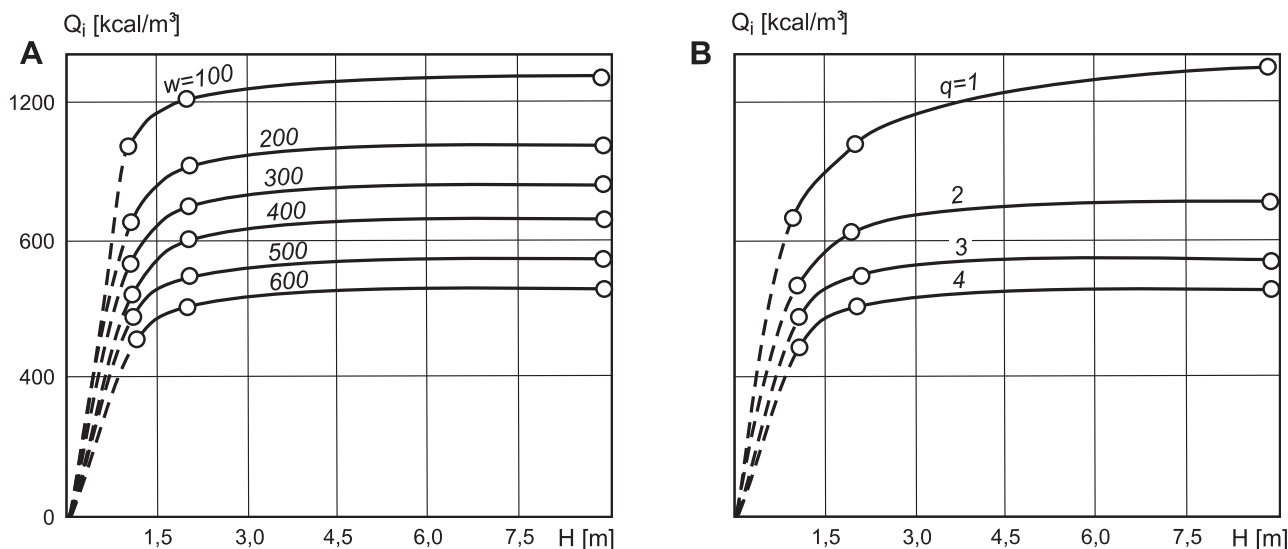


Fig. 1. Zależność wartości opalowej gazu Q_i [kcal/m^3] od miąższości złoża H [m],
A – przy wilgotności węgla w [g/m^3], B – dopływie wody q [m^3/t węgla] (wg Fyodorova i in., 1984)

Gas produced calorific value Q_i [kcal/m^3] dependence of coal thickness H [m],
A – coal moisture w [g/m^3] and B – water inflow q [m^3/t of coal] (acc. Fyodorov *et al.*, 1984)

przebiegu gazyfikacji mają straty ciepła w stropie i spągu pokładu.

Wilgotność węgla, i zawadnienie złoża mają istotne znaczenie dla efektywności procesu mierzonej kalorycznością uzyskiwanych produktów gazowych (fig. 1). W przypadku złóż zawadnionych i występowania utworów wodonośnych bezpośrednio w otoczeniu złoża niezbędne jest ich odwodnienie.

Na skalę przemysłową udało się dotychczas prowadzić podziemne zgazowanie węgla brunatnych twardych. Według doświadczeń zgazowania naziemnego, nie kwalifikują się do zgazowania węgle koksowe, typu 34, 35 i wyższych (Sobolewski, 2010), ale kwestia możliwej ich gazyfikacji nie jest dostatecznie wyjaśniona. Można jedynie przypuszczać, że w przypadku gazyfikacji węgla koksowych wystąpią zjawiska uszczelniania gazogeneratora, przez produkty pirolizy poprzedzającej samo zgazowanie, i utrudniać jego prowadzenie. Węgiel powinien też posiadać niską zawartość Cl i S (w przypadku zgazowania naziemnego odpowiednio do 0,1 i do 2%; tab. 2a). Można przypuszczać, że zmienność jakości węgla jest jednym z czynników zróżnicowania składu produktów gazyfikacji, ale brak na ten temat dostatecznych danych.

Efektom gazyfikacji są toksyczne produkty ciekłe i gazowe. Ich emisja do środowiska może powodować poważne zagrożenia. Długi okres ich migracji w otoczeniu gazogeneratora powoduje, że skażenia środowiska mogą się ujawniać po znacznym upływie czasu. Produkty gazowe, w szczególności ciekłe, powstające w pierwszej fazie koksowania węgla w wysokiej temperaturze poprzedzającej fazę gazyfikacji, stwarzają zagrożenie zanieczyszczeniem wód podziemnych. Zwraca się uwagę w szczególności na fenole jako charakterystyczne wykrywane produkty gazyfikacji (Wong, Mead, 1983). Migracja gazów do powierzchni (w szczególności CO, CH₄) może powodować bezpośrednie zagrożenie bezpieczeństwa publicznego. Zgodnie przyjmuje się zatem, że istotną cechą pokładu i przestrzeni, w której prowadzona jest gazyfikacja (gazogeneratora), jest jego izolacja od po-

wierzchni, zbiorników wód podziemnych i poziomów wodonośnych. Wymaganie szczelności gazogeneratora, jego izolacja, ma dwojakie znaczenie:

- zabezpieczenie przed dopływem wody z zewnątrz z poziomów wodonośnych,
- zabezpieczenie środowiska przed skażeniem: wód podziemnych przez produkty ciekłe pirolizy węgla (w szczególności fenole) oraz wód powierzchniowych, podziemnych i atmosfery przez gazowe produkty gazyfikacji (CO, CH₄, NH₃, H₂S).

Całkowicie brak jest niestety danych zarówno doświadczalnych, jak i modelowych na temat warunków, jakie muszą być spełnione, by odpowiednia szczelność była zapewniona. Brak w związku z tym danych odnośnie niezbędnej minimalnej miąższości utworów izolujących pokład, nieprzepuszczalnych dla toksycznych produktów zgazowania, w szczególności po naruszeniu tych utworów przez deformacje poeksploatacyjne i przemiany fazowe skał pod wpływem wysokiej temperatury.

Wobec braku bezpośrednich danych obserwacyjnych wymagania odnośnie miąższości skał izolujących gazogenerator określane są drogą pośrednią na podstawie:

- modelu pojęciowego zachowania się nadkładu nad gazogeneratorem,
- obserwacji i modeli teoretycznych migracji naturalnych gazów złożowych (metanu) w otoczeniu wyrobisk eksploatacyjnych (w warunkach klasycznej eksploatacji podziemnej),
- warunków szczelności pułapek złożowych w naturalnych złożach gazu ziemnego.

Wypowiadane na tej podstawie opinie na temat wymaganej miąższości skał nieprzepuszczalnych, izolujących gazogenerator są bardzo zróżnicowane. Podawane są wielkości od 10 do 100 m. Istotne znaczenie ma w tym przypadku naruszenie nadkładu nad przestrzenią wyeksploatowaną, jego spękanie i wzrost przepuszczalności. Nad wyeksploatowaną przestrzenią następuje zawał skał stropowych. Przyjmuje się, że powyżej zawału powstaje strefa przepuszczalnych

Tabela 2a

**Parametry węgla kamiennego dla naziemnego zgazowania
(wg IChPW w Zabrze; Sobolewski, 2010)**

Demanded coal quality for gazification (acc. Sobolewski, 2010)

Rodzaj parametrów (znaczenie)	Parametr	Wartość (w zależności od rodzaju reaktora)
Krytyczne	zawartość popiołu A ^r [%]	do 20–25%
	wartość opałowa Q ^r MJ/kg]	do 18–22
	zawartość chloru (Cl) [%]	do 0,04–0,1
	spiekalność metodą Rogi RI	0, poniżej 5
Istotne	zawartość części lotnych V ^a [%]	do 20
	zawartość wilgoci całkowitej W _t ^r [%]	do 15
	zawartość siarki całkowita S _t ^r [%]	do 2,0
	zawartość azotu N ^a [%]	do 2,0
Wybrane dodatkowe	zawartość rtęci Hg [ppm]	do 0,04–0,06

Tabela 2b

Proponowane kryteria kwalifikacji węgla do podziemnego zgazowania

Proposed criteria of coal seams selection for UGC

Kryterium	Wymagania wstępnie przyjęte		Określone na podstawie szczegółowej oceny (Drzewiecki, 2011)
	Wg. B. Białeckiej (2008b, s. 17, 113, 114)	Wg innych propozycji (Hajdo i in., 2010; Palarski i in., 2009; Masztalerz i in. 2011)	
Typ węgla	Dowolny	Kamienne, niekoksowe	31–32
Właściwości fizyczne i chemiczne węgla	zalecane duża zawartość części lotnych (ponad 20%), słaba zdolność spiekania lub jej brak, wilgotność do 20%, zawartość popiołu do 50%	popiół do 40%, do 50%, do 60%, wilgotność do 15%, zawartość siarki do 1%	do 30% popiołu, poniżej 35% cz. lotnych, do 15% wilgoci, do 1% S, ponad 20 MJ/kg zob. tab. 2a
Głębokość położenia	zależnie od oceny ekonomicznej, co najmniej 20 m, wskazane ponad 100 m; ponad 600 m duże koszty wierceń	30–800 m co najmniej 100, ponad 150, zazwyczaj ponad 200 m, zalecana 200–400 m, 600–1200 m (dla metanizacji) n/z ponad 10	ponad 100 (200) miąższość
Miąższość pokładu	ponad 1 m (0,5 m), zalecana ponad 2 m	ponad 1 m, 1–15 m 2–5 m, ponad 2 m, ponad 5 m, w pokładach nachylonych ponad 0,6 m	ponad 2 m
Zmienność miąższości pokładu		25%	
Przerosty w pokładzie		brak, pojedyncze do 1 m (do 20% miąższości pokładu)	brak
Odległość od najbliższego pokładu		15 m	ponad 10 m
Kąt nachylenia pokładu	dowolny, optymalny 18°	wskazane upad pokładu ponad kilka stopni, do 70°	poniżej 70°
Rodzaj i szczelność skał otaczających, miąższość	zalecana szczelność i zwięzłość, nadkład słabo przepuszczalny (gliny, ility), grubość skał izolujących w stropie 2–4 m ponad pokładem o miąższości 2,5–10 m, stosunek porowatości węgla do porowatości skał otaczających mniejszy od 18 (20)	odległość od głównych poziomów wodonośnych w stropie ponad 100 m, ponad 60 m, 1,5 M, 50+5 M (M-miąższość pokładu), zwięzły nadkład ponad 15 m, odległość do odległych poziomów wodonośnych ponad 31 m	miąższość skał nieprzepuszczalnych w nadkładzie bezpośrednim ponad 10 m
Warunki hydrogeologiczne	zalecany brak spekań, uskoków, warstw wodonośnych, zbiorników wodnych powodujących dopływ wód, maksymalnie do 0,5 m ³ wody na 1 t węgla zgazowywanego	poziomy wodonośne izolowane przepuszczalność skał nadkładu poniżej 5 mD przepuszczalność węgla 50–150 mD	całkowita izolacja od poziomów wodonośnych
Tektonika	zalecany brak uskoków	brak zaburzeń tektonicznych w odległości do 1 km, odległość od głównych uskoków min. 0,8 km, zrzut uskoków w pokładzie do 25% miąższości (odległość między uskokiemi ponad 30 m)	brak struktur uskokowych, fałdowych w odległości do 50 m
Wielkość zasobów	zależnie od oceny ekonomicznej, zalecane ponad 3 Gg	ponad 3,5 Gg ponad 5 Gg ponad 15,4 mln m ³	
Metanonośność			poniżej 2 m ³ CH ₄ /t _{csw}
Odległość	od czynnych kopalń	ponad 500 m, ponad 3200 m	
	od nieczynnych kopalń	ponad 500 m, ponad 1,6 km	
	od zabudowy, zbiorników wód powierzchniowych	ponad 1,6 km	od linii kolejowych 0,4 km ponad 300 m

spękań, o miąższości równej około 40-krotnej grubości pokładu (Kidybiński, Siemek, red., 2006).

Można przyjąć, że przy uwzględnieniu:

- pełnego zawału stropu nad gzogeneratorem i samopodsadzenia przestrzeni wyeksploatowanej na wysokość równą 5 M (gdzie M miąższość pokładu i przy założeniu współczynnika rozluźnienia skał w zawale 1,2),
- miąższości strefy poeksploatacyjnych spękań łącznie ze strefą zawału 60 do 70 m (dla pokładów o miąższości 2–4 m),
- nienaruszonej wyżej leżącej izolującej półki skał nieprzepuszczalnych, o grubości minimalnej 10 m,

gazogenerator powinien być odległy od utworów zawodnionych w stopie o minimum 70–80 m. Ze względu na niejednorodność litologiczną utworów karbońskich powinno się przyjmować tę odległość około 100 m. Odpowiada to miąższości półki ochronnej przyjmowanej w Lubelskim Zagłębiu Węglowym dla serii węglonośnej występującej pod zawodnionym nadkładem utworów jurajskich i kredowych. Zarazem jest to odległość przyjmowana jako zasięg migracji gazów w stropie wyrobiska eksploatacyjnego (Kozłowski, Grębski, 1982).

Warunkiem szczelności gazogeneratorka jest brak zaburzeń tektonicznych, uskokuwowych naruszających ciągłość

pokładu i stanowiących potencjalne drogi migracji gazowych produktów reakcji do otoczenia. Na temat niezbędnej odległości gazogeneratorka od uskoków brak jest również przekonywujących danych. Przyjmuje się, że nie powinny one występować w promieniu od 50 m do 1 km.

Zaburzenia tektoniczne, w szczególności układ spękań, wpływają na rozwój procesów zgazowania w złożu (Orlov, Katajev, 1988), a w konsekwencji na kształt przestrzeni wyeksploatowanej (Bartke, Gunn, 1983).

W polu nienaruszonym uskokami zasoby powinny zapewnić efektywne wykorzystanie złoża. Przyjmuje się, że minimalne jego zasoby powinny wynosić 3–5 mln t, co przy miąższości pokładu 2 m odpowiada przeciętnie powierzchni około 1,5 mln m² (1,5 km²).

W zależności od doświadczeń praktycznych zakładanych modeli teoretycznych przebiegu PZW, określane są różne kryteria kwalifikacji pokładów do podziemnego zgazowania (tab. 2b). Dla wstępnej oceny możliwości stosowania PZW można przyjąć, że pokłady węgla przeznaczone do eksploatacji tą metodą powinny spełniać kryteria zestawione w tabeli 3.

Przy obecnym stanie wiedzy i na podstawie przeprowadzanych eksperymentów podziemnego zgazowania węgla

Tabela 3

Warunki niezbędne dla efektywnego zgazowania podziemnego węgla przy obecnym stanie niewiedzy na temat przebiegu procesu w warunkach naturalnych

Conditions of UGC application according to the recent state of the art

Cechy złóż: pokładów i węgla		Wymagane	Niewyjaśniona przydatność	Nieprzydatne
Właściwości węgla	stopień uwęglenia (typ)	31–32	typ 33 i wyższe węgle brunatne miękkie	
	zawartość popiołu w pokładzie (węgla wraz z przerostami)	do 30%		
	wilgotność	maksimum 15–20%	ponad 20%	
	zawartość siarki	do 2%	ponad 2%	
	zawartość innych pierwiastków szkodliwych	brak	dopuszczalna zawartość Cl, metali ciężkich	
Cechy pokładu	miąższość	ponad 2 (1,5m)	przydatność pokładów o miąższości 1,0–1,5 m	pokłady cienkie o miąższości do (1,5) 1,0 m
	przerosty płonne	brak	dopuszczalny maksymalny udział przerostów i ich miąższość	
	rodzaj stropowych i spagowych	nieprzepuszczalne mułowce, ilowce	piaskowce małoporowate, wpływ przeobrażeń termicznych skał ilastych, węglanowych na przebieg i efektywność procesu (straty ciepłne)	porowate piaskowce, piaskowce zawodnione
	grubość nadkładu	ponad 100 m		poniżej 100 m
	miąższość nadkładu nieprzepuszczalnego dla gazów	ponad 100 m	poniżej 100 m	
	odległość stropu pokładu od warstw wodonośnych (głównych) w nadkładzie z zasobami dynamicznymi	ponad 40 + 6 Z [m], gdzie Z miąższość pokładu	od 10 m do 40 + 6 Z [m]	poniżej 10 m
	zuskokowanie	brak uskoków	minimalna odległość od uskoków „pokładowych”	obecność uskoków „pokładowych”
	metanonośność	< 2 m ³ /t _{csw}	> 2 m ³ /t _{csw}	
Cechy złoża wielopokładowego i serii węglonośnej		brak poziomów wodonośnych w serii węglonośnej	odległość pokładów od poziomów wodonośnych, odległość od pokładów sąsiednich	

niewyjaśnione są warunki, jakie muszą być spełnione, by metoda ta mogła być stosowana do eksploatacji pokładów o miąższości poniżej 1,5 m, o gorszych parametrach jakości węgla. Kluczowym, nierozwiązanym zagadnieniem jest też, dotychczas nieokreślona, minimalna niezbędna miąższość utworów izolujących pokład, zabezpieczających przed migracją toksycznych gazów w otoczenie, w perspektywie

długookresowej. Możliwość dalekiej ich migracji istnieje zwłaszcza w przypadku naruszenia górotworu w wyniku eksploatacji. Z tego powodu możliwość stosowania podziemnego zgazowania w niewyekspluowanych resztkach pokładów jest mało prawdopodobna, tym bardziej, że przyczyną zaniechania wcześniej prowadzonej ich eksploatacji często są zaburzenia tektoniczne (zwłaszcza zuskokowanie).

PROBLEMY ROZPOZNAWANIA ZŁOŻ Z PUNKTU WIDZENIA PZW

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

- warunków hydrogeologicznych złoża, w jego nadkładzie i utworach podłożowych,
- budowy nadkładu i właściwości izolujących budujących go utworów,
- tektoniki,
- formy i budowy wewnętrznej złoża,

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 (tab. 4).

Dla w miarę poprawnego określenia położenia głównych zaburzeń tektonicznych niezbędne jest rozpoznanie złoża węgla kamiennego otworami wiertniami w siatce trójkątnej równobocznej o boku poniżej 500 m (Nieć 1986). Wspomagane powinno być ono badaniami sejsmicznymi, w miarę możliwości 3D. Wskazane jest też odpowiednie zagęszczenie otworów rozpoznawczych, które później mogą być wykorzystane jako eksploatacyjne. W złożach węgla brunatnego istotne jest dobre rozpoznanie budowy nadkładu, w którym występują utwory wodonośne o zmiennym położeniu. Odległości między otworami rozpoznawczymi powinny wynosić w tym przypadku, co najwyżej 150–200 m.

Tabela 4

Stosowane kryteria oceny stopnia rozpoznania złóż węgla kamiennych dla eksploatacji konwencjonalnej

Criteria of coal resources categorization for underground mining

Grupa złoża (stopień skomplikowania budowy geologicznej i zmienności jakości węgla)	Odległości między otworami wiertniczymi lub wyrobiskami górniczymi dla kategorii rozpoznania [m]			
	C ₂	C ₁	B	A
I	4000–3000	3000–1500	1500–1000	tylko wyrobiska górnicze do 500
II	3000–1500	1500–1000	1000–500 w tym conajmniej jedno wyrobisko górnicze	tylko wyrobiska górnicze do 300
III	1500–1000	1000–00	tylko wyrobiska górnicze 200–250	tylko wyrobiska górnicze do 200

OCENA MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA PZW W WARUNKACH ZŁOŻ POLSKICH

Warunki eksploatacji polskich złóż węgla brunatnego metodą podziemnego zgazowania są trudne ze względu na występowanie warstw wodonośnych w nadkładzie, w rozcięciach erozyjnych (wymyciach) i poniżej złoża.

W złożach węgla kamiennego utrudnienia dla podziemnej gazyfikacji stwarzają (tab. 5):

- obecność warstw wodonośnych piaskowców w serii węglonośnej,
- zaburzenia tektoniczne naruszające ciągłość pokładu,
- występowanie wielu pokładów w serii węglonośnej, których eksploatacja będzie oddziaływać na siebie,
- duży udział pokładów o miąższości poniżej 1,5 m.

Tabela 5

Informacje niezbędne dla oceny bazy zasobowej węgla do zgazowania podziemnego

Necessary data for evaluation of coal resources for underground gazification

Cechy pokładu	Wymagania	Stan wiedzy
Miaższość pokładu	przynajmniej 1,5 m	duże straty ciepła w przypadku eksploatacji pokładów cienkich <1,5–2 m.
Przerosty	zakładany brak przerostów	rola nieokreślona. Ograniczone zgazowanie poszczególnych law węglowych
Izolacja pokładu	odpowiednia miąższość skał izolujących, nieprzepuszczalnych dla gazów zabezpieczająca przed możliwością migracji gazów	nieokreślona miąższość skał izolujących, nieprzepuszczalnych dla gazów w warunkach osiadania poeksploatacyjnego
Wpływ rodzaju skał stropowych na przebieg procesu	nieokreślony	duże straty ciepła w piaskowcach zawodnionych, w ilowcach (odwodnienie, przemiany fazowe, metamorfizm termiczny do 80 m ponad stropem pokładu, wzrost porowatości), w piaskowcach o lepszemu węglanowym (rozkład) Prawdopodobnie najlepsze warunki jeśli w stropie pokładu mułowce lub piaskowce, zbite nieporowate, niespękane o lepszemu krzemionkowym
Eksploatacja złoża wielopokładowego	wymagania i warunki nieokreślone	praktycznie brak danych eksperymentalnych. Naruszenie górotworu, duże zagrożenie emisją produktów gazyfikacji przez górotwór spękany w wyniku eksploatacji

Tabela 6

Czynniki ograniczające lub wykluczające możliwość stosowania PZW

Factors limiting UGC application to polish hard coal deposits

Zagłębie	Czynniki ograniczające	Czynniki wykluczające	Uwagi
DZW	niewielki udział węgla typu 32–33, zaburzenia tektoniczne	niewyjaśniony wpływ CO ₂ w gazach złożowych i zagrożenia wyrzutami węgla i skał	
LZW	niewielkie fragmenty odosobnionych pokładów o miąższości ponad 1,5 m, liczne przerosty płonne w pokładach	pokłady położone blisko stropu serii węglonośnej pod nadkładem zawodnionych utworów jurajskich i kredowych	rozpatrywane mogą być pokłady na głębokości ponad 800 m
GZW	częściowo pokłady typu 33 i wyższych		
	pokłady o miąższości ponad 1,5 m w serii mułowcowej (warstwy załęzkie i brzeskie) blisko położone w stosunku do siebie i innych o miąższości mniejszej. Blisko siebie położone pokłady w warstwach siódłowych (w górnośląskiej serii piaskowcowej) bez dostatecznej wzajemnej izolacji	pokłady w krakowskiej serii piaskowcowej (grupy 100 i 200) ze względu na wysoką przepuszczalność piaskowców i występowanie w ich obrębie użytkowych poziomów wodonośnych)	
	metanonośność pokładów ponad 2 m ³ /t _{esw} , zwykle poniżej pokładu 328 oraz pod nadkładem mioceńskim		
	częste bardzo silne zuskokowanie		często przyczyna pozostawiania niewybranych resztek pokładów
	znaczny udział węgla koksowych (typ 34–35)		

W szczególności w granicach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego przy obecnym stanie wiedzy na temat PZW i techniki jego stosowania praktycznie brak możliwości użycia tej metody do eksploatacji pokładów węgla w krakowskiej serii piaskowcowej (z warstw libiązkich grupy 100 i łazkich grupy 200) z powodu ich słabej izolacji, występo-

wania wśród słabozwięzłych wodonośnych piaskowców mających kontakt z głównymi poziomami wód podziemnych. W większości obszaru GZW stosowanie podziemnego zgazowania może utrudnić lub nawet uniemożliwić silne zuskokowanie złóż. Bloki tektonicznie niezaburzone dużymi uskawkami, o zrzutach większych od miąższości pokładów,

Tabela 7

Podstawowe problemy oceny bazy zasobowej węgla do zgazowania podziemnego
Unsolved problems of UGC application

Cechy pokładów i warunków eksploatacji	Problem	Uwagi
Miąższość pokładu	możliwość eksploatacji pokładów cienkich	duże straty ciepła w przypadku eksploatacji pokładów cienkich <1,5–2 m
Przerosty	rola nieokreślona	ograniczone zgazowanie poszczególnych ław węglowych
Izolacja pokładu	nieokreślona minimalna miąższość skał izolujących, nieprzepuszczalnych dla gazów w warunkach osiadania poeksploatacyjnego	możliwość dalekiej migracji gazów w spękanych nadkładzie
Wpływ rodzaju skał stropowych na przebieg procesu	nieokreślony, duże straty ciepła w piaskowcach zawodniowych, w ilowcach (odwodnienie, przemiany fazowe, metamorfizm termiczny do 80 m ponad stropem pokładu, wzrost porowatości), w piaskowcach o lepiszczu węglanowym (rozkład)	prawdopodobnie najlepsze warunki, jeśli w stropie pokładu mułowce lub piaskowce, zbite nieporowate, niespękane o lepiszczu krzemionkowym
Eksploatacja złoża wielopokładowego	praktycznie brak danych eksperymentalnych	naruszenie górotworu, duże zagrożenie emisją gazów przez górotwór spękany w wyniku eksploatacji

mają przeciętnie wymiary około 25 ha. W wielu rejonach obecne są jednak liczne uskoki „pokładowe”, o zrzutach porównywalnych z miąższością pokładów lub mniejszych.

W Lubelskim Zagłębiu Węglowym występują tylko pojedyncze pokłady o miąższości ponad 1,5 m, z reguły na ograniczonym obszarze, które mogą być brane pod uwagę jako obiekt gazyfikacji.

W Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym przeszkodę w stosowaniu podziemnego zgazowania stanowią intensywne zaburzenia tektoniczne, dominujący udział węgla koksowych (od typu 34 aż do antracytu) oraz niewyjaśniona rola dużego udziału CO₂ w gazach złożowych i związanego z tym zagrożenia wyrzutami węgla i skał.

Przy obecnym stanie wiedzy na temat podziemnego zgazowania węgla (tab. 6), w szczególności odnośnie:

- przebiegu procesu w zróżnicowanych warunkach geologicznych,
 - warunków migracji gazów w górotwór w otoczeniu gazogeneratora i skali możliwych z tego tytułu zagrożeń,
- brak jest podstaw dla rozważania metody PZW ani jako alternatywnej ani uzupełniającej dla konwencjonalnych metod eksploatacji w warunkach polskich złóż węglowych. Nie wyklucza to możliwości jej lokalnego zastosowania na małą skalę w wyjątkowych warunkach. Jednakże należy mieć na uwadze, że wyeksploatowanie małego fragmentu pokładu (lub pokładów) może uniemożliwić wybranie pozostałych metodami konwencjonalnymi ze względu na stworzone zagrożenia. Niezbędne są prace badawcze w celu wyjaśnienia szeregu zagadnień (tab. 7). Może być ono uzyskane za pomocą odpowiedniego modelowania i badań eksperymentalnych.

LITERATURA

- ARENS V.Ž., 1986 — Skvazinnaja dobcza poleznych iskopajemych. Niedra. Moskva.
- BARTKE T.C., GUNN R.D., 1983 — The Hanna, Wyoming underground coal gasification field test series. *W: Underground gasification: the state of the art. AIChE Symp. Ser.* **79**, 226: 4–14.
- BEDNARCZYK J., 2007 — Rozwój technologii podziemnego zgazowania węgla i perspektywy jej przemysłowego wdrożenia. *Górn. i Geoinż.*, **31**, 2: 87–104.
- BIAŁECKA B., 2008a — Estimation of coal resources for UGC in the Upper Silesian Coal Basin, Poland. *Nat. Resources Research.*, **17**, 1: 21–28.
- BIAŁECKA B., 2008b — Podziemne zgazowanie węgla. Podstawy procesu decyzyjnego. GIG, Katowice.
- DRZEWIECKI J., 2011 — Kryteria technologiczne i środowiskowe podziemnego zgazowania węgla. Opracowane technologii zgazowania węgla dla wysokoelektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej. Mat. Arch. GIG, Katowice.
- DUBIŃSKI J., ROGUT J., CZAPLIKA K., TOKARZ A., 2008 — Coal mine of 21st: In situ producer of energy, fuels and chemicals. *W: New technological solutions in underground mining. International Mining Forum 200*: 61–13. Taylor&Francis. London.
- FYODOROV N. A., KREININ E. V., ZVYGIANTSEV K. N., 1984 — Underground coal gasification and its application in world practice. *W: Energy resources of the world. 27th nt. Geol. Congress. Coll 02 Reports vol. 2*: 121–133. P.O.Nauka. Moscow.
- GREEN M., 2008 — Underground coal gasification, state of the art. Clean Coal Conf. Bedewo, Poland.
- HAJDO S., KLICH J., PTAK K., 2010 — Uwarunkowania podziemnego zgazowania węgla – 100 lat rozwoju metody. *Górn. i Geoinż.*, **34**, 4: 225–235.

- KASZTELEWICZ Z., PTAK K., ZAJĄCZKOWSKI M., 2009 — Szanse i zagrożenia podziemnego zgazowania węgla. *Prz. Gór.*, **1-2**: 8–11.
- KIDYBIŃSKI A., SIEMEK J. (red.), 2006 — Podziemne magazyny gazu w zaniechanych kopalniach węgla. GIG, Katowice.
- KLER W.R., 1975 — Izuczenije i geologo-ekonomičeskaja ocenka kaczestva uglej pri geologorazwiedocznych rabotach. Niedra. Moskva.
- KOWOL K., 1997 — Szanse i perspektywy podziemnego zgazowania węgla. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej. IGSMiE PAN, Kraków.
- KOZŁOWSKI B., GRĘBSKI Z., 1982 — Odmetanowanie górotworu w kopalniach. Wyd. Śląsk, Katowice.
- MAGDA R., 2011 — Ekonomiczne aspekty podziemnego zgazowania węgla – na przykładzie Karbon Energy. *Polit. Energet.*, **11**, 2: 261–272
- MASTALERZ M., DROBNIAK A., PAKE M., RUPP J., 2011 — Site evaluation of subsidence risk, hydrogeology, and characterization of Indiana coals for underground coal gasification. Report of progress.
- NIEĆ M., 1986 — Dokładność i strategia rozpoznawania złóż węgla kamiennego. *Zesz. Nauk. PŚl. 900: Górnictwo*, **149**: 71–86.
- NIEĆ M., 2009 — Uwarunkowania geologiczne eksploatacji otworowej złóż kopalni stałych i podziemnego zgazowania węgla. Szkoła Eksp. Podziemnej. *Symp. i Konf. IGSMiE PAN.*, **74**: 73–84.
- ORŁOV G.V., KATAJEV A.B., 1988 — Opredielenije treszczinowatosti ugolnogo płasta pri podziemnoj gazifikacii uglej. Geologija, metody poiskow i razwiedki mioestorożdijenij twiordych gorjuczich iskopajemych. Ekspres. Inform. Min. Geol. SSSR, wyp.9, Moskva.
- PALARSKI J., WIRTH H., KARAŚ H., 2009 — Koncepcja eksploatacji złóż węgla brunatnego z zastosowaniem technologii zgazowania termicznego. Szkoła Eksp. Podziemnej. *Symp. i Konf. IGSMiE PAN*, **74**: 41–53.
- SOBOLEWSKI A., 2010 — Kryteria technologiczne przydatności węgla do zgazowania naziemnego. Opracowane technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej. *Mat. Arch. IPChW, Zabrze*.
- STAŃCZYK K., 2008 — Czyste technologie użytkowania węgla, GIG, Katowice.
- UNDERGROUND gasification: the state of the art — 1983. *AICHE Symp. Ser. V.*, **79**, 226.
- WONG F.T., MEAD S.W., 1983 — Water quality monitoring at the Hoe Creek test site: review and preliminary conclusions. *Underground gasification: the state of the art. AICHE Symp. Ser. V.*, **79**, 226: 154–173.

SUMMARY

For 100 years there have been attempts to introduce underground gasification (UCG) to coal mining. Most of them allowed short-time gas production only, or were unsuccessful. The Angren coal deposit in Uzbekistan is the only one where long-term industrial coal gasification has been implemented. Several optimistic opinions were presented in Poland that the UCG process may be used in low-thickness coal seams at great depth and in unrecovered coal in abandoned mines.

The detailed review of the UCG process demonstrates that geological conditions of coal occurrence may restrain or preclude its safe utilization (Tab. 1).

Based on experience of UCG projects and theoretical modelling of that process, different criteria were presented for selection of coal deposits as suitable for underground gasification (Tab. 2). Preliminary selection criteria of coal seams for underground gasification are listed in Table 3.

According to experience of underground coal gasification, the recovery of combustible gas products is only about 50%. The main limiting factor of coal gasification is the seam thickness and permeability of surrounding rocks (Tab. 1). Coal thickness should be over 1.5 m. If it is below 1.5 m, heat losses in wall rocks result in a decrease of calorific value of produced gas (Fig. 1). The gasification products contain considerable amount of toxic carbon oxide (CO)

and phenols that were produced in precursory coal pyrolysis. Both may contaminate groundwater and are hazardous to the environment and population safety if migrate to the surface. The minimum thickness of rocks between the coal seam and the aquifer or ground surface should be about 100 m (considering total collapse of overburden into working pace in seam, total thickness of fractured rocks due to mining equal 40 times worked coal thickness and 10 m seal of overlaying impermeable rocks). There should be no faults in the area of gas generation, which may be pathways of gasification products.

The high-rank coking coal (type 34 and 35 according to the Polish classification) is not suitable for gasification because pyrolytic products may seal the gas-producing working space and limit its propagation.

The numerous faults in the Upper Silesian Coal Basin may considerably restrain coal gasification. Practically, it is impossible in the coal seams located within the Krakow sandstone series (Libąz and Łaziska beds) because they occur within highly permeable sandstones of and represent the main water-rich aquifer.

In the Lublin Coal Basin the over 1.5-m-thick coal seams suitable for gasification are infrequent and occur in small areas only.