

*Stanisław Hajdo\*, Jerzy Klich\*, Krzysztof Polak\**

## UWARUNKOWANIA PODZIEMNEGO ZGAZOWANIA WĘGLA — 100 LAT ROZWOJU METODY\*\*

---

### 1. Wstęp

Obecnie trwa w Europie dyskusja na temat bezpieczeństwa energetycznego oraz kształtu rynku energetycznego. Polska, w porównaniu z innymi krajami UE, jest jednym z krajów, które cechuje względnie wysoki wskaźnik niezależności od importu surowców energetycznych. Stan ten wynika ze znacznego udziału w rynku energii krajowych zasobów surowców energetycznych, przede wszystkim węgla brunatnego i kamiennego. Węgiel brunatny eksploatowany jest metodą odkrywkową, a surowiec ten jest paliwem na bazie którego produkuje się w Polsce ponad 1/3 energii elektrycznej. Polska jest jednym z krajów, które posiadają udokumentowane i wciąż niezagospodarowane duże bilansowe zasoby węgla brunatnego. Jednak eksploatację odkrywkową cechuje konieczność zajmowania znacznych powierzchni terenu, które przeznaczane są pod wyrobiska odkrywkowe, zwałowiska oraz tereny przemysłowe. Wymaga to zazwyczaj wywłaszczenia dotychczasowych użytkowników nieruchomości gruntowych oraz przesiedlenia mieszkańców.

W związku z powyższym plany zagospodarowania nowych złóż węgla brunatnego napotykać na coraz większy opór samorządów i środowisk lokalnych. Lokalnym społecznościom przedstawia się niekiedy jako alternatywę możliwość wykorzystania niekonwencjonalnych metod eksploatacji złóż, pozwalających na zachowanie wartości użytkowej terenów położonych nad eksploatowanymi złożami. Jedną z tych niekonwencjonalnych metod jest podziemne zgazowanie węgla. Tymczasem prace nad rozwojem metody trwają w wielu krajach świata od ponad 100 lat. Wyniki doświadczeń doczekały się wielu publikacji, w których przedstawiono wnioski oraz wynikające z nich wskazania, warunki stosowalności metody

---

\* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

\*\* Pracę sfinansowano z badań prowadzonych w ramach zadania badawczego pt.: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej. Projekt realizowany jest w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych „Zaawansowane Technologie Pozyskiwania Energii” i finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

w tym wymagania geosrodowiskowe. Dla sformułowania wstępnych ocen dotyczących możliwości zastosowania metody w konkretnych warunkach warto przyglądać się dotychczasowej skali i результатам prac badawczych, pilotowych oraz przemysłowych w zakresie podziemnego zgazowania węgla brunatnego na świecie.

## **2. Rozwój metody podziemnego zgazowania węgla na przestrzeni ostatniego wieku**

Początek historii geotechnologicznych metod eksploatacji złóż stałych sięga drugiej połowy XIX wieku kiedy to zarysowano pierwsze koncepcje prowadzenia eksploatacji otworowej siarki rodzimej, soli kamiennej i podziemnego zgazowania węgla. Koncepcja podziemnego zagazowania węgla po raz pierwszy została zarysowana przez braci Siemens w 1868 roku. Dwadzieścia lat później Dmitrij Mendelejew pisał: *... nastąpi z czasem nawet taka epoka, że węgla nie będzie się wydobywać z ziemi, a tam w ziemi będzie przekształcany w gazy palne, które rurociągami będą przesyłane na dalekie odległości* [1].

Nieco później opracowywał on podstawy teoretyczne koncepcji podziemnego zgazowania węgla, które opublikował na początku w lat 90. XIX wieku. Twierdził on, że konwersja węgla w gaz w złożu pozwoli na znaczną redukcję kosztów jego eksploatacji.

Pierwszy patent w zakresie podziemnego zgazowania węgla uzyskał amerykański wynalazca A. G. Betts w 1909 roku. Nad problemem podziemnego zgazowania węgla w latach 1910–1915 pracował znajomy Mendelejewa, angielski chemik Sir Whiliam Ramsey. Zaplanował on pierwszy eksperyment podziemnego zgazowania węgla w 1912 roku. Istota gazogeneratorskiego pomysłu polegała na prowadzeniu procesu zgazowania węgla przez pojedyncze, wyodrębnione otwory podobne do tych, którymi prowadzi się wydobycie soli metodą ługowania. Uzyskał on wsparcie finansowe na prowadzone badania lecz eksperyment nie doszedł jednak do skutku. Z powodu wybuchu I wojny światowej wszystkie eksperymenty w Anglii zostały zarzucone i nie zostały wznowione do zakończenia II wojny światowej.

Centrum rozwoju tej technologii przeniosło się na wschód kontynentu. Już w 1928 roku udało się opracować w byłym Związku Radzieckim technologię podziemnego zgazowania węgla zdolną do zastosowania na skalę przemysłową. Zdecydowały o tym naciski najwyższych ówczesnych czynników polityczno-ideologicznych. Pierwsza przemysłowa instalacja została uruchomiona w 1937 roku. Program podziemnego zgazowania węgla w ZSRR dynamicznie rozwijał się do początku lat 60., kiedy to na Syberii odkryto ogromne zasoby gazu ziemnego.

Próby podziemnego zgazowania węgla wielokrotnie prowadzono w Europie Zachodniej, np.: we Francji, Belgii, Wielkiej Brytanii i Hiszpanii. W Stanach Zjednoczonych pierwsze próby podziemnego zgazowania węgla przeprowadzono po II wojnie światowej, ale finansowe wsparcie rządu miało miejsce dopiero po 1970 roku w związku z kryzysem paliwowym. W latach 70. i 80. XX wieku powstało w USA ponad 30 instalacji pilotowych. Spadek cen gazu i ropy na rynkach spowodował zaniechanie finansowania programu, praktycznie

tuż przed uruchomieniem pierwszej komercyjnej instalacji podziemnego zgazowania węgla w Stanie Wyoming.

Podczas gdy wszystkie programy badawcze podziemnego zgazowania węgla zostały zarzucone w 1993 roku, międzynarodowa korporacja Ergo Exergy Technologies rozpoczęła badania w Kanadzie. Należąca do niej firma Linc Energy w 1999 roku firma uruchomiła komercyjny projekt produkcji syngazu „Chinchilla” w Australii [5].

### 3. Istota metody

Zgazowanie jest procesem chemicznym zmiany paliwa stałego lub ciekłego w palny gaz, który może być wykorzystany do produkcji energii cieplnej lub elektrycznej albo stanowić surowiec do produktów chemicznych, takich jak wodór, metanol czy gaz syntetyczny. Na świecie istnieje ponad 160 dużych instalacji zgazowania, jednak są to powierzchniowe instalacje zgazowania węgla wydobywanego konwencjonalnymi metodami. Produkują one równowartość około 50 tys. MW syngazu [15]. Natomiast podziemne zagazowanie węgla polega na zmianie fazy stałej w mieszaninę gazów palnych bezpośrednio w złożu. Część warstwy węglowej, w której zachodzi proces zgazowania stanowi tzw. gazogenerator. Połączenie z powierzchnią odbywa się za pomocą wyrobisk doprowadzających media zgazowujące (powietrze, tlen i/lub parę wodną) i odprowadzających powstałą mieszaninę gazów palnych na powierzchnię (otworów pionowych, otworów kierunkowych, wyrobisk podziemnych pionowych i poziomych). Przepływ mediów technologicznych (tlenu, powietrza lub pary wodnej), a później gazu w złożu możliwy jest dzięki naturalnej gazoprzepuszczalności złoża węgla, która dodatkowo zwiększa się wskutek spalania oraz na skutek przepływu wód podziemnych przez strefę zgazowaną. Często konieczne jest wykonywanie specjalnych połączeń w złożu w celu uformowania kanału zgazowania. Szczegółowe rozwiązania techniczne przedstawiono w wielu pracach [8, 11, 17, 19].

Istota metod geotechnologicznych polega na nieskomplikowanym sposobie udostępniania złoża. Eksploatację prowadzi się najczęściej przy wykorzystaniu otworów wiertniczych z czego wynika szereg udogodnień, ale także i problemów.

W odniesieniu do metod konwencjonalnych podziemne zgazowanie posiada następujące zalety [6]:

- mniejsze koszty i krótki czas udostępniania, co umożliwi eksploatację złóż pozabilansowych dla konwencjonalnych metod wydobywania;
- mniejszy zakres przekształceń powierzchni terenu (eksploatacja selektywna);
- brak konieczności wydobywania i składowania skał płonnych w postaci odpadów na powierzchni terenu;
- brak konieczności transportu węgla na powierzchnię;
- brak powierzchniowych instalacji zgazowania;
- pozostawienie produktów spalania pod powierzchnią ziemi;

- redukcja emisji zanieczyszczeń do środowiska  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , metali ciężkich i pyłów;
- możliwość składowania  $\text{CO}_2$  w pustkach poeksploatacyjnych.

Wśród wad podziemnego zgazowania węgla wymienić należy m.in.:

- brak pełnej kontroli procesu eksploatacji na poziomie podobnym jak w przypadku metod konwencjonalnych bądź zgazowania prowadzonego na powierzchni;
- wpływ na środowisko naturalne (zanieczyszczenie warstw wodonośnych produktami spalania, osiadanie powierzchni terenu);
- działania trujące i własności wybuchowe powstających substancji gazowych;
- ograniczone możliwości reakcji na powstające zagrożenie dla środowiska, wynikające z opóźnionej w czasie kontroli skutków środowiskowych eksploatacji;
- wahania stabilności procesu podziemnego zgazowania w czasie, powodujące problemy w utrzymaniu stałej jakości produktu końcowego.

Dotychczasowe doświadczenia światowe w podziemnym zgazowaniu węgla dostarczają bardziej szczegółowych informacji, dotyczących różnych kryteriów stosowania tej metody.

## 4. Uwarunkowania podziemnego zgazowania węgla

Rozwój technologii oraz wyniki dotychczasowych testów, a także prac prowadzonych na skalę przemysłową, przedstawione zostały w wielu publikacjach [np. 3, 13, 22]. Dostępnych jest także wiele raportów technicznych przedstawiających wyniki testów przeprowadzonych w wielu krajach [np.: 6–10, 22].

W Polsce testy nad podziemnym zgazowaniem węgla kamiennego prowadzono już w latach 50. XX wieku w Głównym Instytucie Górnictwa [4].

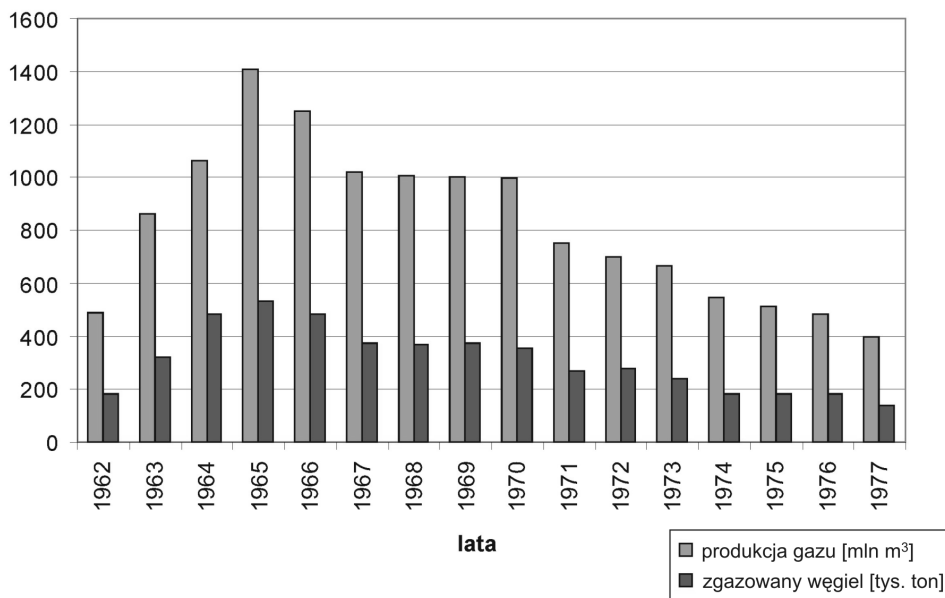
### 4.1. Doświadczenia i wnioski z podziemnego zgazowania w byłym ZSRR

Podziemne zgazowanie węgla na skalę przemysłową w ZSRR prowadzone było od 1937 roku na złożach węgla brunatnego w Zagłębiu Podmoskiewskim. Prawie poziome pokłady węgla zalegające na głębokości od 30 do 89 m i miąższości do 5 m eksploatowane były z powodzeniem w Tuli do 1963 roku, kiedy zaprzestano wydobywania z powodu wyeksploatowania złoża.

W 1955 roku rozpoczęto eksploatację bitumicznego złoża węgla w Yuzno-Abińsku na Syberii. Instalacja pracowała z przerwami, dostarczając gaz do elektrociepłowni w okresie prac poszukiwawczych złóż gazu i ropy (1955–1977). Z informacji prasowych wynika, że od 1999 roku wydobywanie w kopalni w Yuzno-Abińsku zostało wznowione. Produkowane jest tam ok. 290 tys.  $\text{m}^3$  gazu, który jest wykorzystywany do wytwarzania energii cieplnej. Eksploatacja prowadzona jest na pokładach stromo nachylonych, w zakresie głębokości od 300 do 50 m.

Najbardziej korzystne na świecie parametry eksploatacji uzyskano w kopalni Angren, położonej koło Taszkientu w Uzbekistanie. Zgazowywany tutaj jest węgiel o średniej wartości opałowej 3670 kcal/kg [16]. Złoże, które zalega na głębokości 40 do 200 m, posiada miąższość od 4 do 24 m, a nadkład stanowi nieprzepuszczalny dla gazu kaolin [12, 14]. Podziemne zgazowanie prowadzi się z powodzeniem od 1955 roku. Instalacja dostarczyła w całym okresie ponad 18 mld m<sup>3</sup> gazu, który stanowi surowiec do produkcji energii elektrycznej oraz ciepłej. Moc elektrociepłowni, w zależności od potrzeb, waha się między 50÷150 MW [19].

Na rysunku 1 przedstawiono efekty pracy podziemnej instalacji zgazowania węgla w Angren w latach 1962–1977.



**Rys. 1.** Zgazowanie węgla oraz produkcja gazu w latach 1962–1977 w kopalni Angren w Uzbekistanie (Opracowano na podstawie [6])

Przeprowadzone w byłym ZSRR testy przemysłowe, a także doświadczenia zebrane podczas prac wydobywczych pozwoliły na sformułowanie warunków i zaleceń dotyczących eksploatacji. W podziemnym zgazowaniu występuje konieczność:

- sterowania ciśnieniem i wydatkiem powietrza (tlenu lub pary) kierowanych do gazo-generatora,
- kontroli rozplwów gazu w złożu,
- wykorzystania naturalnej kierunkowej zmienności parametrów złoża,
- wykonywania połączeń w złożu dla wspomaganie procesu spalania oraz jego kontroli.

Natomiast kierowanie produkcją odbywać się może poprzez dobór siatki otworów oraz ilość eksploatowanych jednocześnie gazogeneratorów. Dokładny opis uwarunkowań eksploatacyjnych dotyczących podziemnego zgazowania, na podstawie doświadczeń radzieckich i rosyjskich, podano w literaturze [np. 6]. W literaturze rosyjskiej można też znaleźć interesujące uwagi poczynione na bazie doświadczeń zdobytych w byłym Związku Radzieckim. W skrócie można je przedstawić następująco [1]:

- nad stropem zgazowanego pokładu węgla musi istnieć warstwa nieprzepuszczalna o miąższości  $h_i \geq 1,5 H_w$ ;
- wskaźnik nadkładu nie mniejszy niż 10;
- kaloryczność węgla powyżej 2600 kcal/kg ( $\approx 10900$  kJ/kg);
- górotwór słabo-zawodniony.

Podane warunki określają techniczną możliwość prowadzenia zgazowania bez uwzględnienia ochrony stropu, bezpieczeństwa powierzchni czy ochrony wód podziemnych.

#### 4.2. Stany Zjednoczone

W związku z kryzysem paliwowym na początku lat 70. ubiegłego wieku, w USA przeprowadzono ponad 30 pilotowych prób podziemnego zgazowania węgla różnego typu (głównie bitumicznego), w których zgazowano ponad 60 tys. ton tego surowca. Większość z nich prowadzona była pod auspicjami Departamentu Energii rządu Stanów Zjednoczonych.

W każdym z przypadków uzyskano zapłon złoża, przeprowadzono dokładne opomiarowanie i monitoring testu. W czasie wielu lat badań udoskonalono metody sterowania wydobywaniem oraz ochrony wód podziemnych. Zebrane doświadczenia pozwoliły na rozwój technologii oraz opracowanie modelu matematycznego zjawiska, zdefiniowania modelu procesu osiadania. W wyniku zebranych doświadczeń opracowano m.in. technologię CRIP — polegającą na zastosowaniu podciąganych rur i pozwalającą na kierowanie strefą spalania.

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów opracowano zbiór kryteriów warunkujących podziemne zgazowanie węgla w USA. W ich opracowaniu wykorzystano wyniki prac naukowców radzieckich, które zostały zaadoptowane do uwarunkowań amerykańskich.

Kryteria te przedstawiają się następująco [21]:

- miąższość złoża większa niż 1 m (lub 0,6 m dla pokładów nachylonych);
- stała miąższość złoża (złoża pokładowe);
- zaniechanie eksploatacji pokładów rozdzielonych przerostami;
- zaniechanie eksploatacji pokładów z nadległym pokładem węgla w zasięgu 15 m, jeśli jego miąższość jest mniejsza niż 0,6 m;
- minimalne zasoby geologiczne — 3,5 mln ton;
- minimalna miąższość nadkładu — 100 m;
- minimalna odległość do obszarów zaludnionych (powyżej 100 osób) — 1,6 km;

- minimalna odległość do głównych uskoków — 0,8 km;
- minimalna odległość do eksploatowanych złóż ropy i gazu — 1,6 km;
- minimalna odległość do głównych dróg i linii kolejowych — 0,4 km;
- minimalna odległość do rzek i jezior — 1,6 km;
- minimalna odległość do eksploatowanych kopalń — 3,2 km;
- odległość do zamkniętych kopalń — 1,6 km;

inne zalecenia:

- najkorzystniejsze do eksploatacji pokłady nachylone powyżej 30°;
- dokładnie zidentyfikowany spąg i strop złoża.

### 4.3. Europa zachodnia

Jak już wspomniano pierwszy test podziemnego zgazowania węgla kamiennego zaplanowany był w Wielkiej Brytanii już w 1912 roku. Prace wznowiono po wojnie, eksperyment rozpoczął się w 1949 i zakończył 10 lat później. Technologia wykorzystana w testach Newman-Spinney zakładała drążenie szybów i wykonywanie wyrobisk udostępniających metodami konwencjonalnymi. Dopiero na dole kopalni wiercono otwory kierunkowe w złożu. W 1956 podjęto próby wykorzystania instalacji do produkcji elektryczności, jednakże zakończyły się one niepowodzeniem pomimo udanego zgazowania węgla. Przeprowadzone w latach 1964 i 1976 rewizje wyników badań przyczyniły się do wznowienia programu podziemnego zgazowania węgla oraz opracowania wymagań odnośnie warunków geologiczno-górnicznych eksploatacji. W 1976 roku National Coal Board, biorąc pod uwagę wyniki przeprowadzonych doświadczeń ustaliła, że złożo węgla rozpatrywane do podziemnego zgazowania musi spełniać następujące wymagania [18]:

- minimalne zasoby geologiczne — 5 mln ton, zapewniające 20 lat eksploatacji;
- złożo nie eksploatowane w przeszłości innymi metodami;
- brak w sąsiedztwie pracujących kopalń;
- zgazowanie nie może powodować nieakceptowanych osiadań na powierzchni;
- miąższość złoża powyżej 1 m, w przypadku występowania pokładu węgla z przerostami suma miąższości przekraczająca 1 m;
- głębokość zalegania przekraczająca 200 m w celu ograniczenia ucieczek gazu;
- zawartość popiołu poniżej 60%, pokład bez występowania przerostów wpływających negatywnie na proces spalania;
- obszar złoża bez uskoków.

Inne sugestie i wnioski:

- ucieczki gazu mogą być nadmierne w przypadku obecności starych porzuconych kopalń lub obecności uskoków,

- zaburzenia tektoniczne oraz rodzaj skał stropowych mogą wpływać negatywnie na proces w przypadku zgazowania,
- monitoring i kontrola wydobywania w złożach wielopokładowych mogą być utrudnione,
- oczekiwane zatrudnienie w początkowej fazie eksploatacji od 3 do 10 razy mniejsze niż konwencjonalnych metod górniczych.

W 1981 roku rozpoczęto prace nad podziemnym zgazowaniem węgla kamiennego w miejscowości Bruay-en-Artois położonej w północnej części Francji. W 1982 przeprowadzono niemiecko-belgijskie testy w miejscowości Thulin w Belgii. Natomiast w 1984 roku przeprowadzono test pilotowy w La Haute-Deule (Francja). Testy przeprowadzone zostały na złożach zalegających na dużych głębokościach, dochodzących nawet do 1000 m i wszystkie z nich były nieudane. Kolejne testy prowadzono w Belgii w latach 1984–1988 i miały one na celu doskonalenie metody zgazowania na znacznych głębokościach.

Prowadzone w różnych krajach UE próby doprowadziły do pierwszych testów prowadzonych pod auspicjami Komisji Europejskiej, która w 1989 zarekomendowała przeprowadzenie serii testów dla określenia możliwości podziemnego zgazowania węgla kamiennego w cienkich, zalegających głęboko, zaburzonych pokładach, o budowie typowej dla warunków europejskich. Pierwszym z rekomendowanych był pokład zalegający na głębokości ok. 550 m. w prowincji Teruel w północno-wschodniej Hiszpanii. Prace przeprowadzało konsorcjum hiszpańsko-brytyjsko-francuskie w latach 1992–1999. Wybór miejsca prowadzenia testów wynikał z budowy geologicznej, głębokości zalegania złoża oraz dostępności terenu dla robót wiertniczych (teren niezaludniony). W trakcie testu pokonywano wiele trudności wynikających z niedostatecznego stopnia rozpoznania budowy geologicznej, uszkodzeń otworów oraz znacznego dopływu wody z zawodnionych skał nadkładu. Przeprowadzony test uznano za zakończony powodzeniem pomimo zaledwie 75 dniowej pracy instalacji. Powodzenie tego testu warunkowało przeprowadzenie kolejnych na głębokościach przekraczających nawet 1000 m.

W ramach dotychczasowych badań europejskich ustalono, że złoża węgla musi spełniać podstawowe kryteria [2]:

- miąższość pokładu węgla — >2 m;
- głębokość zalegania — 600÷1200 m;
- kąt upadu — >5°;
- nienaruszonych zasobów na eksperyment — 60 tys. ton;
- minimalne wydobywanie dla celów przemysłowych — 2 mln ton;
- bardzo dobre geologiczne rozpoznanie;
- filar ochronny od opuszczonych zrobów w pracujących kopalniach — 500 m;
- pionowa odległość do zbiorników wód podziemnych — 100 m.

Głównym celem nowego programu badawczego, uruchomionego w 1999 roku pod auspicjami rządu Wielkiej Brytanii, jest sięgnięcie po bogate złoża węgla zalegające w rejonie szelfu Morza Północnego.



Do celów cząstkowych programu badań zaliczyć należy:

- rozwój technologii wiertniczych,
- oszacowanie możliwości wykorzystania gazu pochodzącego ze zgazowania węgla w turbinach gazowych;
- oszacowanie kryteriów bilansowości dla złóż możliwych przy wykorzystaniu technologii podziemnego zgazowania węgla;
- zidentyfikowanie obszarów dla prowadzenia komercyjnych testów;
- identyfikacji parametrów eksploatacji dla osiągnięcia kosztów porównywalnych z wydobyciem gazu z Morza Północnego;
- przeprowadzenie badań poprzedzających studia wykonalności dla zgazowania węgla w południowej części Morza Północnego.

#### 4.4. Australia

Komercyjne testy na skalę przemysłową w Australii zapoczątkowano w 1999 roku. Miały one na celu produkcję gazu z użyciem technologii podziemnego zgazowania węgla, wytwarzanie paliw płynnych z gazu przy pomocy syntezy Fischera-Tropscha oraz określenie możliwości długookresowej produkcji paliwa dla produkcji energii elektrycznej. Realizację I etapu programu zakończono w kwietniu 2003 roku. W czasie jego trwania zgazowano 35 tys. ton węgla, co pozwoliło na wyprodukowanie 80 mln m<sup>3</sup> gazu [5]. Prace prowadzono w rejonie miejscowości Chinchilla w australijskim Queensland. Zgazowywane złożo zalegało na głębokości 140 m, jego miąższość wynosiła 10 m, eksploatację prowadzono przy pomocy 9 otworów [20]. Uzyskany gaz syntezowy pozwoliłby na opłacalne zasilanie elektrowni o mocy 70 MW. Wg obliczeń szacunkowych rozbudowa instalacji pozwoliłaby na dostawę paliwa dla elektrowni o mocy nawet 400 MW [6].

Przeprowadzone testy w Australii pozwoliły na zdefiniowanie warunków i złożowych kryteriów eksploatacji, które przedstawione zostały przez *Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)*.

Przedstawiają się one następująco:

- minimalna miąższość złoża — 5 m;
- zawartość popiołu — <40%;
- nachylenie pokładu — <20°;
- głębokość zalegania złoża — 200÷400 m;
- dopuszczalne zaburzenia uskokowe, pokład poziomy bez przerostów;
- strop stabilny termicznie z minimalną przepuszczalnością, brak skłonności do powstawania kawern;
- maksymalne ciśnienie hydrostatyczne (wysokość hydrauliczna) 200 m;
- sąsiednie warstwy wodonośne zawierające wody pogorszonej jakości lub warstwy posiadające minimalną przepuszczalność.

Inne zalecenia:

- mała gęstość zaludnienia i aktywność ludzka w najbliższym sąsiedztwie,
- brak rzek nad obszarem eksploatacji,
- występowanie akceptowalnej wielkości osiadań powierzchni terenu w związku z eksploatacją,
- wielkość zasobów wystarczająca na wieloletnią eksploatację.

W oparciu o opracowane przez CSIRO wytyczne obecnie w Australii realizowany jest nowy, komercyjny projekt zgazowania węgla w miejscowości Bloodwood Creek przez firmę Carbon Energy.

## 5. Wnioski końcowe

Dotychczasowe blisko stuletnie doświadczenia w zakresie prób podziemnego zgazowania węgla pozwoliły na opracowanie, w kilku krajach świata, kryteriów geologiczno-górnictwowych warunków eksploatacji. Zależnie od warunków lokalnych oraz wyznaczonych celów programów badawczych kryteria te dotyczą:

- wielkości zasobów pozwalających na ekonomiczne wydobycie kopaliny;
- budowy geologicznej złoża;
- dopuszczalnego wpływu eksploatacji na środowisko;
- warunków fizjograficznych oraz zagospodarowania powierzchni terenu.

Odnosnie warunków jakie muszą zostać spełnione na powierzchni, w zakresie stopnia zurbanizowania terenu, przyjmowane są najczęściej kryteria odpowiadające stosowanym w eksploatacji podziemnej.

Jeśli chodzi o charakterystykę złożową to do kryteriów warunkujących eksploatację należą ciągłość pokładów, obecność uskoków oraz przerostów pokładu. W kryteriach jakościowych węgla ważną rolę odgrywa zawartość popiołu, wartość opałowa, a także gazoprzepuszczalność złoża. W odniesieniu do własności nadkładu pożądana jest stosunkowo mała wodoprzepuszczalność, wytrzymałość, niska podatność na przewodzenie ciepła.

Obecnie w Polsce podejmowane są działania zmierzające do opracowania metodyki podziemnego zgazowania węgla zarówno kamiennego jak i brunatnego. Prace te mają na celu przeprowadzenie doświadczeń pilotowych oraz budowę instalacji demonstracyjnych. W dalszej perspektywie jest też opanowanie technologii, jej udoskonalenie i w przyszłości konwersja węgla w gaz w złożu. Wyniki dotychczasowych doświadczeń przeprowadzonych na świecie powinny stać się punktem wyjścia w pracach studialnych oraz przy wyborze złóż do prowadzenia doświadczeń. Celem badań będzie określenie warunków prowadzenia prac oraz opracowanie kryteriów bilansowości dla krajowych zasobów węgla brunatnego i ich przemysłowego wykorzystania w metodą podziemnego zgazowania.

Stan rozwoju technologii podziemnego zagazowania węgla, pomimo ponad stuletniej historii rozwoju, w chwili obecnej nie upoważnia do stwierdzenia, że metoda stanowi alternatywę dla konwencjonalnych metod eksploatacji węgla brunatnego. Można natomiast stwierdzić, że zastosowanie tej technologii mogłoby pozwolić na sięgnięcie po zasoby złóż stałych surowców energetycznych, które nie są obecnie dostępne dla konwencjonalnych metod eksploatacji.

#### LITERATURA

- [1] *Arens W.Ż., Semenenko D.K.*: Fiziko-chimicheskie metody razrabotki mestorozhdenij kaustobolitow, Gosudarstwiennyj Nauczno-Issledowatielskij Institut Gornochimiczieskowo Syria. Moskwa, 1971 (pod redakcją akd. N.W. Mielnikowa)
- [2] *Armitage, M., Burnard, K.*: Underground Coal Gasification in the United Kingdom. Cleaner Coal Technology Programme Helpline, Building 329, Harwell International Business Centre, Didcot, Oxfordshire OX11 0QJ, September 2003
- [3] *Bednarczyk J.*: Rozwój technologii podziemnego zagazowania węgla i perspektywy jej przemysłowego wdrożenia. *Górnictwo i Geoinżynieria*, Rok 31, Zeszyt 2, 2007
- [4] *Bialecka B.*: Podziemne zagazowanie węgla, podstawy procesu decyzyjnego. Główny Instytut Górnictwa, Katowice, 2008
- [5] *Blinderman M.S., Jones R.M.*: Underground Coal Gasification and Power Generation. Coal New Horizon, Gasification Technologies Conferens, San Francisco, USA, October 27–30, 2002
- [6] *Burton E., Friedmann J., Upadhye R.*: Best Practices in Underground Coal Gasification, U.S. Department of Energy by the University of California, Lawrence Livermore National Laboratory Contract No. W-7405-Eng-48, 2004
- [7] *Creedy D.P., Garner K., Holloway S., Jones N., Ren T.X.*: Review of Underground Coal Gasification Technological Advancements, Report No. COAL R211 DTI/Pub URN 01/1041, September 2001
- [8] *Creedy, D.P., Garner K.*: Clean Energy from Underground Coal Gasification in China, DTI Cleaner Coal Technology Transfer Programme, Report No. COAL R250, DTI/Pub URN 03/1611, February 2004
- [9] *Fischer D.D., King S.B., Humphrey A.E.*: A Report on the Successful Development of Underground Coal Gasification at Hanna, Wyoming; American Chemical Society meeting; May 1977; Montreal, Canada, Energy Research and Development Administration, Laramie, WY (USA). Laramie Energy Research Center, 1977
- [10] GasTech Inc, Viability of Underground Coal Gasification in the “Deep Coals” of the Powder River Basin, Casper, Wyoming, 2007
- [11] *Gregg, D.W., Edgard, T.F.*: Underground Coal Gasification. *AIChE J.* 24, 753–781, Technical Report, 1978
- [12] *Heide K., Eilhauer K.*: Freiberg, *Forchungsh. A*, 45, 1963
- [13] *Khadse A., Qayyumi M., Mahajani S., Aghalayam P.*: Underground coal gasification: A new clean coal utilization technique for India, *Energy* 32 (2007) 2061–2071 Elsevier
- [14] *Lavrov N.V., Nusinov G.O., Semenenko D.K.*: *Khim. Tverd. Topl.*, 1, 113, 1968
- [15] *Simbeck, D.*: Carbon Separation and Capture from Energy Systems: The Forms and Costs of Separation and Capture. Presentation at the workshop Complements to Kyoto: Technologies for Controlling CO<sub>2</sub> Emissions, April 23, National Academy of Engineering, Washington, D.C., 2002
- [16] *Skafa P.V.*: Underground Gasification of Coal in Gosudarstvennoe Hauchno-Teknicheskoe Izdatel'stvo Literaturny Po Gornomu Delu, Moskwa, 1960
- [17] *Stephens, D.R., Hill R.W., Borg I.Y.*: Underground Coal Gasification Review. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA UCRL-92068, 1985
- [18] *Thomson P.N., Mann J.R., Williams F.*: Underground gasification of coal: A National Coal Board reappraisal. London, National Coal Board, 72 p, 1976
- [19] *Walker L.*: Underground Coal Gasification: A Clean Coal Technology Ready for Development, *The Australian Coal Review*, Mining, October 1999
- [20] *Walker, L.K., et al.*: An IGCC Project at Chinchilla, Australia, based on UCG, Gasification Technologies Conference, San Francisco, USA, 2001

- [21] *Williams Bros, Engineering Co., Tulsa, O.K. (USA):* Assessment of underground coal gasification in bituminous coals: potential UCG products and markets. Final report, Phase I, Technical Report, Report Number(s) DOE/MC/14584-1193-Vol. 2-Bk. 2, 1982
- [22] Working Group on Underground Coal Gasification — Status Report on Underground Coal Gasification; August 2007 The Office of the Principal Scientific Adviser To the Government of India New Delhi, 2007