

Barbara Bialecka

PRZEGLĄD KONCEPCJI PODZIEMNEGO ZGAZOWANIA WĘGLA

Streszczenie

Jedną z perspektywicznych metod wykorzystania węgla, a głównie jego zasobów nie nadających się do eksploatacji metodami tradycyjnymi, jest podziemne zgazowanie. Pozwala ono na uzyskanie energii zawartej w węglu *in situ*, a tym samym uniknięcie ryzyka zagrożenia zdrowia i bezpieczeństwa człowieka – nieodłącznego podczas eksploatacji tradycyjnej.

W Polsce, prawie we wszystkich obszarach górniczych, zalegają partie pokładów węgla, których eksploatacji zaniechano z przyczyn techniczno-ekonomicznych, czy też ze względów bezpieczeństwa; niektóre z tych zasobów mogą zostać efektywnie wykorzystane przez podziemne zgazowanie.

W publikacji przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie technologii podziemnego zgazowania węgla wraz z analizą koncepcji, opatentowanych sposobów i wdrożonych rozwiązań tego procesu. Zamieszczono także wielowymiarową analizę i ocenę takich aspektów, jak: rozeznanie geologiczne złoża, technika wierceń kierunkowych, technika zapalania węgla, technika pomiarowo-kontrolna, a także zagadnienia ekonomiczne oraz ochrony środowiska. Analiza taka jest niezbędna do oceny, czy prace nad podziemnym zgazowaniem węgla w polskich warunkach, są uzasadnione.

Przeprowadzone rozeznanie stanu techniki wykazało, że znany proces podziemnego zgazowania węgla, realizowany także w skali przemysłowej, może być rozważany w Polsce jako przyszłościowe źródło gazu do zastosowań energetycznych i/lub chemicznych.

Review of underground coal gasification conceptions

Abstract

One of perspective methods of coal utilisation, and mainly its resources useless for mining with traditional methods, is an underground gasification. It enables to get energy contained in coal *in situ* and avoid in this way health and safety risk for a man, inseparable from traditional mining.

In Poland, almost in every mining area, useless parties of coal seams lie, mining of which were given up for engineering-economic reasons or for safety reasons, also. Some of these resources may be effectively used through underground gasification.

In the paper, the present state of art was presented in the scope of underground coal gasification technology along with analysis of conceptions, patented methods and implemented solutions of this process. It also contains multidimensional analysis and assessment of the following aspects: recognition of geological deposits, technology of directional drilling, technology of coal ignition, measuring-supervisory techniques, and also economic as well as environmental protection questions. Such an analysis is necessary for assessment whether works on underground coal gasification are well founded in Polish conditions.

Recognition of the state of art conducted showed that the well-known process of underground coal gasification, realised also in industrial scale, can be considered as a future source of gas to be used in Poland for energetic and/or chemical needs.

WPROWADZENIE

W gospodarce światowej, w ostatnich latach, zarysowuje się tendencja powrotu do paliw kopalnych jako podstawy światowego systemu energetycznego. W związku z tym, że ponad połowa zasobów stałych paliw kopalnych Europy znajduje się na obszarze Polski, potraktowanie polskiego węgla, również tego obecnie niedostępnego przy użyciu technik górniczych, jako przyszłej europejskiej bazy energetycznej i wzmocnienie tym samym bezpieczeństwa energetycznego kontynentu, staje się racjonalne.

Jedną z perspektywicznych metod wykorzystania węgla, a głównie jego zasobów nie nadających się do eksploatacji metodami tradycyjnymi jest podziemne zgazowanie. Umożliwi ono uzyskanie energii zawartej w węglu *in situ*, a tym samym uniknięcie ryzyka zagrożenia zdrowia i bezpieczeństwa człowieka – nieodłącznego podczas eksploatacji tradycyjnej.

W Polsce, prawie we wszystkich obszarach górniczych, zalegają partie pokładów węgla, których eksploatacji zaniechano z przyczyn techniczno-ekonomicznych czy też ze względów bezpieczeństwa. Do zasobów tych można zaliczyć partie węgla leżące w strefach zaburzeń tektonicznych, pozostawionych półkach bezpieczeństwa, obszarach perspektywicznych i górniczo niezagospodarowanych, jak również w pokładach cienkich lub o dużej zawartości substancji mineralnej i siarki. Tylko niektóre z tych zasobów mogą zostać efektywnie wykorzystane metodą podziemnego zgazowania, wpływają na to przyczyny techniczno-technologiczne, a także geologiczno-morfologiczne (na przykład znaczny dopływ wód, skomplikowana makro- i mikrotektonika, duża skłonność do zawału stropu itp.) utrudniające ciągłość i sterowanie procesem zgazowania. Stąd wypływa konieczność zbilansowania potencjalnych zasobów do podziemnego zgazowania węgla (PZW) na podstawie ściśle sprecyzowanych kryteriów (Jaskulski, Rabsztyn 1982; Sprawozdania z działalności statutowej...; Prawo... 1994; Darski, Kicki, Sobczyk 2001; Hankus, Białecka 2005), a następnie opracowania studium aktualnego stanu wiedzy na temat technologii podziemnego zgazowania węgla wraz z analizą koncepcji, opatentowanych sposobów i wdrożonych rozwiązań procesu. Analiza taka, będąca przedmiotem niniejszego artykułu, jest niezbędna do oceny, czy prace nad podziemnym zgazowaniem węgla w polskich warunkach są uzasadnione.

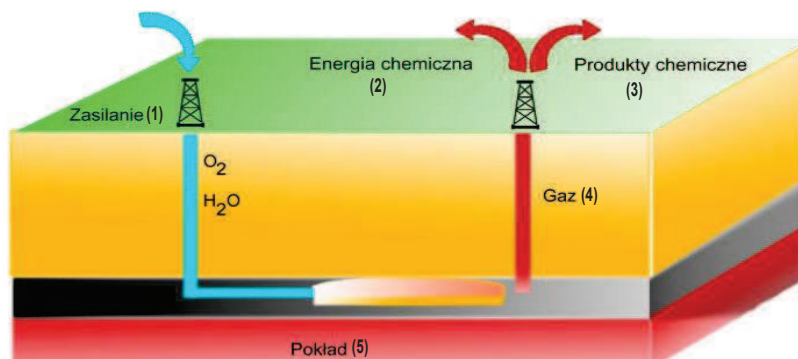
1. ZARYS PROCESU PODZIEMNEGO ZGAZOWANIA WĘGLA

Budowa gazogeneratora

Podziemnemu zgazowaniu można poddać pokłady węgla niedostępne do eksploatacji tradycyjnymi technikami górniczymi (pokłady cienkie, głębokie). W czasie procesu węgiel reaguje ze środkiem utleniającym, którym może być powietrze, powietrze podgrzane, powietrze wzbogacone w tlen lub para wodna i tlen.

Proces przebiega w generatorach podziemnych (rys. 1), które można przygotować metodami bezszybowymi i szybowymi, przy czym:

- w metodzie bezszybowej generator jest zbudowany z dwóch otworów wiertniczych udostępniających partię pokładu węgla,
- w metodzie szybowej generator to układ dwóch chodników, udostępniających partię pokładu węgla oraz otwór względnie kanał łączący oba chodniki.



Rys. 1. Schemat procesu podziemnego zgazowania węgla

Fig. 1. Diagram of underground coal gasification process: 1 – power supply, 2 – chemical energy, 3 – chemical products, 4 – gas, 5 – seam

Metody te scharakteryzowano poniżej, przy czym szczególną uwagę skupiono na sposobie bezszybowym jako metodzie perspektywicznej (Kowol 1997) dla pokładów węgla głęboko zalegających.

W metodach szybowych generator przygotowuje się robotami górniczymi pod ziemią, po udostępnieniu pokładu węgla szybem lub upadową. Wyrobiska górnicze służą do doprowadzania środka utleniającego i odprowadzania gazu na powierzchnię. Roboty górnicze związane z udostępnieniem pokładu i jego rozcięciem chodnikami stanowią około 20% robót górniczych wykonywanych przy klasycznej eksploatacji węgla, a pozostałe procesy (80%) są zastąpione podziemnym zgazowaniem. Sposoby szybowe były stosowane dawniej, póki nie opanowano metod wierceń kierunkowych i innych sposobów łączenia otworów w pokładzie węgla.

Metody bezszybowe polegają na udostępnieniu pokładu węgla otworami wiertniczymi z powierzchni, a następnie na łączeniu ich ze sobą z wykorzystaniem specjalnych metod. W metodach tych, przy udostępnieniu pokładu węgla metodą wiertniczą można stosować trzy rodzaje otworów: pionowe, pochyle i kierunkowe (Review of UCG... 2001).

Otwory pionowe udostępniają pokład węgla od strony stropu i są dogodne wtedy, gdy zawał skał stropowych w przestrzeni pozostałej po zgazowaniu węgla nie narusza ich szczelności w partiach górnych. Można je stosować do zgazowania pokładów małej i średniej grubości, przy wykonywaniu początkowej linii frontu ognia i odwadniania generatorów.

Otwory nachylone są dogodne wtedy, gdy zachodzi konieczność rozmieszczenia ich poza strefą słabego stropu, co zmniejsza lub wyklucza możliwość ich uszkodzenia podczas osiadania nadkładu w okresie zgazowania.

Otwory kierunkowe są połączeniem otworów udostępniających i generatorowych. Można je wiercić w pokładach węgla kamiennego, zalegających poziomo lub pod niewielkim kątem. Kanały łączące otwory pionowe można wykonać metodą: filtracyjną, elektrokarbonizacji i wiercenia kierunkowego. Metody: filtracyjna i elektrokarbonizacji znalazły zastosowanie głównie w pokładach płytko zalegających (Rauk 1979).

Metoda filtracyjna polega na wypalaniu kanału w węglu między dwoma pionowymi otworami, przy czym w jednym z otworów zapala się węgiel, a do otworu przeciwległego doprowadza się powietrze pod ciśnieniem. I tak, w pokładach węgla o dużej przenikalności dla gazów, na przykład w pokładach węgla brunatnych, stosuje się ciśnienie 3–5 atmosfer, niezależnie od głębokości zalegania. W pokładach węgla kamiennych, których przenikalność dla gazów jest mała, stosuje się ciśnienie przewyższające o 5–10 atmosfer ciśnienie nadkładu.

Metoda elektrokarbonizacji polega na przepuszczaniu prądu elektrycznego o dużej mocy przez pokład węgla między stalowymi elektrodami, umieszczonymi w dolnej części otworów wiertniczych. Oporowe nagrzewanie pokładu powoduje odgazowanie węgla na drodze przepływu prądu i wytworzenie porowatego koksu, przepuszczalnego dla gazu. W tym przypadku kanałem przepływowym jest porowaty koks.

Otwory kierunkowe można stosować w pokładach węgla o małym nachyleniu (Underground... 2002; The Chinchilla... 2002; Review of UCG... 2001). Wiercenie otworu kierunkowego rozpoczyna się pod kątem nachylenia 50–55°. W miarę zbliżania się do pokładu węgla kąt nachylenia takiego otworu stopniowo zmniejsza się i otwór wchodzi w pokład pod kątem 6–4° na długości około 10 m, a następnie jest wiercony zgodnie z kierunkiem zalegania pokładu węgla. Poziome wejście otworu kierunkowego w pokład węgla stwarza warunki do dalszego jego wiercenia na znaczną długość dochodzącą do 300, a nawet 400 m. Metoda wiercenia kierunkowego jest stosowana do wykonywania generatorów w głębokich pokładach węgla kamiennego, w których zastosowanie metod filtracji i elektrokarbonizacji jest utrudnione.

Wybór sposobu przygotowania gazogeneratorów metodami bezszybowymi jest ściśle zależny od warunków geologicznych oraz rodzaju pokładu węgla poddawanego procesowi zgazowania.

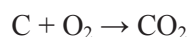
W miarę rozwoju badań nad procesem podziemnego zgazowania węgla przedstawiony wyżej podział na metody szybowe i bezszybowe stracił na znaczeniu. Tylko w nielicznych krajach, w tym w Chinach, są realizowane przemysłowe próby procesu zgazowania węgla po uprzednim rozcięciu pokładu za pomocą klasycznych górniczych robót przygotowawczych (Clean Energy... 2004), w innych państwach są podejmowane badania PZW z zastosowaniem wyłącznie sposobów bezszybowych i techniką wierceń kierunkowych.

Realizacja procesu PZW

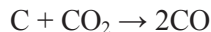
Zgazowanie węgla polega na jego częściowym spalaniu i całkowitej przemianie na paliwo gazowe, zawierające składniki palne, jak CO, H₂, węglowodory oraz pewne ilości gazów obojętnych. W zależności od użytego czynnika zgazowującego (tlen, powietrze, para wodna itp.) i parametrów procesu, otrzymuje się paliwa gazowe o różnym składzie i różnych wartościach opałowych. Mogą to być: gazy słabe, jak gaz powietrzny, powietrzno-wodny oraz wodny lub wysokokaloryczne gazy mocne o dużej zawartości metanu. Jak już wspomniano, proces PZW prowadzi się w generatorach podziemnych, które stanowią wydzielone partie pokładu węgla udostępnione z powierzchni i połączone przez układ otworów w pokładzie z powierzchnią.

Zgazowanie węgla w podziemnym generatorze rozpoczyna się od zapalenia węgla na początku otworu. Po wytworzeniu się przodku ogniowego następuje właściwy proces zgazowania z przemieszczaniem się frontu ognia wzdłuż kanału. Przestrzeń pozostała po zgazowanym węglu wypełnia się skałą stropową, żuzłem i popiołem. Warunki zgazowania pod ziemią są trudne, gdyż węgiel poddany zgazowaniu występuje nie w formie rozdrobnionych kawałków, lecz jako zwięzła masa, którą tlen może atakować na ograniczonej i przeważnie jednostronnie odkrytej powierzchni. Obmywając rozżarzoną powierzchnię węgla, środek utleniający reaguje jedno lub wielostopniowo z węglem zawartym w złożu. Im gaz przeniknie dalej, tym większą ma w sobie zawartość węgla, aż do momentu osiągnięcia równowagi odpowiadającej temperaturze reakcji.

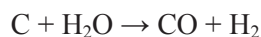
W związku z tym, że materiał zgazowujący zawiera tlen, to na początku strefy reakcji tworzy się dwutlenek węgla zgodnie z reakcją



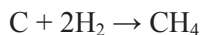
Jeżeli temperatura reakcji jest wysoka, wówczas z dwutlenku węgla tworzy się, aż do ustalenia się równowagi odpowiadającej temperaturze, tlenek węgla według następującej reakcji



Energia cieplna wydzielana w tych egzotermicznych reakcjach podtrzymuje niezbędną temperaturę warunkującą przebieg procesu zgazowania. Reakcje te są również źródłem ciepła zużywanego na przebieg reakcji endotermicznych, w tym na odparowanie wilgoci, podgrzanie i odgazowanie węgla, a także na straty cieplne do otoczenia. Z pary wodnej zawartej w materiale zgazowującym powstają wodór oraz tlenek węgla zgodnie z reakcją



a w przypadku wzrostu ciśnienia z doprowadzanego, względnie z tworzącego się wodoru, tworzy się metan, według reakcji



przy czym zawartość węgla w strefie reakcji stale maleje.

Największa ilość części lotnych wydziela się z calizny węgla w strefie ognia, ulegając również częściowemu rozkładowi, a w niektórych przypadkach spalaniu. Tym tłumaczy się małą zawartość metanu i ciężkich węglowodorów w gazie końcowym. Produkty odgazowania i odparowania wydzielające się również wzdłuż kanału, w partiach nieobjętych procesem zgazowania, przedostają się do gazu.

W realizacji PZW problem może stanowić:

- brak możliwości rozdzielenia gazu ze zgazowania od gazu z odgazowania, który w zetknięciu ze środkiem utleniającym może być w różnym stopniu spalany,
- występowanie węgla w bloku, co zmniejsza powierzchnię kontaktu ze środkiem utleniającym,
- trudność utrzymania stałych wymiarów geometrycznych przekroju generatora, warunkujących ciągłość procesu.

Wieloletnie badania umożliwiły poznanie istotnych cech przebiegu procesu podziemnego zgazowania węgla oraz roli i znaczenia niektórych czynników. Przy odpowiednio wysokiej temperaturze reakcji uzyskuje się wzbogacenie gazu w wodór, pochodzący z rozkładu pary wodnej, ponadto zwiększa się w gazie udział CO kosztem CO₂. Następnym czynnikiem o zasadniczym znaczeniu, ze względu na utrzymanie należytego kontaktu środka utleniającego z węglem, jest dobór właściwego schematu generatora (The Future... 1989). Istotnym czynnikiem w procesie zgazowania węgla jest rodzaj stosowanego środka utleniającego, co ma wpływ na wysokość temperatury procesu, a tym samym na zachowanie stałych warunków geometrycznych generatora i wartość opałową gazu. Zachowanie niezmiennych wymiarów geometrycznych gazogeneratora jest podstawą ciągłości procesu, przy której wytwarza się gaz o mało zmieniającym się składzie (Rauk 1962). Najlepszą stałość warunków uzyskuje się wówczas, gdy proces wypalania pokładu węgla przebiega w czole bloku węglowego, a otwór generatorowy służy do odprowadzania gazu. Taki przebieg zgazowania zachodzi przy wysokiej temperaturze. Duży wpływ na przebieg procesu ma zawilgocenie pokładu i wielkość dopływu wody, która parując pochłania duże ilości ciepła i obniża temperaturę w generatorze.

Poniżej przedstawiono krótki przegląd (Underground... 2002, Kowol 1997; United States Patent... 1994) istotnych zagadnień występujących podczas realizacji procesu PZW.

ASPEKTY GEOLOGICZNE

Do opracowania projektu podziemnego zgazowania węgla jest konieczne wykonanie badań geomechanicznych w celu możliwie dokładnego określenia zalegania pokładów, ich ciągłości, własności chemicznych i fizycznych węgla, jego gazoprzepuszczalności itp.

TECHNIKA WIERCEŃ KIERUNKOWYCH

Realizacja PZW napotyka na problemy, których stopień trudności zwiększa się z głębokością zalegania pokładu węgla. Istotną trudność stanowi wiercenie otworów kierunkowych w uwarstwionych skałach karbońskich, gdzie ciśnienie panujące

w pokładzie i mechaniczne właściwości węgla utrudniają, szczególnie wiercenie poziomych otworów w pokładzie węglowym. W takich przypadkach występuje konieczność zastosowania giętkiego przewodu zabezpieczającego otwór wiertniczy. Wraz z głębokością znacznie wzrasta również koszt prac wiertniczych.

Przypowierzchniowa część otworu kierunkowego jest na ogół wykonywana jako otwór pionowy. Po osiągnięciu punktu odchylenia KOP (*Kick-off point*) następuje odchylenie od pionu do osiągnięcia odpowiedniego kąta nachylenia. Jest konieczna wyjątkowa precyzja wykonywania prac wiertniczych i pomiarów. Dobre wyniki otrzymuje się nowoczesnymi metodami pomiarowymi MWD (*Measurement While Drilling*), tj. wykonywanymi w czasie wiercenia.

Łączenie pionowych otworów wiertniczych, których dna znajdują się w pokładzie węgla, do niedawna było zasadniczym działaniem pozwalającym na zgazowanie węgla między tymi otworami. Prace na znacznej głębokości wykazały, że stosowane ze skutkiem metody łączenia otworów w pokładach płytkich, ze względu na panujące ciśnienie nie mogą być wdrażane. W przypadku pokładów głęboko zalegających zaleca się wykonywanie połączeń finalnych między otworami, metodą wiercenia otworu poziomego w samym pokładzie.

W procesie zgazowania węgla w pokładzie głęboko zalegającym z pełnym sukcesem została zastosowana metoda CRIP (*Controlled Retracting Injection Point*) (United States Patent... 1994).

Także łączenie finalne pionowych otworów wiertniczych, których dna znajdują się w pokładzie węgla, jest możliwe dzięki zastosowaniu wierceń kierunkowych i nowych metod sterowania koronką wiertniczą, umożliwiających bardzo precyzyjne naprowadzanie jej do wyznaczonego punktu docelowego.

ZAPALENIE WĘGLA

W celu zainicjowania procesu zgazowania jest konieczne zapalenie węgla. W pokładach płytko zalegających węgiel zapalano za pomocą specjalnie skonstruowanych zapalników elektrycznych. Metoda taka w pokładzie głęboko zalegającym nie prowadzi do pożądanego efektu, stąd jest zalecane stosowanie samozapalenia węgla. Konieczne jest zatem poznanie i opracowanie warunków zapalenia węgla i rozprzestrzeniania się ognia w pokładzie w celu uzyskania odpowiedniej temperatury dla procesu zgazowania. Aktualnie w wielu ośrodkach badawczych na świecie, w tym w Głównym Instytucie Górnictwa, są prowadzone badania nad tym zagadnieniem.

TECHNIKA POMIAROWO-KONTROLNA

W czasie procesu zgazowania bardzo istotny jest nadzór nad parametrami procesowymi. Ciągłe pomiary są potrzebne nie tylko w celu kontroli stanu generatora, ale także do zrozumienia zjawisk zachodzących w czasie procesu zgazowania. Istotna jest znajomość takich parametrów, jak: temperatura, ciśnienie, przepływ oraz ciągłe analizy gazu produkcyjnego i wody procesowej. Należy podkreślić, że lokowanie czujników na dużych głębokościach jest trudne.

OCHRONA ŚRODOWISKA NATURALNEGO

Podziemne zgazowanie węgla może wywierać negatywny wpływ głównie na wody gruntowe. Konieczne jest zatem zapewnienie braku kontaktu generatora z tą wodą oraz skrupulatne izolowanie orurowanych otworów wiertniczych. Jeżeli generator jest blisko powierzchni, to możliwe jest powstawanie niecek osiadania na powierzchni. Przy głęboko położonych generatorach wpływu takiego nie obserwuje się.

PROBLEMY EKONOMICZNE

Analizy ekonomiczne PZW przeprowadzone na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku w Niemczech i Francji oraz prowadzone obecnie w Australii wykazały, że technologia PZW, przy obecnym stanie techniki, może być konkurencyjna dla górnictwa konwencjonalnego w przypadku wydobywania węgla z pokładów głęboko zalegających oraz dla niektórych innych źródeł energii. Konieczne jest przeprowadzenie analizy techniczno-ekonomicznej PZW w warunkach polskich, z uwzględnieniem aktualnych cen węgla i energii.

2. ROZWÓJ BADAŃ NAD PZW

Badania historyczne

Badania nad podziemnym zgazowaniem węgla były prowadzone od początku XX wieku w takich krajach, jak: Związek Radziecki, Stany Zjednoczone, Wielka Brytania, Belgia, Francja, Kanada, Węgry, Polska, Australia i Niemcy (Rauk 1979). Dotyczyły one głównie opracowania technologii zgazowania pokładów grubych zalegających płytko, do 400 m.

Podziemne zgazowanie w skali przemysłowej prowadzono w latach 1960–1980 w Związku Radzieckim (Zagłębie Podmoskiewskie, Agren, Zagłębie Kuźnieckie). Roczna produkcja gazu w tych zagłębiach wynosiła około 1,5 mld m³.

Badania *in situ* były prowadzone także w latach siedemdziesiątych XX wieku w Stanach Zjednoczonych, Belgii, Francji i Kanadzie. W innych krajach, mających znaczne zasoby węgla kamiennego, były prowadzone wyłącznie badania modelowe i laboratoryjne nad procesem podziemnego zgazowania. Prace te koncentrowały się głównie na opracowaniu technologii produkcji gazu niskokalorycznego i średniokalorycznego z wykorzystaniem złóż węgla bitumicznego, subbitumicznego i lignitu, zalegających w formie pokładów cienkich, średnich i grubych na różnych głębokościach. W zależności od pożądanej wartości opałowej gazu proces zgazowania prowadzono z zastosowaniem powietrza oraz okresowo tlenu lub tlenu z parą wodną. Badaniom poddawano zarówno szybowe, jak i bezszybowe techniki przygotowywania gazogeneratorów.

Wyniki prac badawczych prowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwa od lat pięćdziesiątych do siedemdziesiątych XX wieku stanowią poważny wkład w rozwiązywanie istotnych problemów z zakresu podziemnego zgazowania węgla (Dziunikowski 1956, 1960; Dziunikowski, Wasilewski 1959; Jaskulski, Rabsztyn

1981; Rauk 1976, 1964). Przede wszystkim dały one podstawę do określenia technologii zgazowania węgla kamiennych powietrzem, tlenem, a także do optymalizacji wymiarów generatora gazu. Wykazano, że optymalną technologią podziemnego zgazowania węgla w złożu niezaburzonemu eksploatacją górnictwem jest metoda otworów generatorowych otwartych, wykonanych w pokładzie metodą szybową, z zastosowaniem tlenu lub tlenu z parą wodną do zgazowania. Metoda ta charakteryzuje się tym, że przy zachowaniu odpowiednich parametrów przepływu tlenu pokład węgla wypala się w czole ściany, a proces zgazowania przebiega w sposób ciągły z zachowaniem stałej wartości opałowej gazu.

Badania prowadzone w kraju miały charakter badań podstawowych i mogą stanowić bazę do dalszych prac nad procesem podziemnego zgazowania w skali doświadczalno-przemysłowej.

Obecnie w Polsce podjęto działania mające w przyszłości doprowadzić do wdrożenia technologii PZW.

Aktualne badania

W ostatnich kilkunastu latach prace nad podziemnym zgazowaniem węgla były prowadzone i są nadal:

- od 1999 roku w Australii (Underground Coal Gasification Site at Chinchilla) (The Chinchilla... 2002, An IGCC... 2001),
- od 1980 roku w Chinach (Underground Gasification Engineering Research Centre, Beijing) (Clean Energy... 2004),
- od 1999 roku w Wielkiej Brytanii (DTI's Energy) (Underground...2002, Summary of DTI... 1999),
- od 1992 roku w Hiszpanii (Underground... 1999).

W Australii, w miejscowości Chinchilla, kanadyjska firma Ergo Energy Technologies zrealizowała próbę przemysłową zgazowania pokładu węgla zlokalizowanego na głębokości około 149 m z zastosowaniem powietrza. W instalacji złożonej z dziewięciu otworów, przez niespełna 3 lata od 1999 do 2001 roku, produkowano do 80 000 m³/h gazu o wartości opałowej około 5000 kJ/m³. Od stycznia 2002 roku do kwietnia 2003 roku prowadzono proces kontrolowanego wygaszania generatora podziemnego, w sposób zapewniający pełną ochronę środowiska.

W Chinach od 1986 roku przeprowadzono 11 prób zgazowania węgla w skali przemysłowej, z czego pięć jest kontynuowanych do dnia dzisiejszego. Zgazowanie prowadzi się w dwóch cyklach (powietrzem i parą wodną), a produkt charakteryzuje się dużą, dochodzącą do 55% obj., zawartością wodoru.

Podziemnym zgazowaniem węgla zainteresowane są również: Japonia, Nowa Zelandia, Indie, Pakistan oraz Ukraina i Rumunia, jednakże doświadczenia tych krajów pozostają na etapie rozważań teoretycznych i prac doświadczalnych. Okres ostatnich lat obfituje w liczne wspólne inicjatywy i projekty tych państw.

W latach 1992–1999 powołano Europejską Komisję ds. Podziemnego Zgazowania Węgla (European UCG Trial), w celu opracowania procesu zgazowania pokładów położonych na głębokościach poniżej 500 m aż do 1000 m.

Projekt podziemnego zgazowania węgla realizowany w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia w Tulin w Belgii (Kowol 1997) był pierwszą na skalę światową próbą zgazowania węgla w pokładzie głęboko zalegającym (poniżej 1000 m).

Z analizy literatury wynika, że do 2004 roku na świecie były czynne dwie instalacje przemysłowe, w których był realizowany proces PZW, zlokalizowane jedna na Syberii, a druga w Uzbekistanie (Blinderman 2005).

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone rozeznanie stanu techniki wykazało, że znany od wielu lat proces PZW, realizowany także w skali przemysłowej, może być rozważany w Polsce jako przyszłościowe źródło gazu do zastosowań energetycznych i/lub chemicznych.

Do wdrożenia PZW są konieczne:

- dokładne rozeznanie złoża w połączeniu z otworową techniką pomiarową,
- opanowanie technik wiertniczych, a w szczególności wierceń kierunkowych,
- analiza współzależności procesu zgazowania z mechaniką górotworu,
- sterowanie procesem i zbieranie danych,
- ochrona środowiska naturalnego.

Istotnym elementem decydującym o wdrożeniu tej techniki jest także analiza opłacalności przedsięwzięcia, przy czym znaczącą rolę odgrywa w niej podaż i cena światowa ropy naftowej i gazu ziemnego.

Literatura

1. An IGCC Project at Chinchilla, Australia based on Underground Coal Gasification, Proceedings of the 2001 Gasification Technologies Conference, San Francisco, USA, October 8–10 2001.
2. Blinderman M.S. (2005): *The Energy Underground Coal Gasification and its application in commercial clean coal projects*. Second International Conference on Clean Coal Technologies for our Future, Italy.
3. Clean Energy from UCG in China. UK-China Technology Transfer – DTI Project. February 2004.
4. Darski J., Kicki J., Sobczyk E.J. (2001): *Raport o stanie gospodarki zasobami złóż węgla kamiennego*. Kraków, IGSMiE PAN.
5. Dziunikowski K. (1956): *Doświadczenia nad podziemnym zgazowaniem węgla w laboratoryjnym gazogeneratorze*. Komunikat GIG nr 182.
6. Dziunikowski K. (1960): *Podstawy interpretacji procesów fizykochemicznych w podziemnym zgazowaniu węgla powietrzem i ich obraz w przeprowadzonych doświadczeniach*. Komunikat GIG nr 246.
7. Dziunikowski K., Wasilewski J. (1959): *Wykonywanie otworów generatorowych w pokładzie węgla za pomocą przepalania strumieniem powietrza*. Przegląd Górniczy nr 6.
8. Hankus A., Bialecka B. (2005): *Bilans krajowych zasobów do podziemnego zgazowania węgla*. Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko nr 4, s. 67–77.
9. Jaskulski Z., Rabsztyn Z. (1981): *Podziemne zgazowanie węgla z użyciem energii elektrycznej*. Wiadomości Górnicze nr 3.

10. Jaskulski Z., Rabsztyn Z. (1982): *Rola czynników naturalnych w procesie podziemnego zgazowania węgla*. Wiadomości Górnicze nr 2.
11. Kowol K. (1997): *Szanse i perspektywy podziemnego zgazowania węgla*. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Kraków, PAN IGSMiE.
12. Prawo geologiczne i górnicze. Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r.
13. Rauk J. (1962): *Zależność wartości opalowej i składu gazu z podziemnego zgazowania węgla kamiennego od wilgotności gazu*. Prace GIG, Komunikat nr 305.
14. Rauk J. (1964): *Badanie temperatury i stopnia odgazowania calizny węglowej w podziemnym zgazowaniu węgla kamiennego*. Prace GIG, Komunikat nr 336.
15. Rauk J. (1976): *Optymalne wymiary generatora przy podziemnym zgazowaniu węgla powietrzem*. Prace GIG, Komunikat nr 660.
16. Rauk J. (1979): *Stan podziemnego zgazowania węgla w świecie*. Katowice, GIG.
17. Review of UCG Technological Advances Report No. COAL R211, Aug 2001, available on DTI web site, as a (Available at DTI Fossil Fuel Technology under Project Summaries).
18. Sprawozdania z działalności statutowej GIG pt.: „Bank o zasobach geologicznych węgla” z 2001 i 2002 r.
19. Summary of DTI Energy Paper 67 Cleaner Coal Technologies: The Government’s Plan for R& D Technology Transfer and Export Promotion, DTI, April 1999.
20. The Chinchilla IGCC Project to Date – Underground Coal Gasification and Environment. Proceedings of the 2002 Gasification Technologies Conference, San Francisco, USA, October 27–30, 2002.
21. The Future Development of UCG, Comprehensive Report to CEC by the European Working Group Report on UCG, April 1989.
22. Underground Coal Gasification – A Joint European Field Trial in Spain DTI Project Summary 017, March 1999.
23. Underground Coal Gasification in the United Kingdom. Summary document prepared for the 5th European Gasification Conference “Gasification – The Clean Choice”, 8–10 April 2002, Noordwijk.
24. United States Patent No 5,287,926, Date of Patent 1994.
25. Wasilewski J. (1966): *Zależność procesu podziemnego zgazowania węgla od rodzaju i szybkości przepływu środka zgazowującego*. Prace GIG, Komunikat nr 400.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk