

Andrzej STRUGAŁA*, Krystyna CZAPLICKA-KOLARZ**, Marek ŚCIAŻKO***

Projekty nowych technologii zgazowania węgla powstające w ramach Programu Strategicznego NCBiR

STRESZCZENIE. W ramach projektu finansowanego ze środków NCBiR p.t.: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii”, Konsorcjum Naukowo-Przemysłowe „Zgazowanie węgla” buduje dwie pilotowe instalacje. Pierwszą z nich jest ciśnieniowy reaktor z cyrkulującym złożem fluidalnym do zgazowania węgla z wykorzystaniem CO₂ jako czynnika zgazowującego. Instalacja ta wyposażona będzie w następujące układy: węzeł przygotowania węgla, zbiorniki gazów technicznych, wytwornicę pary, układ chłodzenia, oczyszczania i konwersji gazów, komorę spalania oraz turbinę gazową. Na podstawie uzyskanych wyników przygotowany zostanie projekt procesowy krajowej instalacji demonstracyjnej zgazowania węgla z wykorzystaniem reaktora CFB. Przewiduje się, że rozwijana technologia ciśnieniowego zgazowania węgla może znaleźć zastosowanie w instalacjach przemysłowych średniej mocy zarówno w przemyśle chemicznym (produkcja wodoru) jak i energetyce (wytworzenie ciepła i energii elektrycznej w kogeneracyjnych układach IGCC).

Drua instalacja pilotowa przeznaczona będzie dla podziemnego zgazowania węgla kamiennego powietrzem wzbogaconym w tlen. Zlokalizowana będzie w kopalni Wieczorek, a obiektem zgazowania będzie znajdujący się na głębokości 400 m pokład 501 o miąższości około 5 m. Uzyskany gaz, po schłodzeniu i oczyszczeniu będzie wykorzystany do produkcji ciepła na potrzeby własne kopalni. Dzięki wynikom trwającej około 3 miesiące próby pilotowej opracowany zostanie projekt procesowy krajowej instalacji demonstracyjnej podziemnego zgazowania węgla kamiennego. W przyszłości przewiduje się wykorzystanie tej

* Dr hab. inż. — Wydział Energetyki i Paliw, AGH, Kraków, e-mail: strugala@agh.edu.pl

** Prof. dr hab. inż. — Główny Instytut Górnictwa w Katowicach.

*** Dr hab. inż. — Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze.

technologii w zakładach energetycznych o mocy rzędu 50 MW, zasilających lokalne rynki energii elektrycznej i ciepła sieciowego. Proponowane instalacje podziemnego zgazowania przeznaczone są w pierwszej kolejności dla eksploatacji złóż węgla kamiennego w których zakończono już eksploatację a także dla tych partii będących w eksploatacji pokładów, które ze względów technicznych lub ekonomicznych nie nadają się do wydobycia tradycyjnymi metodami.

SŁOWA KLUCZOWE: węgiel, zgazowanie, instalacje pilotowe, projekt NCBiR

Wprowadzenie – ogólne informacje o Projekcie

W maju 2010 r. Konsorcjum Naukowo-Przemysłowe „Zgazowanie węgla” rozpoczęło realizację projektu: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii”. Projekt ten jest jednym z czterech zadań badawczych finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych p.t.: „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”.

Zgodnie z założeniem, podstawowym celem Programu jest określenie priorytetowych kierunków rozwoju technologii węglowych, co winno umożliwić opracowanie racjonalnej polityki oraz podjęcie strategicznych decyzji dotyczących rozwoju czystych, węglowych technologii energetycznych, dywersyfikacji bazy surowcowej dla przemysłu chemicznego oraz zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju poprzez wykorzystanie produktów powstających w procesach zgazowania węgla.

Jako główne rezultaty realizacji tego Projektu wymienić należy:

- ✧ opracowanie i weryfikację w skali pilotowej procesów powierzchniowego i podziemnego zgazowania węgla,
- ✧ opracowanie dla warunków krajowych strategicznych kierunków rozwoju czystych technologii węglowych wykorzystujących procesy zgazowania dla zastosowań w energetyce i chemii,
- ✧ opracowanie dokumentacji procesowej układów stanowiących podstawę do budowy krajowych instalacji demonstracyjnych obejmujących instalacje zgazowania powierzchniowego i podziemnego.

Pod względem merytorycznym Projekt obejmuje osiem tematów badawczych, a mianowicie:

- ✧ opracowanie szczegółowej bazy danych węgla krajowych dla procesu zgazowania,
- ✧ opracowanie i weryfikację w skali pilotowej technologii ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze z cyrkulującym złożem fluidalnym przy wykorzystaniu CO₂ jako czynnika zgazowującego,
- ✧ opracowanie modeli symulacyjnych dla projektowania i optymalizacji układów produkcji paliw gazowych i ciekłych na bazie ciśnieniowego zgazowania węgla,
- ✧ opracowanie i weryfikację w skali pilotowej technologii podziemnego zgazowania węgla,

- ✧ opracowanie modeli symulacyjnych dla projektowania i optymalizacji układów kogeneracji i produkcji energii elektrycznej na bazie podziemnego zgazowania węgla,
- ✧ opracowanie projektów technologicznych układów stanowiących podstawę do budowy krajowych instalacji demonstracyjnych,
- ✧ opracowanie dla warunków krajowych mapy rozwiązań technologicznych,
- ✧ kompleksową ocenę i wybór strategicznych kierunków zgazowania węgla.

W skład Konsorcjum realizującego Projekt wchodzi: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie (Lider Projektu), Główny Instytut Górnictwa w Katowicach, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze i Politechnika Śląska w Gliwicach (partnerzy naukowcy) oraz Katowicki Holding Węglowy S.A., KGHM Polska Miedź S.A., Tauron Polska Energia S.A., Południowy Koncern Energetyczny S.A., Południowy Koncern Węglowy S.A. i ZAK S.A. (partnerzy przemysłowi). Całkowity budżet Projektu obejmuje dofinansowanie z NCBiR (80 mln zł) oraz wkład własny partnerów przemysłowych, wynoszący około 10 mln zł. Planowany czas realizacji Projektu: 5 lat.

W prezentowanym artykule skoncentrowano się na charakterystyce proponowanych nowych technologii zgazowania, które będą obiektem badań w ramach budowanych instalacji pilotowych.

1. Pilotowa instalacja ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze z cyrkulującym złożem fluidalnym przy wykorzystaniu CO₂ jako czynnika zgazowującego

1.1. Krótka charakterystyka wybranej do badań technologii zgazowania

Najważniejsze kierunki badawcze, których rezultaty będą determinować komercyjny rozwój technologii zgazowania węgla zostały zdefiniowane przez DOE (USA), przy współpracy z głównymi światowymi dostawcami urządzeń technologicznych dla systemów zgazowania [1]. Obejmują one m.in. opracowanie nowych rozwiązań aparaturowych dla reaktorów zgazowania w tym:

- ✧ reaktorów niskotemperaturowych, w których proces przebiega poniżej temperatury mięknięcia popiołu (redukcja kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych oraz poprawa niezawodności i dyspozycyjności układu),
- ✧ rozwiązań układów gwarantujących dużą elastyczność paliwową, a w szczególności dających możliwość stosowania węgla niskouwęglonych o dużej zawartości popiołu,
- ✧ układów tzw. średnioskalowych (do 100 MW) dla zastosowań przemysłowych (standardowe systemy, łatwe do powielenia i mogące przyczynić się do stymulacji zapotrzebowania rynkowego na technologie zgazowania).

Procesami, które mogą sprostać tym wymaganiom są fluidalne technologie zgazowania węgla, które nie znalazły jak dotąd szerokiego zastosowania komercyjnego [2, 3], przede wszystkim z uwagi na ograniczenia związane z zastosowaniami wielkoskalowymi wymagającymi przerobu około 100 Mg węgla/godz. w jednym reaktorze. Rozwój reaktorów dyspersyjnych wskazuje jednak, że posiadają one szereg wad, w tym:

- ✧ konieczność stosowania wysokich temperatur zgazowania (powyżej 1300°C),
- ✧ ciekły odbiór żużla, co zwiększa oddziaływania erozyjne i korozyjne w reaktorze,
- ✧ ograniczenia związane z jakością węgla,
- ✧ niska koncentracja pyłu węglowego w układzie reakcyjnym, co uniemożliwia zastosowanie ditlenku węgla jako składnika gazu podmuchowego.

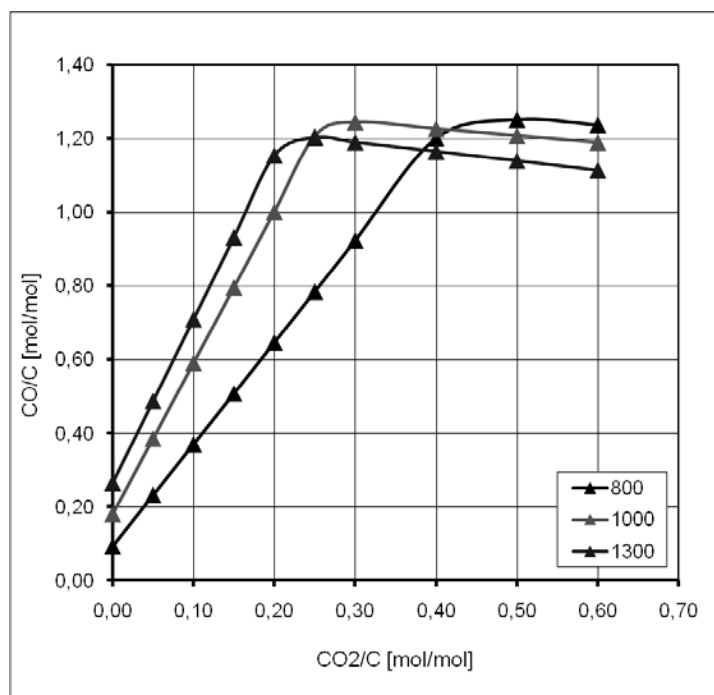
Zasadniczym elementem nowoczesności proponowanej technologii jest zgazowanie węgla z wykorzystaniem ditlenku węgla, który może ulegać reakcji w zakresie temperatur 800–1000°C i przy obecności węgla pierwiastkowego. Takie warunki mogą być jedynie osiągnięte w reaktorze ze złożem fluidalnym, w którym złożo w układzie jest odpowiednio zagęszczone, a nieprzereagowany karbonizat tworzy powierzchnię aktywną chemicznie do reakcji z wprowadzonym z zewnątrz CO₂. Proponowane rozwiązanie pozwala na wzrost efektywności procesowej i ekonomicznej oraz obniżenie szkodliwego wpływu na środowisko. Proponuje się więc wariant przemysłowego wykorzystania reakcji Boudouarda, w wyniku której otrzymuje się tlenek węgla wynikający z reakcji CO₂ z C, stanowiący obok wodoru podstawowy składnik gazu syntezowego. Z przeprowadzonych obliczeń termodynamicznych wynika (rys. 1), że taka realizacja procesu pozwala na zwiększenie wydajności i poprawę ekonomiki produkcji gazu syntezowego m.in. w rezultacie obniżenia zużycia paliwa (zmniejszenie o około 30% zużycia pierwiastka C przy stałej produkcji CO), a także – co niezwykle istotne – na chemiczne wykorzystanie CO₂ w swoistym recyklingu.

Istotnym elementem koncepcji technologii zgazowania węgla przy wykorzystaniu CO₂ jest zastosowanie reaktora zgazowania z cyrkulującym złożem fluidalnym (CFB), zapewniające korzystne warunki wymiany ciepła i masy, efektywny przebieg procesu oraz pozwalające stosować węgle o relatywnie wysokiej zawartości substancji mineralnej. Reaktor ten jest konstrukcją autorską realizatorów Projektu.

1.2. Cel badań

Podstawowym celem badań jest opracowanie optymalnych konfiguracji oraz wytycznych procesowych i projektowych układów fluidalnego zgazowania węgla stanowiących podstawę do budowy krajowych instalacji demonstracyjnych, a w szczególności:

- ✧ opracowanie i weryfikacja w skali pilotowej technologii produkcji gazu syntezowego przy wykorzystaniu CO₂, w reaktorze z cyrkulującym złożem fluidalnym,
- ✧ oczyszczanie gazu procesowego,
- ✧ określenie wpływu ciśnienia na przebieg procesu,
- ✧ opracowanie wariantów technologicznych dla rozwiązań systemowych, a przede wszystkim: układów hybrydowych oksypalanie–zgazowanie; zgazowanie–układ gazowo-parowy.



Rys. 1. Wpływ wykorzystania CO₂ w procesie zgazowania paliw stałych na względny wzrost produkcji CO; (CO/C, CO₂/C – ilości wytwarzanego CO i doprowadzonego do układu CO₂ w odniesieniu do pierwiastka C zawartego w paliwie)

Fig. 1. Impact of using CO₂ in the process of solid fuels gasification on relative growth of CO production (CO/C, CO₂/C – amounts of resulting CO and CO₂ supplied to the system in relation to the C element contained in fuel)

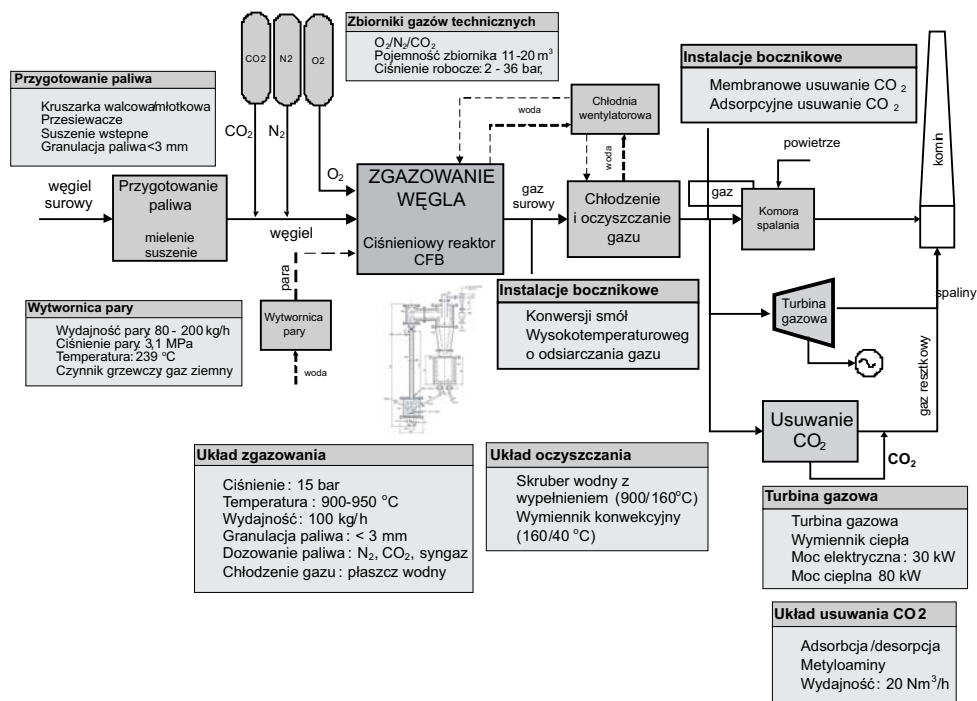
1.3. Opis instalacji pilotowej

Schemat blokowy instalacji pilotowej ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze CFB wraz z infrastrukturą przedstawia rysunek 2.

Zasadniczym elementem instalacji jest ciśnieniowy reaktor z cyrkulującym złożem fluidalnym. Instalacja zgazowania zintegrowana jest z następującymi węzłami technologicznymi: przygotowanie paliwa, zbiorniki gazów technicznych, wytwornica pary, chłodzenie i oczyszczanie gazu procesowego, komora spalania, turbina gazowa.

1.4. Dane techniczne i parametry procesowe instalacji pilotowej

Pilotowa instalacja ciśnieniowego zgazowania przeznaczona jest do badania procesu zgazowania paliw stałych w następujących warunkach: ciśnienie do 1,5 MPa, temperatura 800–950°C, zużycie węgla 100 kg/godz. Wyniki symulacji parametrów procesowych pracy instalacji zestawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Pilotowa instalacja zgazowania węgla wraz z infrastrukturą

Fig. 2. Coal gasification pilot plant with infrastructure

TABELA 1. Podstawowe parametry procesowe pilotowej instalacji zgazowania

TABLE 1. Basic process parameters of the pilot gasification plant

Oznaczenie/ /Strumień	Jedn.	Węgiel	Tlen	Para wodna	Gaz z reaktora	Woda zimna	Woda ciepła	Gaz przed cyklonem	Gaz przed skruberem	Recykl	Popiół wyjście
Ilość	kg/h	100	70,00	20,00	285,85	2 385,4	2 385,4	285,85	177,51	100,00	8,33
Temperatura	°C	15,00	15,00	203,00	900,00	25,00	50,00	800,0	800,0	800,00	400,00
Ciśnienie	MPa	1,50	1,50	1,73	1,50	0,20	0,20	1,50	1,50	1,50	1,50

1.5. Program badań

Program badań podzielony został na kilka części, obejmujących pełny i usystematyzowany cykl prac od badań w skali laboratoryjnej (pozwalających na poznanie mechanizmów badanych procesów) poprzez badania półtechniczne (pozwalające na stworzenie podstaw procesowych opracowywanej technologii) do kompleksowych testów technologicznych w skali pilotowej, których wyniki stanowią będą podstawą do opracowania dokumentacji procesowych dla budowy krajowych instalacji demonstracyjnych. W ramach proponowanych prac badawczych zostaną zrealizowane:

- ✧ badania procesowe zgazowania węgla kamiennych w skali laboratoryjnej i pilotowej atmosferycznej ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania CO₂ do produkcji gazu,
- ✧ badania technologiczne w instalacji pilotowej do ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze CFB, ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania CO₂ do procesu zgazowania,

Program komercjalizacji rezultatów projektu w części poświęconej opracowaniu projektów technologicznych układów stanowiących podstawę do budowy krajowych instalacji demonstracyjnych przewiduje opracowanie dokumentacji technicznej i wstępnego studium wykonalności wybranej konfiguracji technologicznej układu produkcyjnego zintegrowanego ze zgazowaniem węgla według opracowanej w ramach projektu technologii. Stanowiąc to będzie podstawę do znalezienia strategicznych partnerów przemysłowych i budowy instalacji demonstracyjnych. Potencjalnymi partnerami w tym zakresie jest krajowy przemysł chemiczny (ZA Kędzierzyn) i energetyka (Tauron Polska Energia).

1.6. Ocena możliwości przemysłowej aplikacji wybranej do badań technologii zgazowania węgla

Głównym celem realizacji projektu badawczego jest opracowanie i weryfikacja w skali pilotowej technologii ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze z cyrkulującym złożem fluidalnym przy wykorzystaniu CO₂ jako czynnika zgazowującego. Uzyskane na tym etapie informacje pozwolą na rzetelną ocenę zaproponowanych rozwiązań procesowych i aparaturowych oraz dostarczą wiarygodnych danych dla opracowania projektów technologicznych i studiów wykonalności instalacji demonstracyjnych i przemysłowych minimalizując ryzyko podjęcia działań inwestycyjnych związanych z ich budową. Przewiduje się, że rozwijana technologia zgazowania może znaleźć zastosowania w układach przemysłowych średniej mocy zarówno w zakresie produkcji chemicznej jak i energetyce. Szczególnie interesujące obszary aplikacji to rozproszona produkcja energii i ciepła, m.in. w kogeneracyjnych układach IGCC, a w obszarze chemii – produkcja wodoru. Istotnym rezultatem prowadzonych prac potencjalnie mającym dużą wartość komercyjną będzie *know-how* w zakresie wykorzystania CO₂ (jako czynnika zgazowującego) w procesach zgazowania węgla.

2. Pilotowa instalacja podziemnego zgazowania węgla w warunkach geologiczno-górnich KWK Wieczorek

2.1. Krótka charakterystyka procesu podziemnego zgazowania węgla

Proces podziemnego zgazowania węgla (PZW) polega na przeprowadzeniu kontrolowanych reakcji pomiędzy węglem pierwiastkowym znajdującym się w pokładzie oraz

doprowadzonym z powierzchni czynnikiem zgazowującym. W zależności od czynnika, który stanowi powietrze, tlen, para wodna lub ich mieszanina można uzyskać gaz, którego głównymi składnikami są wodór, tlenek węgla, metan oraz składniki niepalne (azot i dwutlenek węgla). Wartość opałowa powstającego gazu wynosi do 4,6–5,4 MJ/m³ (przy zastosowaniu jako czynnika zgazowującego powietrza) oraz do 10–11 MJ/m³ (przy zastosowaniu tlenu) [4]. W zależności od składu wyprodukowany gaz po oczyszczeniu jest wykorzystywany do wytwarzania energii lub jako surowiec chemiczny do produkcji metanolu czy paliw płynnych metodą Fischera-Tropscha.

Cykl życia instalacji PZW składa się z trzech etapów, tj.:

- ✧ budowy generatora w pokładzie węgla, polegającej na wykonaniu otworów (kanałów), poprzez które doprowadza się czynniki zgazowujące i odbiera wyprodukowany gaz,
- ✧ eksploatacji generatora, rozpoczynającej się od zapalenia węgla w określonym miejscu uprzednio przygotowanej sieci kanałów; dalsze prowadzenie procesu polega na kontrolowanym podawaniu czynników zgazowujących i odbiorze wytworzonego gazu,
- ✧ wygaszania generatora, polegającego na zaprzestaniu podawania czynnika zgazowującego, napełnieniu georeaktora gazem niepalnym (np. azotem), chłodzeniu (np. wodą) i ewentualnym wypełnieniu powstałej pustki.

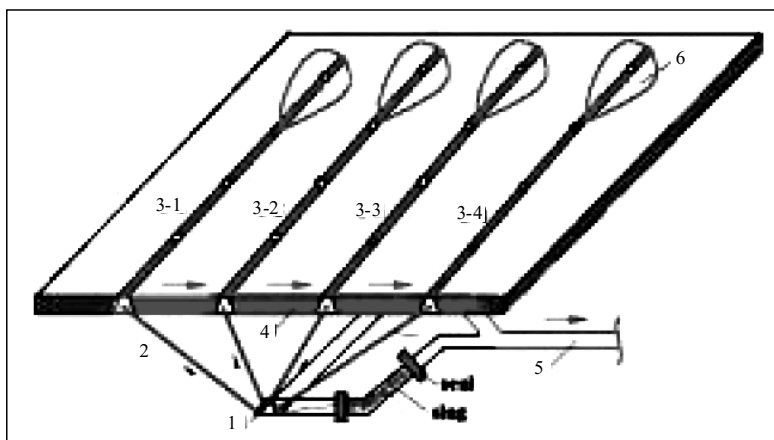
W wyniku wieloletnich badań i prób prowadzonych w warunkach rzeczywistych w różnych skalach (od pilotowej do komercyjnej) i w różnych krajach (kraje b. ZSRR, Chiny, Australia, Belgia, Hiszpania, RPA), powstały dwie odmiany technologii podziemnego zgazowania, różniące się sposobem udostępniania złoża węgla do tego procesu [5, 6]:

- ✧ metoda otworowa,
- ✧ metoda szybowa.

Metoda otworowa polega na wierceniu z powierzchni ziemi pionowych otworów, które następnie łączy się w pokładzie poprzez przepalanie, z zastosowaniem sprężonego powietrza lub wody, czy metodą elektrokoksowania. Preferowaną obecnie techniką są wiercenia otworów kierunkowych, stosowane w przemyśle wydobywania ropy i gazu. Metoda otworowa stosowana jest przede wszystkim dla pokładów zalegających na dużych głębokościach i pokładów, które dotychczas nie były jeszcze eksploatowane.

Metoda szybowa polega na udostępnieniu pokładu do procesu zgazowania za pomocą otworów wierconych z już istniejących lub specjalnie do tego celu wykonanych metodami górniczymi wyrobisk. Ta metoda znajduje zastosowanie przede wszystkim w przypadku pokładów położonych na mniejszej głębokości, a także dla wykorzystania partii węgla pozostałych po zakończonej eksploatacji górniczej. Na rysunku 3 przedstawiono schemat obrazujący zasadę metody szybowej według koncepcji opracowanej w Chinach, w których ze względu na strukturę zasobów węgla przewidzianych do zgazowania podziemnego, istnieje szczególnie duże zainteresowanie tą metodą.

W Polsce, a także w innych krajach europejskich występują złoża węgla kamiennego, w których zakończono już eksploatację w obszarach górniczych. Występują też złoża, w których prowadzone jest co prawda wydobywanie, jednak występują pewne partie złoża, które ze względów technicznych i ekonomicznych nie nadają się do eksploatacji. Przykładem mogą być pokłady cienkie, których eksploatacja tradycyjnymi metodami górniczymi



Rys. 3. Zgazowanie podpowierzchniowe metodą szybową
1 – chodnik czynnika zgazowującego, 2 – otwory zasilające, 3 – otwory ogniowe, 4 – chodnik odprowadzenia gazu, 5 – główny chodnik udostępniający, 6 – georeaktor

Fig. 3. Underground coal gasification by shaft method
1 – injection heading for gasifying agent, 2 – feeding boreholes, 3 – fire boreholes, 4 – gas production heading, 5 – main access gallery, 6 – georeactor

jest nieopłacalna. Takie właśnie złoża lub ich partie stanowią potencjalną bazę surowcową dla potrzeb podziemnego zgazowania węgla kamiennego.

Polska jest szczególnie zainteresowana wszelkimi nowoczesnymi technologiami, które w istniejących warunkach gospodarczych i z uwzględnieniem rozbudowanej infrastruktury, umożliwiłyby bezpieczną i ekonomicznie uzasadnioną eksploatację wspomnianych wcześniej zasobów węgla kamiennego.

2.2. Cel i zakres badań w pilotowej instalacji podziemnego zgazowania węgla

Krajowe zasoby węgla kamiennego skoncentrowane są w Górnślaskim Zagłębiu Węglowym i w wyniku wieloletniej już działalności przemysłu wydobywczego charakteryzują się znacznym stopniem wyeksploatowania. W celu zwiększenia stopnia wykorzystania zasobów w tym rejonie, w ramach części Projektu poświęconej podziemnemu zgazowaniu węgla skoncentrowano się na opracowaniu wersji tej technologii przydatnej do zastosowania dla pokładów lub ich części znajdujących się na terenach prowadzonej eksploatacji górniczej lub pozostałych po eksploatacji tą metodą.

Należy podkreślić, że Główny Instytut Górnictwa, odpowiedzialny za realizację tej części Projektu, posiada wieloletnie już doświadczenie w zakresie badań technologii podziemnego zgazowania węgla z udostępnieniem pokładów z wyrobisk górniczych, między innymi w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia w kopalni Mars w Sosnowcu przeprowadzono szereg prób zgazowania węgla w skali kilkudziesięciu kg/godz. [7]. W 2010 r. w ramach projektu HUGE (*Hydrogen Oriented Underground Coal Gasification for Europe*)

przeprowadzono wielodobową próbę zgazowania węgla w skali około 60 kg/godz. w Kopalni Doświadczalnej Barbara w Mikołowie [6]. Wyniki tych prób, w tym doświadczenia dotyczące sposobu bezpiecznego prowadzenia i zakończenia zgazowania oraz sposobu monitoringu przebiegu procesu zostaną wykorzystane przy opracowaniu koncepcji, projektu oraz budowie instalacji pilotowej zlokalizowanej w warunkach geologiczno-górnich KWK Wieczorek.

Zgodnie z założeniami, budowa instalacji pilotowej oraz przeprowadzenie próby podziemnego zgazowania węgla w warunkach rzeczywistych należą do kluczowych zadań Projektu, determinujących osiągnięcie założonych w nim celów, a tym samym powodzenie całego Projektu.

Jako główne cele budowy instalacji pilotowej podziemnego zgazowania węgla i przewidzianych w ramach Projektu badań wymienić należy:

- ✧ opracowanie technologii podziemnego zgazowania węgla metodą udostępnienia złoża z istniejących wyrobisk; technologia ta może być wykorzystana m.in. w przypadku resztkowych pokładów pozostałych po eksploatacji węgla oraz w przypadku pokładów, których eksploatacja tradycyjnymi metodami jest nieopłacalna,
- ✧ pozyskanie danych niezbędnych dla opracowania projektu technologicznego i wstępnego studium wykonalności instalacji demonstracyjnej podziemnego zgazowania węgla,
- ✧ zgromadzenie wiarygodnych danych dla przeprowadzenia wieloparametrycznej oceny eko-efektywności technologii podziemnego zgazowania węgla.

Projekt techniczny instalacji pilotowej oraz założenia technologiczne dla realizacji eksperymentu podziemnego zgazowania węgla w warunkach geologiczno-górnich KWK Wieczorek zostaną opracowane na podstawie wyników badań modelowych oraz prób przeprowadzonych w reaktorach doświadczalnych na stanowiskach zlokalizowanych w KD Barbara (w tym także zaprojektowanych dla Centrum Czystych Technologii Węglowych).

Przewidziany w Projekcie zakres prac związanych z instalacją pilotową, obejmuje wszystkie trzy wspomniane wcześniej etapy cyklu życia, a w szczególności:

- ✧ opracowanie procedur lokalizacji georeaktora z uwzględnieniem zagadnień prawnych i bezpieczeństwa,
- ✧ opracowanie dokumentacji niezbędnych dla budowy i eksploatacji georeaktora,
- ✧ wykonanie robót chodnikowych udostępniających wybrany rejon dla potrzeb budowy georeaktora,
- ✧ wykonanie niezbędnych instalacji podziemnych, w tym mediów zgazowujących, odbioru produktów, bezpieczeństwa (azotowej, podsadzki, wody) oraz monitoringu,
- ✧ przeprowadzenie analizy ryzyka przedsięwzięcia,
- ✧ nadzór nad przebiegiem eksperymentu zgazowania,
- ✧ zapewnienie bezpiecznych warunków jego zakończenia oraz likwidację poligonu doświadczalnego.

Program eksperymentu przewiduje przeprowadzenie jednej próby zgazowania wyznaczonej partii węgla w pokładzie 501 o miąższości 5 m w KWK Wieczorek (należącej do Katowickiego Holdingu Węglowego S. A.), przy zastosowaniu jako czynnika zgazowującego powietrza wzbogaconego w tlen. Czas trwania zasadniczej części tego ekspe-

rymentu – tj. od momentu zapalenia złoża do zaprzestania podawania czynników zgazowujących – będzie wynosił maksymalnie 3 miesiące.

Należy podkreślić skomplikowany pod względem formalnym charakter realizowanego przedsięwzięcia badawczego. Rozpoczęcie prac związanych z budową georeaktora między innymi wymagało przygotowania następującej dokumentacji:

1. Wniosek o wydanie decyzji środowiskowej.
2. Dodatek do planu zagospodarowania złoża.
3. Dokumentacja dla komisji ds. Atmosfery Kopalnianej i Zagrożeń Aerologicznych w PZG.
4. Dodatki do planu ruchu kopalni odnośnie:
 - ✧ wykonania wyrobisk badawczych,
 - ✧ doświadczalnej eksploatacji pokładu.
5. Wniosek do Prezesa WUG o odstępstwo od zasady, że pokład zagrożony tapaniami należy wybierać systemem ścianowym.
6. Projekt techniczny: warunki techniczno-organizacyjne eksperymentu.

2.3. Schemat instalacji pilotowej i parametry procesowe planowanego eksperymentu

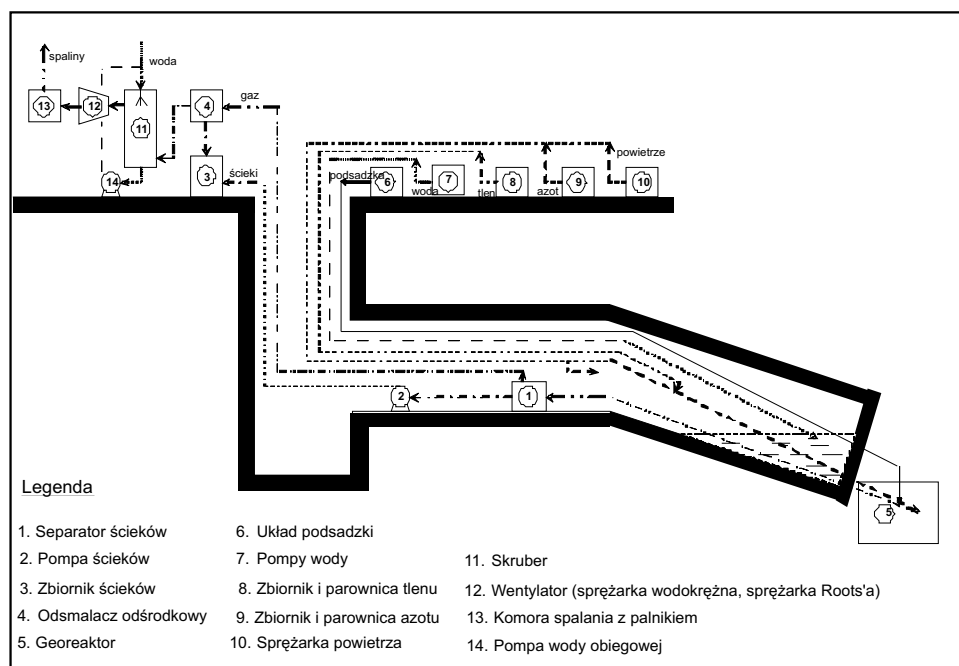
Na rysunku 4 przedstawiono koncepcję instalacji pilotowej. Dostarczenie czynników zgazowujących oraz odbiór produktów reakcji ze strefy zgazowania w pokładzie realizowany będzie z wyrobiska wykonanego około 2–2,5 m nad pokładem dwoma otworami nawierconymi po skosie w kształcie litery V. Rurociąg produktów chłodzony będzie przeponowo wodą, którą zostanie wypełniona część wyrobiska po jego wcześniejszym uszczelnieniu metodą torkretowania. Czynniki zgazowujące dostarczane będą z powierzchni systemem rurociągów w szybie i wyrobiskach, a mianowicie:

- ✧ powietrze: z kompresora powietrza,
- ✧ tlen: ze zbiornika ciekłego tlenu z parownicą.

Ze względów bezpieczeństwa w rejon zgazowania doprowadzona będzie też podsadzka i azot.

Wstępne wydzielenie substancji smolistych i zanieczyszczonych wód odbywać się będzie w separatorze umieszczonym w podziemnych wyrobiskach. Produkty gazowe transportowane rurociągiem w szybie poddane zostaną dalszemu oczyszczaniu w układzie odsmalacza odśrodkowego i skrubera wodnego. Po osuszeniu gaz kierowany będzie do palnika o konstrukcji opracowanej przez Politechnikę Śląską. Uzyskane ciepło zostanie wykorzystane dla potrzeb własnych w obiektach kopalni KWK Wieczorek. Założone parametry procesowe instalacji pilotowej są następujące:

- ✧ wydajność zgazowania węgla: 600 kg/godz.,
- ✧ łączna ilość zgazowanego w okresie próby węgla: około 1200 Mg,
- ✧ intensywność podawania czynników zgazowujących: 1230 Nm³/godz. w przypadku powietrza oraz 800 Nm³/godz. w przypadku powietrza wzbogaconego w tlen do 60%,
- ✧ ilość produkowanego gazu: około 1680 Nm³/godz.,



Rys. 4. Schemat ideowy pilotowej instalacji podziemnego zgazowania węgla w warunkach geologiczno-górnictwowych w KWK Wieczorek

Fig. 4. Schematic diagram of UCG pilot plant in geological-mining conditions of the Wieczorek coal mine

❖ średni skład gazu o wartości opałowej około $4,5 \text{ MJ/Nm}^3$ ($\pm 20\%$):

azot	– 53% obj.
dwutlenek węgla	– 16% obj.
tlenek węgla	– 12% obj.
metan	– 3% obj.
wodór	– 15% obj.
tlen	– 1% obj.

Charakterystykę węgla w pokładzie 501, który poddany zostanie podziemnemu zgazowaniu podano w tabeli 2.

Program eksperymentu obejmuje przeprowadzenie zgazowania trwającego około trzy miesiące w celu potwierdzenia przyjętych założeń techniczno-technologicznych procesu. Planuje się bogate wyposażenie instalacji oraz rejonu kopalni w otoczeniu georeaktora w aparaturę kontrolno-pomiarową w celu uzyskania danych dla określenia wskaźników technologicznych (bilans materiałowy, bilans energetyczny) jak również – a może przede wszystkim – dla oszacowania wielkości i zasięgu możliwych zagrożeń dla ludzi i środowiska wynikających ze specyfiki procesu.

Wyniki prowadzonych we wszystkich fazach prac i badań na instalacji pilotowej (budowa, eksploatacja, zatrzymanie, likwidacja) stanowiąc będą najważniejsze źródło wiarygodnych danych dla przygotowania projektu procesowego instalacji demonstracyjnej.

TABELA 2. Charakterystyka węgla w przewidzianym do podziemnego zgazowania pokładzie 501

TABLE 2. Coal characteristics in seam no. 501, intended for UCG

Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
Wilgoć całkowita	W_t^r	%	7,00
Popiół	A^r	%	10,1
Siarka	S_t^r	%	0,92
Wartość opałowa	Q_t^r	kJ/kg	25 272
Zawartość węgla	C^a	%	66,0
Zawartość części lotnych	V^a	%	28,68
Zdolność spiekania	RI	—	0,0

Kolejnym krokiem w rozwoju i wdrożeniu technologii podziemnego zgazowania węgla kamiennego w Polsce będzie budowa instalacji demonstracyjnej, którą winien stanowić moduł instalacji przemysłowej. Uwzględniając stan zasobów węgla kamiennego w Polsce można przyjąć, że najbardziej interesującą lokalizacją takiej jednostki będą zasoby nieprzemysłowe, ewentualnie pola rezerwowe istniejącej lub zlikwidowanej już kopalni, wybranej na podstawie wyników analizy jej zasobów oraz analizy wykonalności przedsięwzięcia.

2.4. Ocena możliwości przemysłowej aplikacji wybranej do badań technologii zgazowania węgla

Specyfiką kompleksu obejmującego wytwarzanie gazu w georeaktorze oraz jego energetyczne zagospodarowanie dla potrzeb wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej jest jego powiązanie lokalizacyjne, wynikające z nieopłacalności przesyłu niskokalorycznego gazu na dalsze odległości. Dlatego, uwzględniając ograniczenia zasobów węgla przewidzianych do zgazowania w konkretnym systemie georeaktorów, z których składać się będzie instalacja, należy przyjąć, że w warunkach polskich podziemne zgazowanie węgla kamiennego może stanowić źródło zasilania zakładów energetycznych o mocy rzędu 50 MW, pracujących dla potrzeb lokalnego rynku energii ciepłej i elektrycznej. Projekt procesowy instalacji demonstracyjnej zostanie wykonany dla takiego właśnie wariantu zastosowania gazu z podziemnego zgazowania węgla.

O słuszności wyboru takiej właśnie ścieżki rozwoju podziemnego zgazowania węgla świadczy zainteresowanie spółek węglowych, działających na rynku krajowym. Dobitym przykładem jest zaangażowanie Katowickiego Holdingu Węglowego S.A. w budowę instalacji pilotowej.

Podsumowanie

W świetle zobowiązań Polski wynikających z Traktatu Akcesyjnego polskiego członkostwa w UE, a także wymagań stosownych dyrektyw Unii Europejskiej, wdrożenie nowoczesnych niskoemisyjnych technologii węglowych jest niezbędnym warunkiem zachowania przez węgiel wiodącej pozycji w Polsce [9, 10, 11]. Do grona tzw. czystych technologii węglowych oprócz wysokosprawnych niskoemisyjnych bloków węglowych oraz oksypalania węgla zaliczyć też należy zgazowanie węgla dla celów energetycznych oraz chemicznych. Wspomniane technologie mogą być zintegrowane z wychwytem CO₂ i jego sekwestracją. O powodzeniu planów wdrożenia tych technologii zdecydują jednak względy ekonomiczne – koszty inwestycji, koszty wytwarzania energii, a także wysokość opłat związanych z wytwarzaniem i emisją CO₂ [12, 13, 14].

Widząc szanse czystych technologii węglowych dla przyszłego rozwoju gospodarki naszego kraju, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju wdrożyło do realizacji strategiczny program „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”, którego elementem jest Zadanie Badawcze pt.: Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii.

Wyniki badań prowadzonych za pomocą opisanych w artykule pilotowych instalacji zgazowania węgla wykorzystane zostaną dla opracowania projektów technologicznych oraz wstępnych studiów wykonalności instalacji demonstracyjnych: ciśnieniowego zgazowania węgla (dla zastosowań chemicznych, energetycznych, jak również dla układów poligeneracyjnych) oraz podziemnego zgazowania węgla (dla zastosowań energetycznych). Należy podkreślić, że realizacja tego typu przedsięwzięć jest uwzględniona w polityce energetycznej UE.

Wszystkie te działania winny umożliwić wyznaczenie priorytetowych kierunków rozwoju technologii węglowych, a tym samym opracowanie racjonalnej polityki energetycznej Polski oraz podjęcie w jej ramach strategicznych decyzji dotyczących rozwoju czystych, węglowych technologii energetycznych. Ułatwi to realizację naszych zobowiązań w zakresie tzw. pakietu klimatycznego, zapewni dywersyfikację bazy surowcowej dla przemysłu chemicznego oraz zwiększy bezpieczeństwo energetyczne naszego kraju poprzez zachowanie znaczącej pozycji węgla kamiennego i brunatnego w jego bilansie energetycznym.

Zadanie badawcze „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej” finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych pt.: „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”.

Literatura

- [1] Gasification Technologies; Gasification Markets and Technologies — Present and Future, An Industry Perspective. U.S. Department of Energy Report, June 2002.
- [2] Gasification World Database2007-Current Industry Status, Robust Growth Forecast, Department of Energy USA, National Energy Technology Laboratory, dostępny: www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/database/database.html

- [3] Gasification Database (9/2007) DOE, NETL, dostępny:
www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/database/database.html
- [4] KREININ E.W., 2010 – Podziemna gazyfikacja uglej. Osnovy teorii i praktyki innowacji. Wyd. „Taims”, Moskwa.
- [5] COUCH G.R., 2009 – Underground Coal Gasification. IEA Clean Coal Centre.
- [6] STAŃCZYK K., DUBIŃSKI J., CYBULSKI K., WIATOWSKI M., ŚWIADROWSKI J., KAPUSTA K., ROGUT J., SMOLIŃSKI A., KRAUSE E., GRABOWSKI J., 2010 – Podziemne zgazowanie węgla – doświadczenia światowe i eksperymenty prowadzone w KD Barbara. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 13, z. 2, str. 423–434.
- [7] RAUK J., 1959 – Kształtowanie się kanału ogniowego w podziemnym zgazowaniu węgla kamiennego. *Prace Głównego Instytutu Górnictwa Katowice, Wyd Górniczo-Hutnicze*.
- [8] CHMIELNIAK T., 2010 – Wybrane technologie energetyczne 2020+. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 13, z. 2, Kraków, s. 77–90.
- [9] STRZELEC-ŁOBODZIŃSKA J., 2010 – Dylematy polskiej polityki energetycznej czyli wybrane problemy do rozwiązania. XXIII Konferencja z cyklu: Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej p.t. Dylematy polskiej polityki energetycznej. Zakopane 2009, Cz. 2, s. 63–76.
- [10] BEDNARZ J., 2009 – Węgiel gwarancją bezpieczeństwa politycznego Polski. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 12, z. 2/2, s. 13–28.
- [11] BARCHAŃSKI B., 2010 – A jednak węgiel to terazniejszość i przyszłość energetyki, *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 13, z. 2, s. 11–29.
- [12] ZAPART L., ŚCIAŻKO M., DRESZER K., 2009 – Estymacja kosztów wytwarzania produktów konwersji węgla. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 12, z. 2/2, s. 645–658.
- [13] KARCZ A., CHMIELNIAK T., ŚCIAŻKO M., STRUGAŁA A., 2009 – Porównanie emisji CO₂ związanej z wytwarzaniem wodoru na drodze zgazowania i pirolizy węgla. *Energy Policy Journal* t. 12, z. 2/2, s. 243–262.
- [14] BURMISTRZ P., CHMIELNIAK T., KARCZ A., ŚCIAŻKO M., 2010 – Analiza porównawcza produkcji wodoru i związanej z nią emisji CO₂ przy zgazowaniu węgla kamiennego w reaktorach Shell i Texaco, *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 13, z. 2, s. 63–76.

Andrzej STRUGAŁA, Krystyna CZAPLICKA-KOLARZ, Marek ŚCIAŻKO

New Technologies of Coal Gasification under development as part of the NCBiR Strategic Programme

Abstract

As part of the project ‘Development of Coal Gasification Technology for High-efficiency Fuels and Energy Production, the Scientific-Industrial Consortium ‘Coal Gasification’ is constructing two pilot plants. The first one is a pressurized CFB reactor for coal gasification with the use of CO₂. The

reactor will be equipped with the following process units: solid fuel preparation, tanks for compressed air and nitrogen, a steam generator, systems for syngas cooling, cleaning and conversion, a combustion chamber and a gas turbine. Based on the results obtained from that plant, the process design of a domestic demo plant will be prepared. It is predicted that the technology under development will be used in medium-power commercial plants, both in the chemical industry (hydrogen production) and in the energy industry (heat and power production in IGCC cogeneration systems).

The second pilot plant will be used for Underground Coal Gasification (UCG) by means of air enriched with oxygen. It will be located at the Wieczorek Coal Mine, and the gasification will take place in the seam no. 501, with the thickness of about 5 metres, situated at the depth of about 400 metres. The resulting gas, after cooling and cleaning, will be used to produce heat for the coal mine. Based on the results obtained during the ca. 3-months-long test, the process design of a domestic demo plant will be developed. It is predicted that in the future the technology will be used for supplying power plants with the power of about 50 MW, operating on the local power and heat markets. The suggested UCG plants are designed for utilizing disused hard coal seams, and, in the case of seams which are still used, for the sections which, for technical or financial reasons, cannot be mined.

KEY WORDS: coal, gasification, pilot plants, NCBiR project