

Aleksander SOBOLEWSKI*, Andrzej STRUGAŁA**

Proces wdrażania nowych technologii na przykładzie ciśnieniowego zgazowania węgla opracowanego w ramach Projektu Strategicznego NCBR

STRESZCZENIE. Wdrażanie nowych technologii odbywać się może w różny sposób. Najniższe koszty badań rozwojowych a zarazem najmniejsze ryzyko inwestycyjne gwarantuje stopniowy rozwój nowej technologii oparty na jej testowaniu w instalacjach wielkolaboratoryjnych, pilotowych, demonstracyjnych oraz ostatecznej weryfikacji w skali prototypowej instalacji przemysłowej. Taki model rozwoju nowych technologii preferowany jest w takich krajach jak Niemcy czy Japonia. Opierając się na informacjach literaturowych a także doświadczeniach własnych, autorzy zaprezentowali propozycję drogi rozwoju technologii ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze z cyrkulującym złożem fluidalnym przy wykorzystaniu do tego celu ditlenku węgla. Wyróżnili 9 specyficznych etapów tego rozwoju i odpowiadające im poziomy gotowości rozwijanej technologii. Podali też aktualny poziom gotowości technologii ciśnieniowego zgazowania węgla rozwijanej w ramach Strategicznego Programu NCBR oraz określili warunki dalszego jej rozwoju.

SŁOWA KLUCZOWE: węgiel, zgazowanie, nowe technologie, proces wdrażania

* Dr inż. – Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze.

** Dr hab. inż. – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw, osoba do korespondencji, e-mail: strugala@agh.edu.pl

Wprowadzenie

W maju 2010 r. Konsorcjum Naukowo-Przemysłowe „Zgazowanie węgla” rozpoczęło w ramach Programu Strategicznego NCBR realizację projektu pt.: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii” (Strugała i Czerski 2010; Strugała i in. 2011; Strugała i Czerski 2012). W skład tego Konsorcjum, którego liderem jest krakowska AGH wchodzi: Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu, Główny Instytut Górnictwa w Katowicach, Politechnika Śląska w Gliwicach, Katowicki Holding Węglowy SA, KGHM Polska Miedź SA, Grupa Azoty SA, Tauron Polska Energia SA, Tauron Wydobycie SA i Tauron Wytwarzanie SA. Do głównych zadań postawionych przed wykonawcami tego projektu zaliczyć należy:

- ✧ opracowanie i weryfikację w skali pilotowej technologii powierzchniowego ciśnieniowego zgazowania węgla (Chmielniak i in. 2012; Chmielniak i in. 2013; Sobolewski i in. 2013; Liszka i in. 2013),
- ✧ opracowanie i sprawdzenie w skali pilotowej technologii podziemnego zgazowania węgla (Drzewiecki i Krause 2011; Wiatowski i in. 2013),
- ✧ opracowanie i weryfikację w skali pilotowej procesów oczyszczania i konwersji gazu w powiązaniu z systemem usuwania ditlenku węgla (Babiński i Łabojko 2012; Kotyczka-Morańska i Tomaszewicz 2013, 2014; Labus i in. 2014; Trawczyński i Chomiak 2012; Chomiak i in. 2013; Chmielniak i in. 2014).

Realizacja wymienionych zadań winna umożliwić opracowanie optymalnych konfiguracji a także wytycznych procesowych i projektowych układów zgazowania węgla stanowiących podstawę do budowy krajowych instalacji demonstracyjnych.

Mając na uwadze dość duże zainteresowanie realizowanym projektem a także często stawiane pytanie, czy pomyślnie jego zakończenie wiązać się będzie z wdrożeniem opracowanych technologii w skali przemysłowej, autorzy zdecydowali poświęcić ten artykuł problematyce wdrażania nowych technologii z uwzględnieniem odniesienia do rozwijanej przez Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu technologii ciśnieniowego, naziemnego zgazowania węgla w reaktorze z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym przy wykorzystaniu CO₂ jako czynnika zgazowującego.

Analiza przykładów zrealizowanych już procesów wdrożenia nowych technologii z zakresu Czystych Technologii Węglowych, w tym także zgazowania węgla, wskazuje na dwa modele postępowania w takich przypadkach. Pierwszy z nich, stosowany m.in. przez takie kraje jak Niemcy czy Japonia, polega na stopniowym testowaniu i udoskonalaniu kolejnych instalacji doświadczalnych w coraz większej skali (tab. 1). Wykorzystywane w takim procesie instalacje doświadczalne można najogólniej podzielić na 3 grupy, tj.:

- ✧ instalacje wielkolaboratoryjne, które służą przede wszystkim do wstępnej weryfikacji w relatywnie małej skali pomysłu nowej technologii. Uzyskane wyniki stanowią też podstawę do podjęcia budowy instalacji pilotowej a także determinują jej rozwiązanie;
- ✧ instalacje pilotowe, które służą do praktycznego sprawdzenia koncepcji technologicznej (bilanse procesu, właściwości produktów, rozwiązania konstrukcyjne głównych aparatów,

TABELA 1. Charakterystyka instalacji doświadczalnych wykorzystywanych w procesie wdrażania nowych tzw. Czystych Technologii Węglowych (CTW)

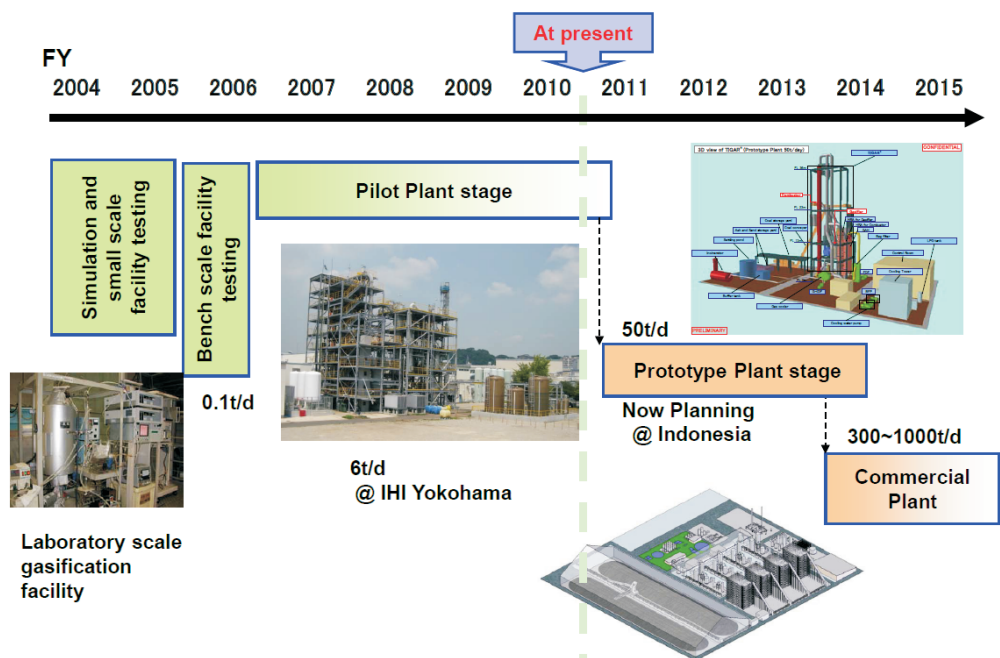
TABLE 1. Characteristics of experimental plants used in the process of implementing new technologies (CCT)

Typ instalacji	Skala [Mg/h]	Cel	Czas badań /testów [lata]	Finansowanie	Dokładność oceny efektywności ekonomicznej
Wielko-laboratoryjna	0,002–0,005	✧ wstępna weryfikacja elementów innowacyjnych zaproponowanej technologii,	1–2	budżet państwa –programy badawcze	niska – tylko teoretyczna
Pilot I	0,1–0,2	✧ sprawdzenie bilansów, ✧ weryfikacja jakości produktów,	3	budżet państwa –programy badawcze	średnia
Pilot II	2–4	✧ weryfikacja koncepcji apaturowych poszczególnych węzłów, zwłaszcza elementów innowacyjnych,	2–5	programy badawcze + środki z przemysłu	średnia
Demo I	20–40	✧ weryfikacja niezawodności funkcjonowania elementów innowacyjnych kluczowych obiektów technologicznych w skali docelowej,	3–5	przemysł + ew. wsparcie państwa	duża
Demo II	n x 40	✧ prezentacja eksploatacyjna pierwszej pełnoskalowej instalacji produkcyjnej.	1–2	przemysł	b. duża (w pełni wiarygodna)

skuteczność kontroli i sterowania procesem, oddziaływanie na środowisko). Praca tych instalacji ma charakter okresowy, a cykle badawcze są z reguły znacząco krótsze niż postojowe. Uzyskane wyniki pozwalają na wstępne oszacowanie efektywności rozwijanej technologii a także stanowią dane wyjściowe dla projektu instalacji demonstracyjnej;

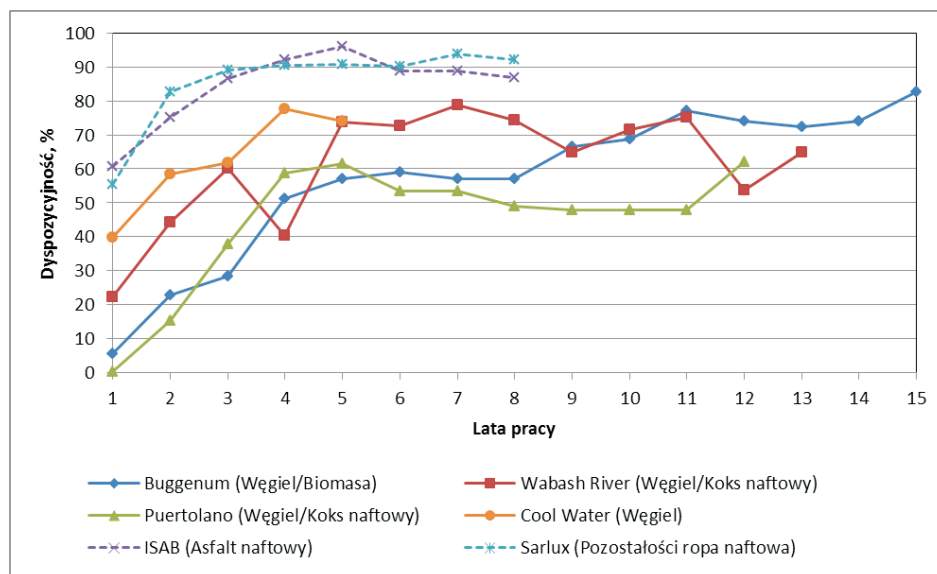
- ✧ instalacje demonstracyjne, których celem jest potwierdzenie gotowości rozwijanej technologii do komercjalizacji. Instalacje te pracują w warunkach rzeczywistych (lub zbliżonych do warunków docelowych), a ich praca ma charakter ciągły. Jej wyniki stanowią gwarancję technologiczną dla przyszłych inwestycji komercyjnych.

Fazy rozwoju technologii zgazowania węgla opartego na takim modelu przedstawiono na rysunku 1. Z kolei rysunek 2 ilustruje proces osiągania pełnej dyspozycyjności instalacji demonstracyjnej II na przykładzie wybranych nowych technologii zgazowania.



Rys. 1. Fazy rozwoju dla przykładowej nowej technologii zgazowania węgla (Progress of... 2013)

Fig. 1. Development stages for a sample new coal gasification technology



Rys. 2. Proces dochodzenia do pełnej dyspozycyjności na przykładzie wybranych instalacji zgazowania (Tennant 2012)

Fig. 2. The process of achieving full availability as exemplified by selected gasification plants

Taki sposób postępowania sprzyja ograniczeniu ryzyka inwestycyjnego i w praktyce oznacza też zmniejszenie kosztów prac badawczych. Wymaga jednak odpowiedniego czasu dla wdrożenia nowej technologii.

Inny model wdrażania nowych technologii przyjęto natomiast w Chinach, gdzie imperatywem postępowania jest minimalizacja czasu wdrażania nowych technologii bez względu na związane z tym koszty.

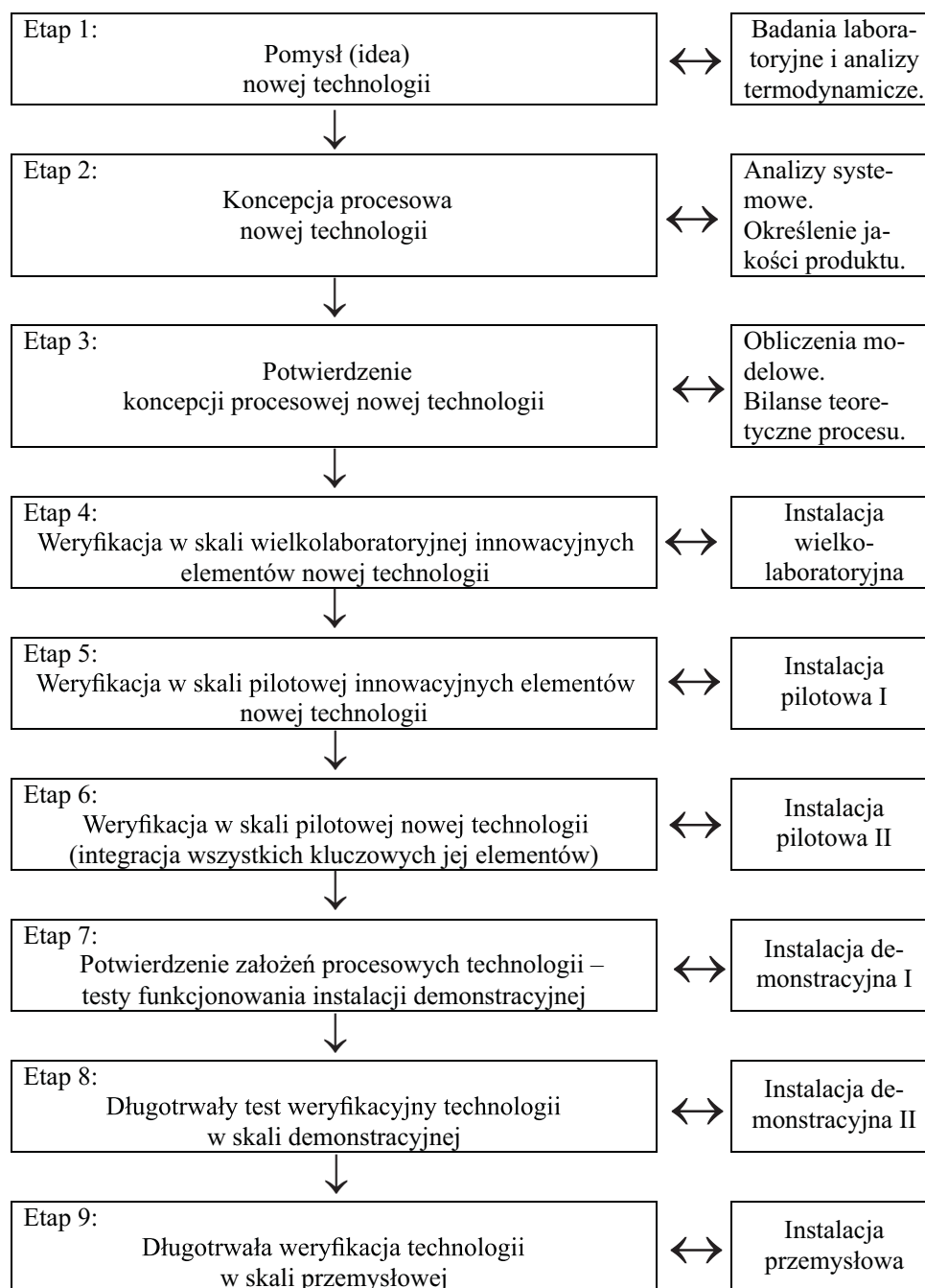
Ogólne informacje o procesie wdrażania nowych technologii

Przyjmując pierwszy z przedstawionych modeli, wdrażanie nowej technologii jest procesem etapowym przy czym kolejnym etapom odpowiada coraz wyższy poziom jej gotowości. Przyjmując jako punkt wyjścia Rozporządzenie MNiSW z 4 stycznia 2011 r. (Dz.U. nr 18, poz.91) w sprawie sposobu zarządzania przez NCBR realizacją badań naukowych lub prac rozwojowych na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa, etapowość przebiegu wdrażania nowej technologii przedstawić można w sposób pokazany na rysunku 3. Odpowiadające tym etapom poziomy gotowości do wdrożenia rozwijanej technologii pokazano na rysunku 4. Jak już wspomniano wcześniej, taka realizacja procesu wdrażania nowej technologii choć z pewnością jest czasochłonna, to jednak w dużym stopniu minimalizuje ryzyko ewentualnego niepowodzenia, co w przypadku technologii wymagających znacznych nakładów inwestycyjnych posiada istotne znaczenie.

Poziomy gotowości na poszczególnych etapach rozwoju technologii ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze CFB z wykorzystaniem do tego celu CO₂

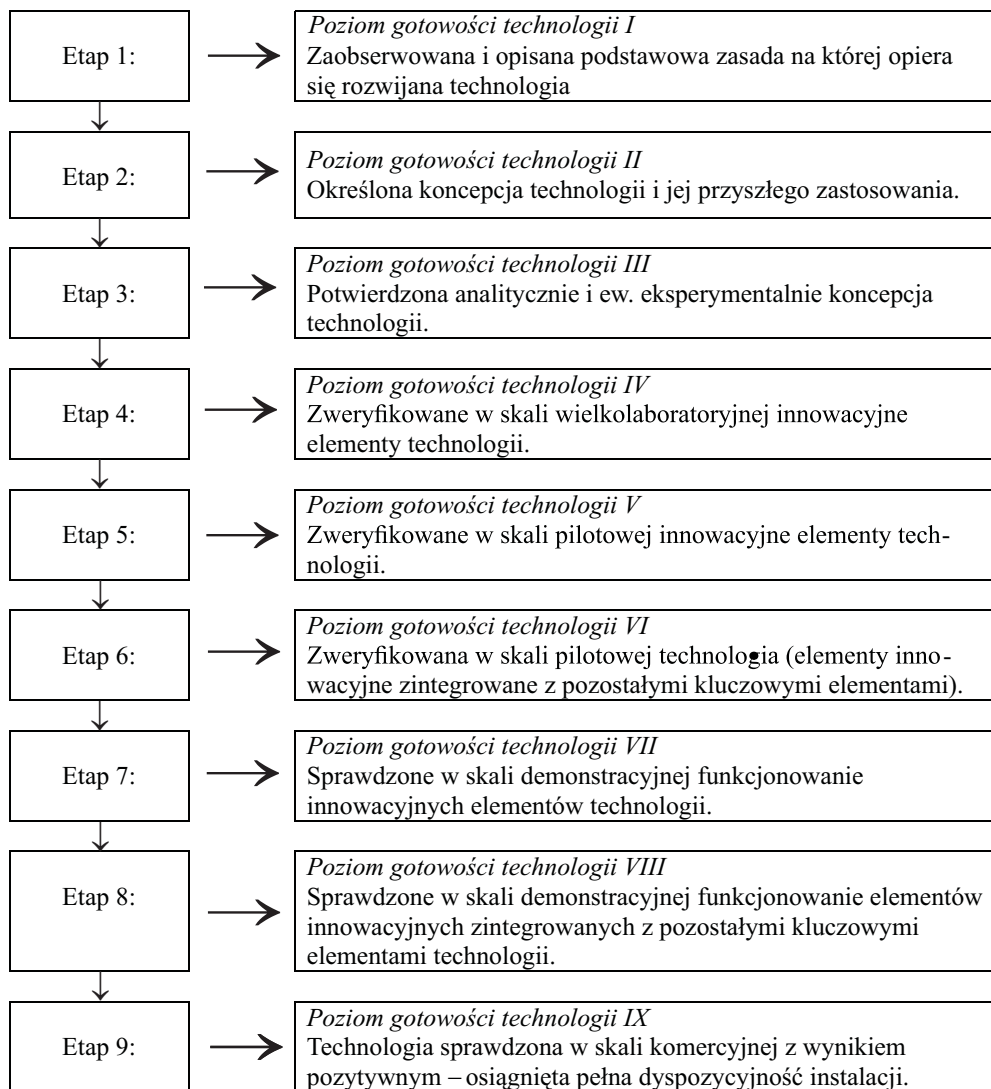
Etap 1: Pomysł nowej technologii

Na tym etapie została zaobserwowana i opisana podstawowa zasada, na której opiera się rozwijana technologia, tj. reakcja zgazowania węgla za pomocą mieszaniny zawierającej ditlenek węgla. Jest to najniższy poziom gotowości technologii oznaczający w praktyce wnioskowanie oparte na wynikach badań naukowych nad podstawami tego procesu zgazowania (tj. obliczeniach termodynamicznych, laboratoryjnych badaniach kinetyki procesu i uzysku produktów, ocenie wpływu parametrów termodynamicznych na przebieg procesu, obliczeniach modelowych procesu itp.). W wyniku tych działań narodził się pomysł procesu zgazowania węgla przy wykorzystaniu ditlenku węgla jako składnika mieszaniny zgazowującej, a także zaproponowano podstawowe parametry tego procesu.



Rys. 3. Etapy wdrażania nowej technologii

Fig. 3. Stages of implementation of a new technology



Rys. 4. Poziomy gotowości technologii na poszczególnych etapach jej wdrażania

Fig. 4. Readiness levels of a technology at particular stages of its implementation

Etap 2: Koncepcja procesowa nowej technologii

Na tym etapie określona została koncepcja zaproponowanej technologii, sformułowano założenia co do koncepcji głównych rozwiązań technologicznych, określono jakość podstawowych produktów a także rozpoczęto proces poszukiwania sposobu aplikacji zaproponowanej technologii. M.in. przyjęto, iż z uwagi na specyfikę reakcji zgazowania węgla za pomocą CO₂ proces zgazowania będzie realizowany w reaktorze ciśnieniowym CFB, a produkowany gaz przeznaczony będzie zarówno dla zastosowań chemicznych, jak i energetycznych; powstający

w reaktorze fluidalnym karbonizat z uwagi na sprawność całego procesu musi być wykorzystany energetycznie. Na tym etapie ustalono także, które węzły i operacje technologiczne będą posiadać charakter innowacyjny, a zatem muszą być przedmiotem badań w skali pilotowej. W przypadku pozostałych węzłów i operacji przyjęto, że będą to rozwiązania posiadające referencje przemysłowe.

Należy zaznaczyć, że na tym etapie oparto się głównie na przewidywanych danych, gdyż nie istniały jeszcze dowody czy wyniki szczegółowych analiz pozwalające na potwierdzenie słuszności przyjętych założeń.

Etap 3: Potwierdzenie analityczne i eksperymentalne koncepcji procesowej nowej technologii

Na tym etapie wszystkie innowacyjne elementy zaproponowanej technologii poddane zostały weryfikacji analitycznej (obliczenia symulacyjne) lub laboratoryjnej. Jej celem było potwierdzenie słuszności przyjętych na podstawie przewidywań założeń dotyczących zastosowanych elementów innowacyjnych. M.in. przeprowadzono modelowe obliczenia symulacyjne poszczególnych innowacyjnych węzłów i operacji technologicznych (w tym gazyfikatora fluidalnego, reaktora spalania karbonizatu a także węzłów chłodzenia i oczyszczania gazu procesowego), przeprowadzono oceny laboratoryjne właściwości nowych katalizatorów i substancji pochłaniających zanieczyszczenia z gazu procesowego.

Ponadto na tym etapie sporządzono teoretyczne bilanse procesu oraz zgromadzono dane niezbędne dla przewidzianej w kolejnym etapie budowy pilotowej instalacji.

Etap 4: Weryfikacja w skali wielkolaboratoryjnej innowacyjnych elementów technologii

Na tym etapie w skali wielkolaboratoryjnej przeprowadzono weryfikację wszystkich innowacyjnych elementów zaproponowanej technologii, a także opracowano zasady ich integracji z pozostałymi komponentami rozwijanej technologii. M.in. przetestowano przebieg procesu zgazowania węgla mieszaniną zawierającą ditlenek węgla w wielkolaboratoryjnej instalacji zgazowania węgla pod ciśnieniem atmosferycznym, przeprowadzono wstępne testy spalania powstającego w tym procesie karbonizatu i dokonano wstępnej oceny powstających odpadów stałych (stałych ubocznych produktów zgazowania). Przetestowano także katalizatory i substancje pochłaniające zanieczyszczenia w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem gazów modelowych. Przeprowadzono także testy wielkolaboratoryjnej instalacji przygotowania węgla kamiennego i brunatnego do zgazowania (redukcja zawartości rtęci w węglu przeznaczonym do zgazowania z wykorzystaniem procesu niskotemperaturowej pirolizy).

Etap 5: Weryfikacja w skali pilotowej innowacyjnych elementów technologii

Na tym etapie poddano weryfikacji w instalacji pilotowej I wszystkie innowacyjne elementy rozwijanej technologii. M.in. przeprowadzono próby testowe ciśnieniowego zgazowania węgla kamiennego i brunatnego w instalacji reaktora CFB w skali 100 kg/h wyposażonej we wszystkie niezbędne aparaty i urządzenia, a także infrastrukturę do testowania rozwijanych procesów konwersji i oczyszczania gazu procesowego w skali półtechnicznej.

Ponadto wykonano i zweryfikowano bilanse badanych procesów oraz określono szczegółowe charakterystyki wszystkich produktów. Przeanalizowano także wszystkie oddziały-

wania procesu technologicznego na środowisko oraz zidentyfikowano potencjalne zagrożenia w tym zakresie. Ponadto opracowano i zweryfikowano procedury kontrolno-pomiarowe sterowania procesem, a także obróbki i archiwizowania danych pomiarowych.

Etap 6: Weryfikacja technologii w skali pilotowej z integracją wszystkich jej kluczowych elementów

Na tym etapie weryfikacji w skali pilotowej zostaje poddana cała technologia, a więc wszystkie innowacyjne elementy zintegrowane w całość z pozostałymi elementami niezbędnymi dla funkcjonowania technologii z wykorzystaniem instalacji pilotowej II.

Z uwagi na brak odpowiednich środków, ten etap rozwoju technologii nie został przewidziany w realizowanym projekcie. Z konieczności przyjęto, że rozwiązania w zakresie przygotowania i utylizacji wyprodukowanego gazu są na tyle znane, że na kolejnym etapie (instalacja demonstracyjna) ich zintegrowanie z innowacyjnymi elementami rozwijanej technologii zgazowania węgla choć z pewnością bardzo trudne, nie będzie jednak niemożliwe. Założenia procesowe dla budowy tej instalacji a także dane niezbędne dla oceny jej efektywności ekonomicznej zostały więc opracowane na podstawie wyników uzyskanych w instalacji pilotowej I.

Etap 7: Potwierdzenie założeń procesowych technologii, testy funkcjonowania i osiągnięcie pełnej dyspozycyjności instalacji demonstracyjnej

Celem tego etapu jest ostateczne potwierdzenie, że rozwijana technologia zgazowania jest możliwa (gotowa) do zastosowania w warunkach zbliżonych do przemysłowych. Wymaga to budowy, uruchomienia i przeprowadzenia testów eksploatacyjnych instalacji demonstracyjnej I obejmującej wszystkie elementy innowacyjne technologii.

Należy zaznaczyć, że w ramach realizowanego Projektu Strategicznego przewidziano jedynie opracowanie projektu technologicznego stanowiącego podstawę do budowy takiej instalacji demonstracyjnej do zgazowania węgla w reaktorze CFB z wykorzystaniem CO₂ jako czynnika zgazowującego. Obejmuje on opracowanie projektu procesowego oraz wstępne studium wykonalności dla instalacji demonstracyjnej I. Dalsze działania, tj. przygotowanie dokumentacji technicznej, budowa i uruchomienie instalacji demonstracyjnej jak też jej wstępne testy, z uwagi na wielkość wymaganych środków, muszą być sfinansowane przez partnerów przemysłowych w ramach odrębnego projektu przy ew. pomocy państwa i/lub wykorzystaniu unijnych mechanizmów wsparcia przewidzianych dla rozwoju technologii innowacyjnych.

Etap 8: Długotrwały test weryfikacyjny technologii w skali demonstracyjnej

Głównym celem tego etapu obejmującego długotrwałe testowanie technologii w skali demonstracyjnej jest potwierdzenie, że założenia projektowe zostały spełnione, zastosowane rozwiązania aparaturowe i procesowe są prawidłowe, a więc zaproponowana technologia może być zastosowana w skali przemysłowej. W wyniku tego testu ustalona zostaje też ostateczna postać technologii. Z uwagi na specyfikę tego etapu (kluczowy charakter jego wyników, długotrwałość testu itp.) badania winny być prowadzone przy wykorzystaniu instalacji demonstracyjnej II obejmującej wszystkie innowacyjne elementy rozwijanej technologii zintegrowane z pozostałymi jej kluczowymi elementami. Z uwagi na wielkość wymaganych nakładów ten

etap wymaga sfinansowania przez partnerów przemysłowych w ramach odrębnego projektu, przy ew. wykorzystaniu unijnych mechanizmów wsparcia przewidzianych dla rozwoju technologii innowacyjnych.

Etap 9: Długotrwała weryfikacja technologii w skali przemysłowej

W praktyce jest to zakończony z wynikiem pozytywnym długotrwały test pracy instalacji przemysłowej opartej na wynikach wszystkich wcześniejszych etapów. W trakcie tego testu ostatecznie ustala się optymalne parametry technologiczne procesu realizowanego w skali przemysłowej a także potwierdza prawidłowe funkcjonowanie wszystkich węzłów procesowych i urządzeń technologicznych. Test ten pozwala więc na pełne osiągnięcie założonych parametrów produkcyjnych w wyniku czego można zakończyć cały proces wdrażania nowej technologii. W tym momencie możemy uznać, iż powstała pierwsza instalacja komercyjna wykorzystująca zaproponowaną technologię.

Z uwagi na charakter realizowanych na tym etapie działań, muszą one być realizowane przez partnerów przemysłowych (energetyka, branża chemiczna, ew. górnictwo) przy wsparciu twórców – autorów nowej technologii.

Podsumowanie

W zakresie Projektu Strategicznego NCBR w ramach Zadania Badawczego nr 3 pt. „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej” powstaje m.in. nowa technologia ciśnieniowego zgazowania węgla z wykorzystaniem ditlenku węgla jako czynnika zgazowującego. Idea tej technologii, wykorzystującej reaktor fluidalny zgazowania z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym oraz reaktor oksypalania powstającego w procesie karbonizatu, powstała w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze. Jeszcze przed rozpoczęciem realizacji wspomnianego projektu wykonano podstawowe obliczenia termodynamiczne oraz wstępne badania kinetyki procesów stanowiących podstawę rozwijanej technologii. Zgromadzono też bazową wiedzę o reaktorach CFB i zgazowaniu powietrznym przy ciśnieniu atmosferycznym, a przede wszystkim przygotowano całą infrastrukturę niezbędną do przeprowadzenia badań zgazowania węgla w skali pilotowej. W ramach prac finansowanych przez NCBR m.in.:

- ✧ wykonano szczegółowe badania kinetyczne procesu,
- ✧ zweryfikowano proponowany proces w skali wielkolaboratoryjnej,
- ✧ dokonano pełnej charakterystyki surowców i produktów zgazowania,
- ✧ przeprowadzono testy weryfikacyjne zgazowania węgla kamiennego i brunatnego z wykorzystaniem CO₂ jako czynnika zgazowującego w reaktorach CFB: atmosferycznym i ciśnieniowym,
- ✧ opracowano metodykę wytwarzania oraz przeprowadzono testy nowych materiałów stosowanych jako katalizatory rozkładu i substancje pochłaniające zanieczyszczenia z gazu procesowego,

- ✧ sporządzono bilanse masowe i ciepłne,
- ✧ opracowano technologię przygotowania węgla kamiennego i brunatnego do procesu zgazowania w reaktorze CFB w tym także proces ograniczenia zawartości rtęci w węglu przeznaczonym do zgazowania,
- ✧ aktualnie opracowywane są modele zarówno samego reaktora zgazowania, jak i głównych węzłów technologicznych rozwijanego procesu, jak również opartych na tych procesach układów technologicznych dla zastosowań chemicznych i energetycznych.

Dzięki wynikom tych działań powstają projekty procesowe układów stanowiących podstawę do budowy krajowych instalacji demonstracyjnych zarówno w wersji dla zastosowań chemicznych (produkcja metanolu), jak i energetycznych (elektrociepłownia zintegrowana z procesem zgazowania węgla w reaktorze CFB z wykorzystaniem do tego celu ditlenku węgla). Proponowane technologie zostały zweryfikowane na poziomie instalacji pilotowej I. Ponadto na podstawie realizowanego wstępnego studium wykonalności instalacji demonstracyjnych określona została efektywność ekonomiczna (w tym także niezbędne koszty inwestycyjne) proponowanych wariantów technologii zgazowania węgla.

Kolejne etapy rozwoju tej technologii (instalacje demonstracyjne I i II) oraz testowanie instalacji przemysłowej) wymagają już finansowania prac rozwojowych przez inwestorów przemysłowych. Wyniki realizowanego projektu pomogą w przygotowaniu oferty umożliwiającej inwestorom podjęcie takich działań, przy zminimalizowanym ryzyku braku końcowego sukcesu.



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] BABIŃSKI, P. i ŁABOJKO, G. 2012. Badania konwersji modelowych związków smołowych w gazie ze zgazowania węgla. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 15, z. 4, s. 299–312.
- [2] CHMIELNIAK i in. 2012 – CHMIELNIAK, T., ŚCIAŻKO, M., SOBOLEWSKI, A., TOMASZEWICZ, G. i POPOWICZ, J. 2012. Zgazowanie węgla przy zastosowaniu CO₂ sposobem na poprawę wskaźników emisyjnych i efektywności procesu. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 15, z. 4, s. 125–137.
- [3] CHMIELNIAK i in. 2013 – CHMIELNIAK, T., ŚCIAŻKO, M. i SOBOLEWSKI, A. 2013. Fluidalne zgazowanie węgla w atmosferze CO₂. *Karbo* t. 63, nr 1, s. 6–15.
- [4] CHMIELNIAK i in. 2014 – CHMIELNIAK, T., BIGDA, J., CZARDYBON, A., POPOWICZ, J. i TOMASZEWICZ, G. 2014. Technologie oczyszczania gazu procesowego ze zgazowania węgla. *Przemysł Chemiczny* t. 93, nr 2, s. 232–242.
- [5] CHOMIAK i in. 2013 – CHOMIAK, M., HULL, S. i TRAWCZYŃSKI, J. 2013. Wysokotemperaturowe odsiarczanie gazu ze zgazowania węgla przy użyciu sorbentów na bazie tlenków Fe-Zn i Zn-Ti. *Przemysł Chemiczny* t. 92, nr 13, s. 1000–1004.

- [6] DRZEWIECKI, J. i KRAUSE, E. 2011. Podstawowe założenia budowy generatora PZW w obszarze górnictwym KHW S.A. KWK „Wieczorek”. *Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko*, kwartalnik nr 4, s. 86–97.
- [7] KOTYCZKA-MORAŃSKA M. i TOMASZEWICZ, G. 2013. Application of polish calcium sorbents in carbonate looping. *Physicochemical Problems of Mineral Processing* vol. 49, no. 1, s. 111–120.
- [8] KOTYCZKA-MORAŃSKA, M. i TOMASZEWICZ G. 2014. Application of modified calcium sorbents in carbonate looping. *Physicochemical Problems of Mineral Processing* vol. 50, no. 1, s. 215–222.
- [9] LABUS i in. 2014 – LABUS, K., GRYGLEWICZ, S. i MACHNIKOWSKI, J. 2014. Granular KOH-activated carbons from coal-based cokes and their CO₂ adsorption capacity. *Fuel* vol.118, s. 9–15.
- [10] LISZKA i in. 2013 – LISZKA, M., MALIK, T., BUDNIK, M. i ZIĘBIK, A. 2013. Comparison of IGCC and CFB cogeneration plants equipped with CO₂ removal. *Energy* vol. 58, s. 86–96.
- [11] Progress of the Development of Dual Fluidized Bed Gasifier For Low Rank Coal and Biomass, Copyright©2013 IHI Corporation (Japan).
- [12] SOBOLEWSKI i in. 2013 – SOBOLEWSKI, A., CZAPLICKI A., TOMASZEWICZ, G., SŁOWIK, K. i JANUSZ, M. 2013. Zgazowanie węgla w reaktorze z cyrkulującym złożem fluidalnym przy zastosowaniu CO₂ jako czynnika zgazowującego. *Karbo* t. 63, nr 1, s. 16–27.
- [13] STRUGAŁA, A. i CZERSKI, G. 2010. Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysoko-efektywnej produkcji paliw i energii. *Karbo* t. 60, nr 4, s. 165–166.
- [14] STRUGAŁA i in. 2011 – STRUGAŁA, A., CZAPLICKA-KOLARZ, K. i ŚCIAŻKO, M. 2011. Projekty nowych technologii zgazowania węgla powstające w ramach Programu Strategicznego NCBiR. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 14, z. 2, s. 375–390.
- [15] STRUGAŁA, A. i CZERSKI, G. 2012. Badania nad technologiami zgazowania węgla w Polsce. *Przemysł Chemiczny* t. 91, nr 11, s. 2181–2185.
- [16] TENNANT, J.B. 2012. Gasification Systems Overview v3.0 July, 2012; NETL – U.S. Department of Energy.
- [17] TRAWCZYŃSKI, J. i CHOMIAK M., 2012: Regenerowalne sorbenty do odsiarczania gorącego gazu ze zgazowania węgla. *Przemysł Chemiczny* t. 91, nr 10, s. 2056–2060;
- [18] WIATOWSKI i in. 2013 – WIATOWSKI, M., KAPUSTA, K. i STAŃCZYK, K. 2013. Wpływ konfiguracji kanału ogniowego na skład i wydajność produktów podziemnego zgazowania węgla. *Przegląd Górniczy* nr 2, s. 80–90.

Aleksander SOBOLEWSKI, Andrzej STRUGAŁA

Process of implementing new technologies as exemplified by high pressure coal gasification developed within the framework of the NCBR Strategic Programme

Abstract

Implementation of new technologies can be conducted in different ways. The lowest cost of R&D and, at the same time, the lowest investment risk are guaranteed by gradual (step-by-step) development of a new technology based on its testing on a bench scale, pilot scale, demo scale, and on the final verification at a prototype commercial plant. Such a development model of new technologies is preferred in countries like Germany or Japan. On the basis of information available in existing documentation, as well as original analysis, this article presents a recommended path of development for the technology of high pressure coal gasification in a CFB reactor with the use of CO₂. The analysis distinguishes nine specific stages of that development and the corresponding readiness levels of the developed technology. Also presented is the current readiness level of the technology of high pressure coal gasification developed within the framework of the NCBR Strategic Programme, and the conditions for its further development.

KEY WORDS: coal, gasification, new technologies, implementation process

