

Tomasz Chmielniak*, Józef Popowicz*, Włodzimierz Sarnecki**

KONCEPCJA UKŁADU PRODUKCJI METANOLU ZINTEGROWANEGO ZE ZGAZOWANIEM WĘGLA BRUNATNEGO***

1. Wprowadzenie

Spośród metod termo-chemicznej konwersji węgla decydujące znaczenie w perspektywie średnio i długoterminowej posiadają technologie zgazowania. Wynika to głównie z konieczności stałego wzrostu sprawności produkcji energii, obniżania uciążliwości ekologicznej procesów energetycznych, w tym radykalnego obniżenia emisji CO₂, oraz powrotu do szerokiego wykorzystania węgla, jako surowca dla przetwórstwa chemicznego. Głównymi kierunkami zastosowania zgazowania będą układy produkujące czystą energię oraz produkty chemiczne głównie paliwa płynne, metanol i wodór.

Duże zainteresowanie metanolem, a w konsekwencji obserwowany w okresie ostatnich lat światowy wzrost jego produkcji, ma bezpośredni związek z szerokimi potencjalnymi możliwościami zastosowania go jako surowca dla przemysłu chemicznego i źródła energii. Najważniejszym kierunkiem zastosowania metanolu była dotychczas produkcja formaldehydu, kwasu i bezwodnika octowego, metyloaminy, chlorku metylu oraz rozpuszczalników. Metanol może być również stosowany bezpośrednio jako paliwo silnikowe, a także dodawany do paliw silnikowych pochodzenia naftowego dla poprawy ich parametrów eksploatacyjnych (*eter metylo-tertbutylowy*, MTBE). W skali przemysłowej realizowane są procesy bezpośredniego wytwarzania paliw silnikowych z metanolu (MTG — *methanol to gasoline*, oraz MOGD — *methanol to gasoline and diesel*). Opracowywane są nowe technologie wytwarzania z metanolu etylenu i propylenu (MTO — *methanol to olefins*). Poza tym metanol staje się również wiodącym paliwem stosowanym w ciągle rozwijających się ogniwach paliwowych.

* Centrum Badań Akredytowanych IChPW, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze

** PGE KWB „Bełchatów” SA, Rogowicz

*** Praca wykonana została na zlecenie i przy współpracy z PGE KWB „Bełchatów” SA

Do roku 2002 praktycznie cała światowa produkcja metanolu (90%) oparta była na gazie syntezowym uzyskiwanym z gazu ziemnego. Większość nowo uruchamianych instalacji wykorzystuje jednak inne surowce, przede wszystkim węgiel. W Polsce w okresie ostatniego dwudziestolecia zlikwidowano wszystkie wytwórnie metanolu, a krajowe zapotrzebowanie na ten surowiec pokrywane jest importem głównie z Niemiec i Rosji. Przewiduje się, że krajowy popyt na metanol (oszacowany na 380 tys. ton w roku 2007) podlegać będzie stałemu wzrostowi i wyniesie w roku 2015 ok. 520 tys. ton.

2. Zgazowanie — stan rozwoju technologicznego

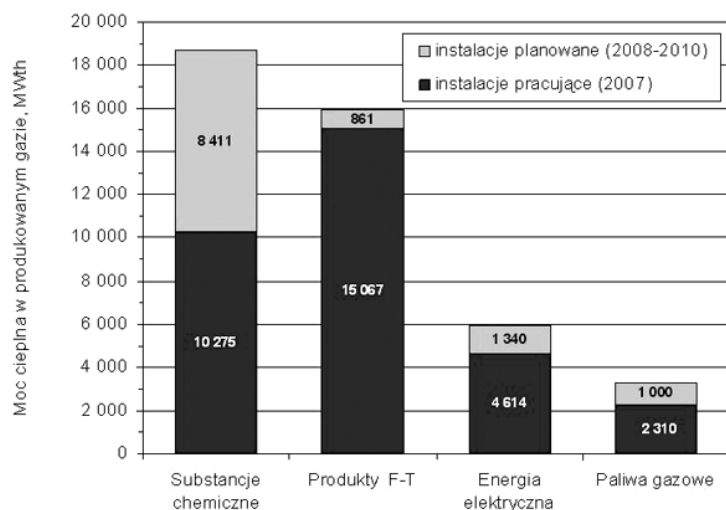
Przegląd światowego stanu rozwoju technologii zgazowania przeprowadzony w roku 2007 przez U.S. Department Energy i National Energy Technology Laboratory [1, 2] pokazuje, że na świecie działa 144 instalacji zgazowania wyposażonych w 427 reaktorów o łącznej mocy 56 238 MWth (moc cieplna w produkowanym gazie). W okresie 1980–2007 zanotowano prawie trzykrotny przyrost światowej produkcji gazu pozyskiwanego na tej drodze (z około 20 do 56 GWth). W latach 2004–2007 tj. od poprzedniego przeglądu DOE/NETL powstało 27 nowych instalacji zgazowania (11 237 MWth; wzrost o 25%). Dotyczy to głównie układów zgazowania węgla wytwarzających gaz na potrzeby syntezy chemicznej i zlokalizowanych w Chinach. Kolejny 41% przyrost ma nastąpić przed rokiem 2010 [1–3]. Węgiel wykorzystywany jest w obecnie pracujących instalacjach zgazowania mających 55% udział w światowej produkcji gazu syntezowego. Kolejne miejsca zajmują uboczne produkty przemysłu petrochemicznego (33%) a pozostałe 12% produkowane jest z gazu ziemnego, koksu naftowego i biomasy. W przypadku instalacji planowanych do uruchomienia (do roku 2010) rola węgla jako podstawowego paliwa zostanie utrzymana. Będzie on wykorzystywany w 12 z 15 budowanych zakładów [1–3].

Gaz wytwarzany w układach zgazowania węgla wykorzystywany jest głównie w syntezie Fischera-Tropscha (47% światowej produkcji gazu). Związane jest to przede wszystkim z pracującymi w Afryce Południowej zakładami produkcji paliw płynnych, które stosują technologie zgazowania w złożu stałym (Sasol Lurgi). Pozostałe 53% gazu wytwarzanego z węgla wykorzystywane jest do produkcji różnych substancji chemicznych (m.in. amoniak, wodór, metanol oraz inne związki tlenowe; 32%), energii elektrycznej (14%) oraz paliw gazowych (7%). W przypadku instalacji planowanych do uruchomienia w latach 2007–2010 generowany gaz służyć będzie głównie do produkcji substancji chemicznych (72%; rys. 1) [2–3].

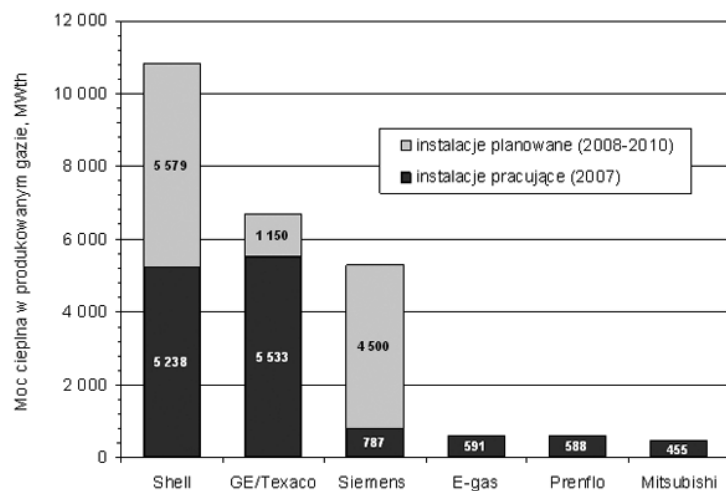
Najbardziej intensywnie rozwijanymi technologiami zgazowania węgla są procesy wykorzystujące reaktory dyspersyjne. Znajduje to potwierdzenie w zrealizowanych w latach 2004–2007 i planowanych do roku 2010 wdrożeniach, z których praktyczne wszystkie dotyczą reaktorów tej konstrukcji.

Rozpatrując wyłącznie technologie zgazowania węgla w reaktorach dyspersyjnych (technologie o największym potencjale rozwojowym) dominujący udział w produkcji gazu

mają technologie GE Energy/Texaco (42%) oraz Shell (40%). Do pozostałych należą: Siemens Fuel Gasification Technology (SFG, 6%), ConocoPhillips/E-Gas (4,5%), Elcogas SA/Prenflo (4,5%), Mitsubishi (3%). Wśród przewidzianych do uruchomienia instalacji największy udział posiada technologia Shell (50%) oraz Siemens/ SFG (40%) (rys. 2) [2–3].



Rys. 1. Sumaryczna wydajność reaktorów zgazowania węgla w zależności od produktów wytwarzanych z gazu procesowego (stan obecny i prognozowany do roku 2010) [2–3]

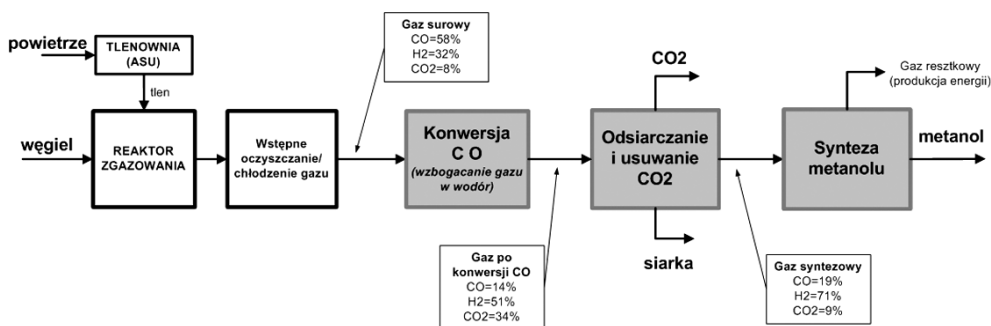


Rys. 2. Struktura licencjodawców technologii zgazowania węgla w reaktorach dyspersyjnych (stan obecny i prognozowany do roku 2010) [2–3]

3. Konfiguracja układu

Przedmiotem analizy była instalacja produkcji metanolu, zintegrowana z zgazowaniem węgla brunatnego (tab. 1). Wydajność instalacji przyjęto na poziomie 2 mln ton rocznie węgla surowego. Założona skala przerobu węgla z jednej strony pozwala na realizację procesu zgazowania w jednym układzie reakcyjnym, z drugiej zapewnia ekonomiczną wielkość produkcji metanolu oraz pokrycie krajowego popytu na ten surowiec.

Dla realizacji procesu syntezy metanolu konieczne jest doprowadzenie gazu o składzie spełniającym warunek: $(H_2 - CO_2)/(CO + CO_2) \sim 2$. Biorąc pod uwagę skład gazu surowego wytwarzanego w reaktorze zgazowania, dla uzyskania wymaganego składu gazu syntezowego niezbędne jest przeprowadzenie procesów jego konwersji (konwersja CO do CO_2 i H_2 : zwiększenie udziału H_2 przy jednoczesnej redukcji CO) oraz w następnym etapie separacji nadmiarowego CO_2 (rys. 3).



Rys. 3. Schemat realizacji procesu obróbki gazu dla uzyskania składu wymaganego przez proces syntezy metanolu

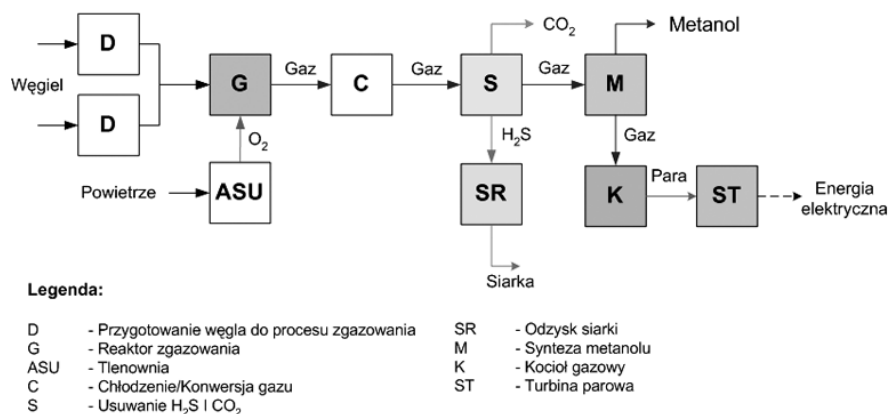
Uwzględniając powyższe, oprócz podstawowych węzłów technologicznych (wspólnych dla wszystkich układów technologicznych wykorzystujących procesy zgazowania paliw), do których należą: separacja powietrza, zgazowanie (wraz z węzłem przygotowania paliwa oraz chłodzeniem i wstępnym oczyszczaniem gazu procesowego) i odsiarczanie, instalacja wytwarzania metanolu z węgla musi obejmować węzły: konwersji CO, usuwania CO_2 oraz syntezy metanolu. Ponadto dla utylizacji powstającego w procesie gazu resztkowego (palnego) celem jest wykorzystanie go do generacji energii elektrycznej (w układzie kotła gazowego i turbiny parowej) na potrzeby wewnętrzne instalacji. Zestawienie danych dotyczących konfiguracji technologicznej układu przyjętego do dalszej analizy przedstawiono w tabeli 1.

Głównymi kryteriami wyboru poszczególnych węzłów technologicznych były: przydatność technologiczna z uwagi na charakterystykę paliwa, dostępność technologii w skali komercyjnej oraz jej efektywność procesowa i ekonomiczna. Ogólny schemat technologiczny układu przedstawiono na rysunku 4.

TABELA 1

Zestawienie danych na temat konfiguracji układu technologicznego produkcji metanolu z wykorzystaniem technologii zgazowania węgla

Wzłecz technologiczny	Jednostka	Specyfikacja/parametr
Produkcja tlenu	–	Separacja kriogeniczna
Układ zgazowania		
Reaktor	–	dyspersyjny z suchym doprowadzeniem paliwa
Ciśnienie zgazowania, MPa	MPa	4,2
Stopień konwersji węgla	%	99,5
Utleniacz	–	tlen (95% vol.)
Paliwo	–	węgiel brunatny
Wilgoć w paliwie, wlot do reaktora	%	12
Układ konwersji i oczyszczania gazu		
Konwersja CO	–	układ 2 stopniowy (stopień konwersji CO 97%)
Odsiarczanie	–	selexol I stopień (99,7%)
Odzysk siarki	–	claus/Scot; Siarka elementarna
Odpylanie	–	cyklony/filtr ceramiczny/Skruber
Separacja CO ₂	–	selexol II stopień
Układ syntezy metanolu		
Technologia	–	reaktor dwufazowy
Układ utylizacji gazu resztkowego		
Technologia	–	kocioł gazowy/turbina parowa



Rys. 4. Schemat technologiczny układu produkcji metanolu z wykorzystaniem technologii zgazowania węgla

4. Obliczenia procesowe

Do obliczeń przyjęto węgiel brunatny o właściwościach zestawionych w tabeli 2. Założono, że dyspozycyjność układu wynosi 85% co stanowi 7 446 godzin pracy instalacji w ciągu roku. Podstawowe warunki brzegowe działania układu zgazowania i poszczególnych węzłów technologicznych określono na podstawie danych literaturowych przyjmując technologię Shell jako najbardziej reprezentatywną na rynku z pośród reaktorów zgazowania z suchym dozowaniem paliwa [1–2]. Symulację procesu przeprowadzono dla stanu ustalonego przy wykorzystaniu programu ChemCAD v.6.1.2.

TABELA 2
Charakterystyka węgla brunatnego

Nazwa oznaczenia	Jednostka	Węgiel	
		surowy	do reaktora
Węgiel	%	24,3	45,0
Wodór	%	2	3,7
Azot	%	0,3	0,6
Siarka całkowita	%	1,5	2,8
Tlen	%	8,9	16,5
Wilgoć	%	52,5	12,0
Popiół	%	10,5	19,5
Wartość opałowa	kJ/kg	8 150	17 240
Ciepło spalania	kJ/kg	9 910	18 375

Przy zużyciu 268,6 t/h (2 mln t/rok) węgla surowego instalacja wytwarza 68 t/h metanolu (507 tys. t/rok). Ponadto w układzie wytwarzana jest również siarka (3,7 t/h) oraz dwutlenek węgla (124,4 t/h). Gaz resztkowy z instalacji syntezy metanolu oraz para generowana w instalacji wykorzystywane są do produkcji energii elektrycznej w ilości 216 902 MWh (moc elektryczna 29,1 MWe). Produkowana energia elektryczna pokrywa zużycie własne instalacji na poziomie 49,5%, a zbilansowanie potrzeb własnych układu wymaga doprowadzenia dodatkowych 221 519 MWh energii elektrycznej. Sprawność układu względem metanolu wynosi 58% (ciepło spalania).

5. Analiza efektywności ekonomicznej

Nakłady inwestycyjne na realizację przedsięwzięcia zostały wyznaczone na podstawie danych raportów amerykańskich i europejskich firm konsultingowych, a w szczególności

Worley Parsons Group Inc., EPRI, Bechtel Corp., Siemens, jak również na podstawie ekspertyz, wiedzy oraz doświadczeń polskich biur projektów i realizacji inwestycji. Nakłady inwestycyjne na środki trwałe, oszacowane na bazie II kwartału 2006 roku z uwzględnieniem wzrostu nakładów inwestycyjnych w okresie do połowy roku 2008, wyniosły dla analizowanego przedsięwzięcia 1 809 mln zł.

Analizę przeprowadzono dla dwóch wariantów: udział kapitału własnego — 100% (wariant I) oraz udział kapitału własnego / udział kapitału obcego — 50% / 50% (wariant II). Przyjęto cenę metanolu na poziomie 350 euro/t odpowiadającą jego średniej cenie rynkowej w roku 2008 [4]. Ponadto w obliczeniach uwzględniono koszty związane z emisją CO₂ (zakup 100% uprawnień do emisji CO₂ po cenie 39 euro/t).

Analizowany projekt jest efektywny w obu rozpatrywanych wariantach wykazując pełną płynność finansową w sensie zrównoważenia wpływów i wydatków w okresie budowy oraz nadwyżki gotówki w okresie eksploatacji, wysokie rentowności sprzedaży oraz krótkie okresy zwrotu całkowitych nakładów inwestycyjnych (7 lat).

Dokonana analiza wrażliwości projektu na zmiany jego parametrów wykazuje, że największy wpływ na efektywność przedsięwzięcia, przy stabilizacji pozostałych zmiennych, ma wartość sprzedaży, co w największym stopniu zależy od ceny sprzedaży metanolu. Analiza ryzyka projektu wykazuje, że produkcja metanolu przestaje być opłacalna przy spadku ceny jego sprzedaży o ponad 20% (cena minimalna metanolu na poziomie 283 euro/t). Natomiast wzrost nakładów inwestycyjnych i kosztów operacyjnych o 20% nadal pozwala rekomendować projekt do realizacji.

6. Podsumowanie

Zaproponowana konfiguracja instalacji produkcji metanolu bazuje na układach technologicznych obecnie dostępnych i zweryfikowanych w skali komercyjnej. Przy obecnym i prognozowanym do roku 2015 poziomie zużycia metanolu w Polsce, zastosowanie technologii zgazowania w proponowanej konfiguracji technologicznej pozwoliłoby na całkowite pokrycie popytu krajowego i w konsekwencji brak konieczności importu tego surowca. Analiza opracowanej koncepcji wytwarzania metanolu z węgla brunatnego na bazie jego zgazowania wykazała jej pełną efektywność procesową i ekonomiczną. Należy jednak zaznaczyć, iż światowy rynek metanolu charakteryzuje się w okresach krótkoterminowych dużymi wahaniami cen tego surowca, a dynamiczne tempo ich wzrostu w latach 2002–2008 (przyrost o 320%) zachwiane zostało w I kwartale 2009 (prawdopodobnie w wyniku ogólnoświatowego kryzysu gospodarczego), kiedy to zanotowano drastyczne spadki jego cen do poziomu 159 euro/t [4]

LITERATURA

- [1] GasificationWorld Database2007 — Current Industry Status, Robust Growth Forecast, Department of Energy USA, National Energy Technology Laboratory, dostępny w: www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/database/database.html

- [2] Gasification Database (9/2007) DOE, NETL, dostępny w: www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/database/database.html
- [3] Siemens Fuel Gasification Technology at e Glance; Prezentacja ze spotkania przedstawicieli ICHPW i Siemens; Freiberg Niemcy 22. 02. 2008
- [4] http://www.methanex.com/products/documents/MxAvgPrice_Dec232008.pdf