

Piotr BURMISTRZ\*, Tomasz CHMIELNIAK\*\*, Aleksander KARCZ\*, Marek ŚCIAŻKO\*\*

## Analiza porównawcza produkcji wodoru i związanej z nią emisji CO<sub>2</sub> przy zgazowaniu węgla kamiennego w reaktorach Shell oraz Texaco

**STRESZCZENIE.** Dokonano analizy porównawczej podstawowych wskaźników produkcji wodoru ze zgazowania węgla kamiennego typu 31 w dwóch rodzajach generatorów: z suchym doprowadzeniem paliwa oraz z doprowadzeniem paliwa w zawiesinie wodnej (na przykładzie technologii Shell i GE/Texaco). Do obliczeń procesowych wykonanych w symulatorze procesowym ChemCAD przyjęto konfigurację układu, bazującą na rozwiązaniach technologicznych dostępnych w skali komercyjnej. Obliczono parametry głównych strumieni procesowych, a w formie wykresów Sankey'a przedstawiono bilanse masowe i energetyczne. Dokonano oceny struktury wskaźników emisji CO<sub>2</sub> powstającego w całym cyklu wytwarzania wodoru, począwszy od pozyskania, przeróbki mechanicznej i transportu węgla do zakładu zgazowania (LCA). Obliczenia wykonano dla przypadku z i bez sekwestracji CO<sub>2</sub>. Korzystniejsze wyniki z uwagi na uzysk wodoru oraz ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> uzyskano dla wersji z zastosowaniem reaktora z suchym doprowadzeniem paliwa.

**SŁOWA KLUCZOWE:** węgiel kamienny, zgazowanie, produkcja wodoru, emisja CO<sub>2</sub>

Zgazowanie węgla jest technologią, której praktyczne początki sięgają XIX w., kiedy w 1887 r. opatentowano gazogenerator Lurgiego z przesuwным złożem węgla. Technologia ta przeszła wiele transformacji i ciągle jest stosowana w przemyśle dla zgazowania węgla kawałkowych. W drugiej połowie XX w. nastąpił pierwszy renesans technologii zgazo-

---

\* Dr inż. – Katedra Technologii Paliw, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

\*\* Prof. dr hab. inż. – Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze.

wania, a obecnie przeżywamy kolejny. W obszarze zastosowań przemysłowych dominują obecnie nowe i ciągle rozwijane konstrukcje reaktorów zgazowania pyłu węglowego, a jak wskazują doświadczenia historyczne osiągnięcie pełnej dojrzałości przemysłowej nowo opracowanej technologii zajmuje 10–15 lat.

Konstrukcje reaktorów zgazowania można podzielić na trzy zasadnicze typy w zależności od struktury przepływu paliwa w strefie reakcyjnej [1–3]:

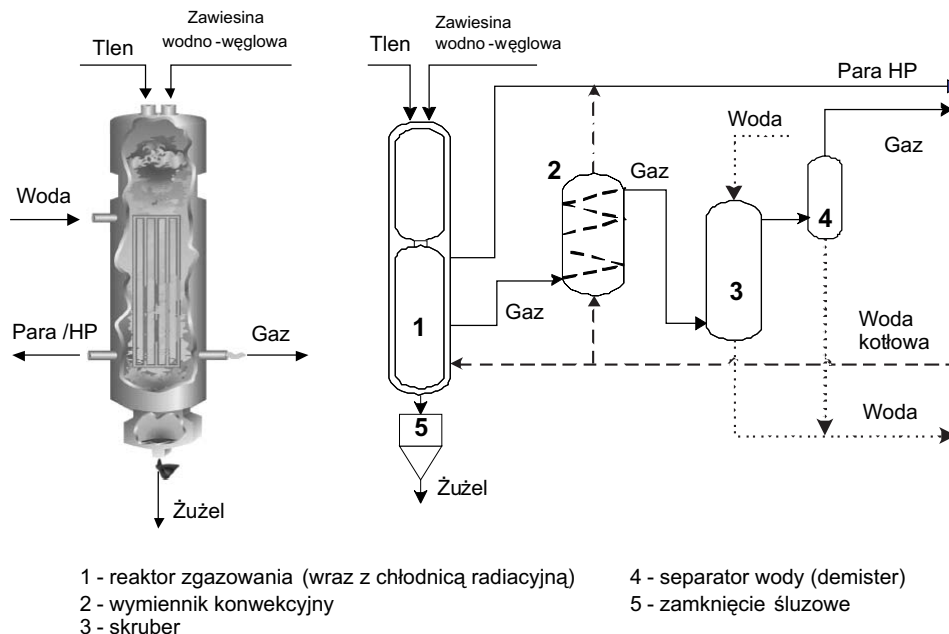
- ✧ reaktory dyspersyjne (*entrained flow*),
- ✧ reaktory ze złożem fluidalnym (*fluidised bed*),
- ✧ reaktory ze złożem zwartym przesuwnym (*moving bed*).

Najbardziej perspektywiczna jest grupa reaktorów dyspersyjnych, w których rozdrobniony węgiel i inne paliwa doprowadzone są do strefy reakcji w mieszaninie z tlenem i parą wodną. Paliwo może być wprowadzone w stanie suchym lub w zawiesinie wodnej. Reaktory pracują zwykle w temperaturach 1200–1600°C i pod ciśnieniem 2–8 MPa (większość instalacji komercyjnych pracuje przy ciśnieniach 2,5 MPa). Krótki czas przebywania (kilka sekund) węgla w układzie reakcyjnym pozwala na osiągnięcie dużej wydajności, ale jednocześnie wymaga rozdrobnienia podawanego paliwa do wielkości ziarna poniżej 0,1 mm. Ze względu na małą koncentrację zawieszoności pyłu, a zatem małą pojemność cieplną i krótki czas przebywania paliwa w reaktorze, szczególnie istotnymi w przypadku konstrukcji tych reaktorów są kontrola i precyzyjne utrzymywanie stosunku paliwo/utleniacz w wąskim przedziale zapewniającym stabilny płomień w pobliżu wylotu inżektora. Reaktory dyspersyjne są bardzo elastyczne pod względem zmian właściwości stosowanych paliw, co daje możliwość użycia zarówno paliw stałych jak i płynnych. Wysoka temperatura rdzenia płomienia zgazowującego, przekraczająca temperaturę płynięcia popiołu, zapewnia wysoki stopień konwersji węgla i brak zanieczyszczeń smolistych w wytwarzanym gazie.

Spśród reaktorów dyspersyjnych, dominujący udział w produkcji gazu mają technologie GE Energy/Texaco oraz Shell.

W technologii GE Energy/Texaco (rys. 1), zawiesina wodno-węglowa i tlen z układu separacji powietrza doprowadzane są poprzez układ zaworów do inżektora mieszanki wsadowej w górnej części reaktora (1), gdzie zachodzi proces zgazowania w temperaturze 1260–1480 °C. Gorący gaz procesowy wraz ze stopionym popiołem przepływa do dolnej części reaktora – chłodnicy radiacyjnej, gdzie ulega schłodzeniu do około 600–700°C, a następnie wyprowadzany jest z reaktora do chłodnicy konwekcyjnej (2) i skrubera (3), a następnie do separatora wody (4). W chłodnicach radiacyjnej i konwekcyjnej produkowana jest para wysokociśnieniowa. Stopiony popiół sływa do kąpieli wodnej w dolnej części reaktora, skąd po zestaleniu i ochłodzeniu (żużel gruby) wyprowadzany jest poprzez zamknięcie śluzowe (5), a następnie – po oddzieleniu wody – kierowany jest układem przenośników na składowisko odpadów.

Drobny żużel wydzielony w skruberze wraz z wodą zraszającą kierowany jest do osadnika, do którego doprowadzana jest również zanieczyszczona woda z odwadniania żużla. Szlam wydzielony w osadniku, zawierający drobny żużel, kierowany jest na składowisko odpadów. Woda z osadnika zawracana jest do skrubera oraz do reaktora, a jej nadmiar poddawany jest oczyszczeniu. Do tego układu wprowadzana jest również woda surowa w celu odświeżenia układu.



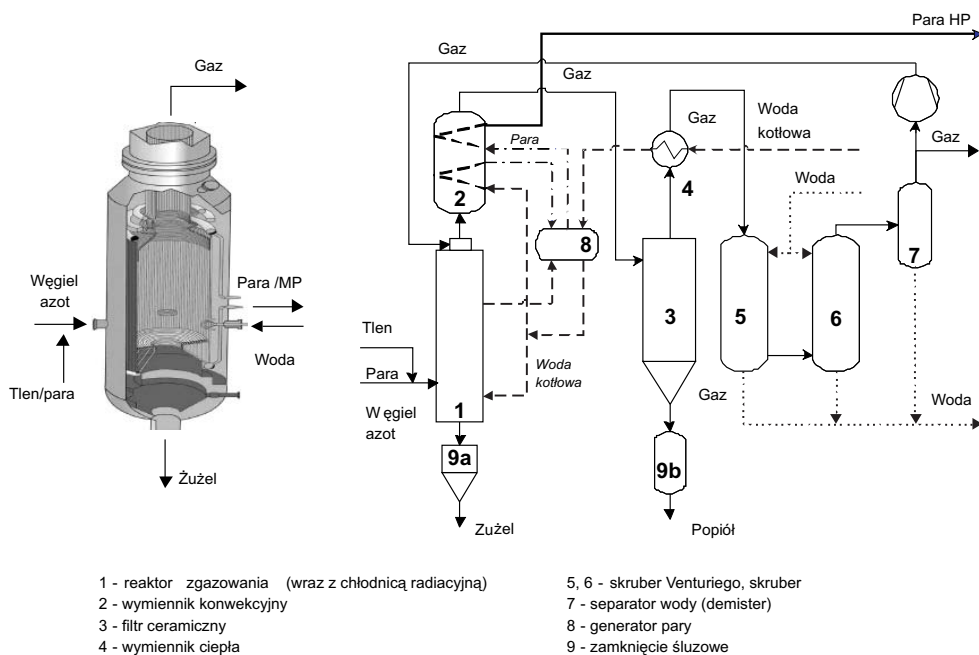
Rys. 1. Technologia zgazowania GE/Texaco – układ z wymiennikiem radiacyjnym i chłodnicą konwekcyjną

Fig. 1. GE/Texaco gasification technology – “Radiant-Convective” configuration

Oprócz rozwiązania opisanego powyżej General Electric oferuje komercyjnie jeszcze dwie inne konfiguracje układu zgazowania [4]:

- ✧ reaktor z bezpośrednim chłodzeniem wodnym: w układzie tym gorący gaz procesowy przed opuszczeniem reaktora poddawany jest chłodzeniu do 260°C poprzez bezpośredni kontakt z wodą,
- ✧ reaktor z wymiennikiem radiacyjnym: gaz procesowy opuszczający strefę zgazowania przechodzi przez chłodnicę radiacyjną (produkcja wysokociśnieniowej pary nasyconej), gdzie następuje jego schłodzenie do około 800°C, a następnie przechodzi przez zamknięcie wodne i obniża swoją temperaturę do około 200°C (konfiguracja określona przez dostawców technologii GE/Bechtel jako referencyjna).

Z kolei w przypadku technologii Shell, której schemat został przedstawiony na rysunku 2, rozdrobniony węgiel podawany jest pneumatycznie, pod ciśnieniem, azotem lub ditlenkiem węgla przez układ śluz do palników reaktora (1) umiejscowionych w jego dolnej części. Proces zgazowania przebiega w reaktorze w temperaturach 1400–1700°C. Reaktor (1) posiada ekran wodny, który odbiera ciepło wytwarzając przegrzaną wodę, która wprowadzana jest do generatora pary (8). Do górnej części reaktora wprowadzany jest gaz procesowy wstępnie oczyszczony i ochłodzony (w celu zestalenia unoszonych cząstek stopionego popiołu) w filtrze ceramicznym (3) oraz skrubierach (5) i (6). Popiół z węgla, w temperaturze procesu, ulega stopieniu i w formie płynnego żużla sływa po ścianach reaktora do dolnej jego części i wyprowadzany jest na zewnątrz reaktora poprzez układ śluz (9a).



Rys. 2. Technologia zgazowania Shell

Fig. 2. Shell gasification technology

Surowy gaz o temperaturze 800–900°C kierowany jest z reaktora zgazowania (1) do 7-sekcyjnego konwekcyjnego wymiennika ciepła (2), w którym ulega schłodzeniu, a następnie do filtra ceramicznego (3), gdzie następuje oddzielenie pyłów. Pyły z filtra ceramicznego (3), po przejściu przez układ śluz (9b), zwracane są do reaktora zgazowania lub też wyprowadzane są na zewnątrz jako odpad. Chłodziwa gazu (2) zasilana jest parą z generatora pary (8). Entalpia gorącego surowego gazu procesowego wykorzystywana jest do przegrzania pary i wody kotłowej. Surowy gaz procesowy po dalszym ochłodzeniu w wymiennikach ciepła (4) kierowany jest do skrubera Venturiego (5) i skrubera (6), zasilanych wodą technologiczną z układu chłodzenia i oczyszczania wody, a następnie do separatora wody (7).

Dla zastosowań w układach wyposażonych w instalacje usuwania CO<sub>2</sub> z gazów procesowych, w literaturze rozpatrywane są również układy konfiguracyjne, w których stosowane jest bezpośrednie chłodzenie wodne (brak wymiennika konwekcyjnego), co pozwala na jednoczesne doprowadzenie do układu wilgoci niezbędnej dla przebiegu procesu konwersji CO [4].

W pracy przeprowadzono analizę układu produkcji wodoru zintegrowanego ze zgazowaniem węgla z wykorzystaniem dwóch technologii zgazowania:

- ✧ z doprowadzeniem paliwa w zawiesinie wodnej (na przykładzie technologii GE/Texaco, konfiguracja reaktora z wymiennikiem radiacyjnym),
- ✧ z suchym doprowadzeniem paliwa (na przykładzie technologii Shell, konfiguracja z bezpośrednim chłodzeniem wodnym).

Do obliczeń procesowych przyjęto następującą konfigurację układu wytwarzania gazu syntezowego (podstawowe węzły technologiczne):

- ✧ układ produkcji tlenu: układ wytwarzania tlenu oparty na technologii separacji kriogenicznej, produkujący tlen o czystości 95%,
- ✧ zgazowanie: reaktor dyspersyjny (doprowadzenie paliwa w stanie suchym oraz doprowadzenie paliwa w zawiesinie wodnej),
- ✧ wzbogacanie gazu w wodór: dwustopniowy proces konwersji CO,
- ✧ układ odsiarczania i separacji CO<sub>2</sub>: dwustopniowy proces absorpcji H<sub>2</sub>S i CO<sub>2</sub> z wykorzystaniem rozpuszczalnika Selexol,
- ✧ układ separacji H<sub>2</sub> (technologia PSA),
- ✧ układ produkcji energii elektrycznej (spalanie gazu resztkowego z układu PSA, produkcja na potrzeby własne).

Ponadto przyjęto, że proces zgazowania i wytwarzania wodoru realizowany będzie w jednym ciągu produkcyjnym, a program produkcji ukierunkowany jest na maksymalizację wytwarzania wodoru jako głównego produktu.

Wielkość produkcji netto energii elektrycznej w układzie wpływa w bardzo istotny sposób na wskaźniki emisji CO<sub>2</sub> i ocenę końcową rozpatrywanych technologii produkcji wodoru. Analiza różnych rozwiązań technologicznych instalacji zgazowania węgla wykazała bardzo duży wpływ konfiguracji układu (w części instalacji chłodzenia gazu surowego) na ilość i parametry produkowanej pary i w efekcie na produkcję energii elektrycznej. W rezultacie poprzez wybór wariantu technologicznego węzła zgazowania (w ramach jednej technologii oferowane są różne rozwiązania techniczne i warianty konfiguracji układu) oraz indywidualny dobór parametrów procesowych i konfiguracji układu wodno-parowego można uzyskać znacznie różniące się wyniki. Wyższy poziom produkcji energii elektrycznej oferują rozwiązania bardziej zaawansowane technicznie, ale wiąże się to również z wyższymi kosztami inwestycyjnymi, które nie były elementem oceny rozpatrywanych konfiguracji technologicznych produkcji wodoru.

W związku z powyższym do analizy i oceny rozpatrywanych wariantów technologicznych produkcji wodoru z węgla przyjęto, w każdym przypadku jednakowy schemat obliczeń produkcji energii elektrycznej. Założono, że do obliczeń przyjmowana będzie entalpia chemiczna gazu resztkowego (gaz opuszczający instalację PSA), a stopień konwersji entalpii chemicznej gazu do energii elektrycznej wynosi 40%.

Jako surowiec do zgazowania wybrano węgiel wydobywany w jednej z górnośląskich kopalń regionu nadwiślańskiego, ze względu na przydatność do procesu, poziom produkcji oraz stosowaną technologię przeróbki mechanicznej. Charakterystykę węgla przedstawiono w tabeli 1.

Obliczenia wykonano w symulatorze procesowym ChemCAD v.6.0.2 dla stanu ustalonego procesów technologicznych przedstawionych na rysunku 3. W tabelach 2 i 3 zestawione zostały parametry głównych strumieni procesowych. Bilanse masowe i energetyczne procesów w postaci wykresów Sankeya przedstawiono na rysunkach 4 i 5.

W tabeli 4 zestawione zostały podstawowe wskaźniki charakteryzujące dwie analizowane technologie zgazowania węgla pod kątem wytwarzania wodoru.

Metoda oszacowania wskaźników emisji CO<sub>2</sub> związanej z pozyskaniem, przeróbką mechaniczną, jak też transportem węgla do zakładu zgazowania została opisana w publika-

TABELA 1. Charakterystyka węgla kamiennego

TABLE 1. Characteristics of hard coal

Nazwa oznaczenia	Symbol	Jednostka	Stan roboczy	Stan suchy	Węgiel do reaktora
Węgiel	C	%	47,8	59,1	56,1
Wodór	H	%	3,6	4,4	4,2
Azot	N	%	0,8	1,0	1,0
Siarka całkowita	St	%	1,8	2,3	2,1
Tlen	O	%	9,4	11,6	11,0
Wilgoć	Wt	%	19,1	0,0	5,0
Popiół	A	%	17,5	21,7	20,6
Wartość opałowa	Qi	kJ/kg	18 851	23 879	22 560
Ciepło spalania	Qs	kJ/kg	20 134	24 875	23 631

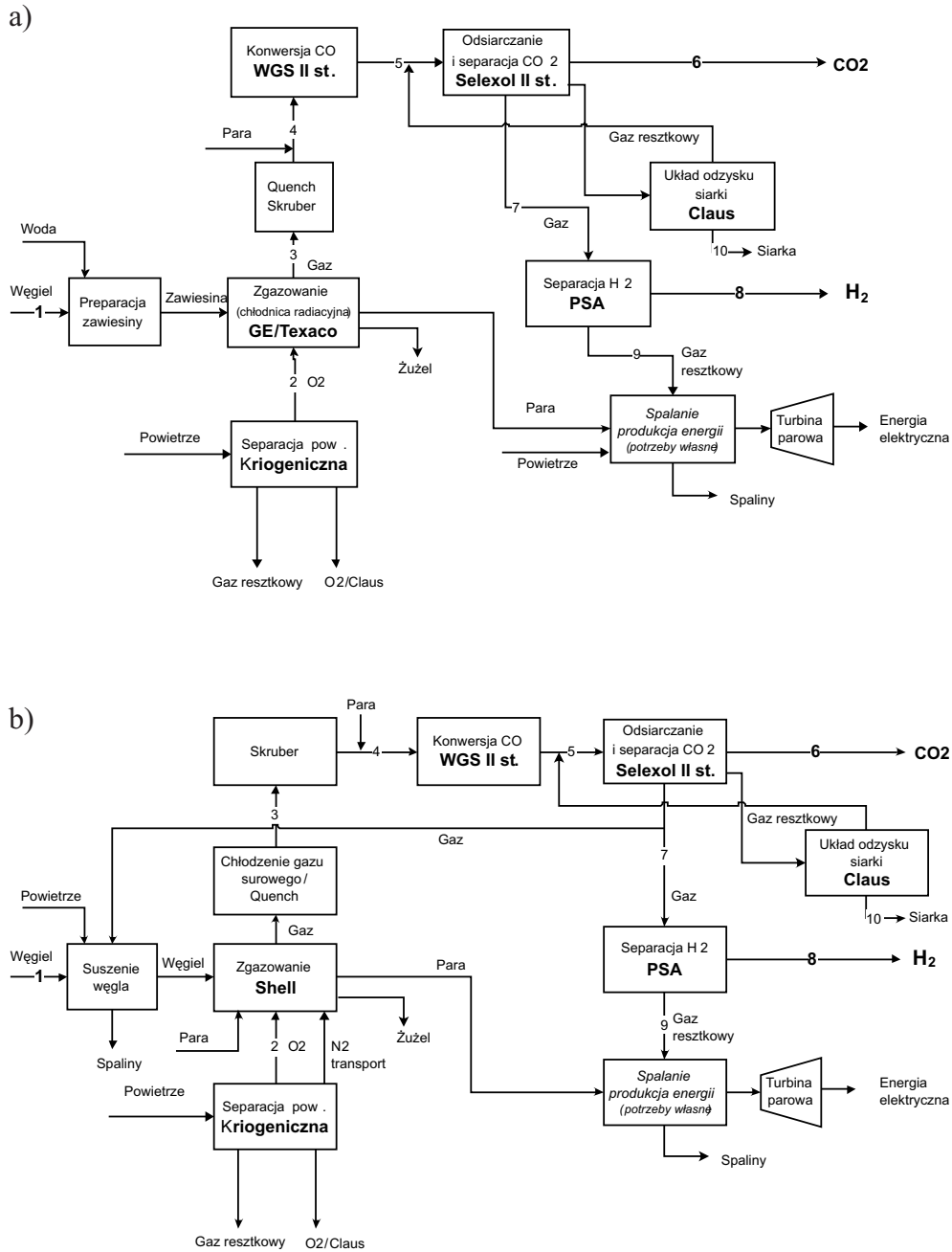
cji [5]. W przypadku procesu zgazowania brano pod uwagę wielkość energii elektrycznej, która musi być zakupiona z zewnątrz na pokrycie potrzeb własnych instalacji. Taka sytuacja dotyczyła wszystkich rozpatrywanych przypadków, a do wyliczenia emisji związanej z wytworzeniem energii elektrycznej – która musi być zakupiona do procesu – przyjęty został wskaźnik emisji ditlenku węgla dla produkcji energii elektrycznej wynoszący 0,9124 kg CO<sub>2</sub>/kWh dla węgla kamiennego. Ponadto uwzględniono przypadek potencjalnej sekwestracji CO<sub>2</sub> wydzielonego w procesie produkcji wodoru. Na potrzeby sekwestracji konieczne jest sprężanie wydzielonego ditlenku węgla, a następnie transport i zatłoczenie w wyselekcjonowane miejsce geologicznego składowania.

Na podstawie posiadanych informacji, dla potrzeb realizacji pracy, przyjęto następujące założenia:

- ❖ ditlenek węgla transportowany będzie w fazie ciekłej,
- ❖ ciśnienie na wlocie do układu transportowego (rurociągu) wyniesie 120 bar, co pozwoli na transport CO<sub>2</sub> na odległość około 100–150 km i zatłoczenie go w strukturach geologicznych bez konieczności dodatkowego sprężania.

Wartości wskaźników emisji CO<sub>2</sub> w analizowanych procesach zgazowania przedstawiono w formie graficznej na rysunkach 6 i 7, zaś na rysunku 8 przedstawiono dystrybucję całkowitych wskaźników emisji ditlenku węgla w poszczególnych procesach całego cyklu życia produktu (dla przypadku z sekwestracją CO<sub>2</sub>).

Z analizowanych dwóch wariantów produkcji wodoru na drodze zgazowania węgla kamiennego typu 31 z zagłębia górnośląskiego (region nadwiślański) korzystniejsze wyniki uzyskano w przypadku stosowania generatora z suchym doprowadzeniem paliwa. Wskazuje na to większy uzysk wodoru w odniesieniu do jednostki masy węgla poddawanego zgazowaniu oraz mniejsza emisja ditlenku węgla w całym cyklu życia produktu (LCA).



Rys. 3. Schemat blokowy instalacji zgazowania i produkcji wodoru  
a) technologia GE/Texaco, b) technologia Shell

Fig. 3. Block diagram of coal gasification integrated with hydrogen production  
a) GE/Texaco gasification technology, b) Shell gasification technology

TABELA 2. Parametry ważniejszych strumieni bilansowych (technologia zgazowania z doprowadzeniem paliwa w zawiesinie wodnej)

TABLE 2. Characteristics of main process streams (slurry feed gasification technology)

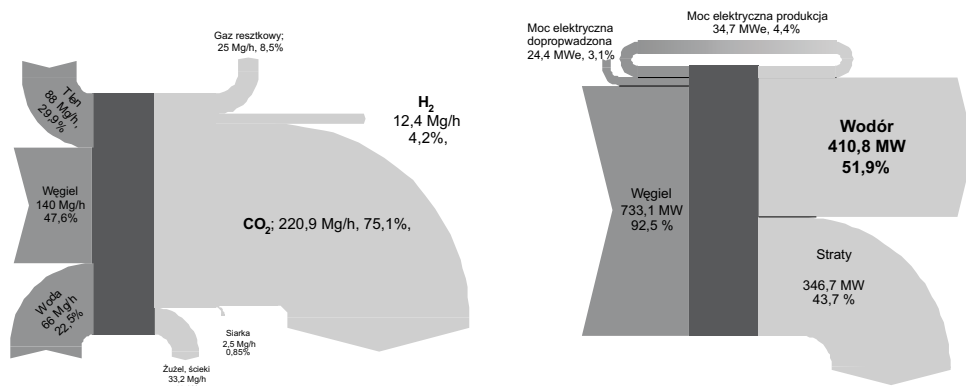
Numer strumienia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nazwa	węgiel kamienny surowy	tlen zgazowanie	gaz surowy	gaz WGS	gaz SELEXOL	CO <sub>2</sub>	gaz oczyszczony	wodór	gaz reszkowy	siarka
Temperatura [°C]	-	96	595	223	39	39	39	39	39	-
Ciśnienie [bar]	-	68	55	55	50	4	40	38	46	-
Strumień [kg/h]	140 000	87 013	240 618	331 376	265 729	220 909	37 435	12 363	25 072	2 487
Skład, udziały molowe										
H <sub>2</sub>	0,00	0,00	32,79	22,98	55,23	0,00	91,96	100,00	63,16	0,00
N <sub>2</sub>	0,00	1,80	0,76	0,53	0,82	0,00	1,15	0,00	5,28	0,00
O <sub>2</sub>	0,00	95,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,07	0,00	0,32	0,00
H <sub>2</sub> O	0,00	0,00	18,85	43,12	0,21	0,00	0,08	0,00	0,36	0,00
CO	0,00	0,00	29,74	20,84	1,35	0,00	2,24	0,00	10,26	0,00
CO <sub>2</sub>	0,00	0,00	16,46	11,53	41,05	100,00	3,37	0,00	15,42	0,00
H <sub>2</sub> S	0,00	0,00	0,62	0,43	0,61	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
COS	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CH <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,10	0,00
Ar	0,00	3,19	0,73	0,51	0,67	0,00	1,11	0,00	5,09	0,00
NH <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



TABELA 3. Parametry ważniejszych strumieni bilansowych (technologia zgazowania z suchym doprowadzeniem paliwa)

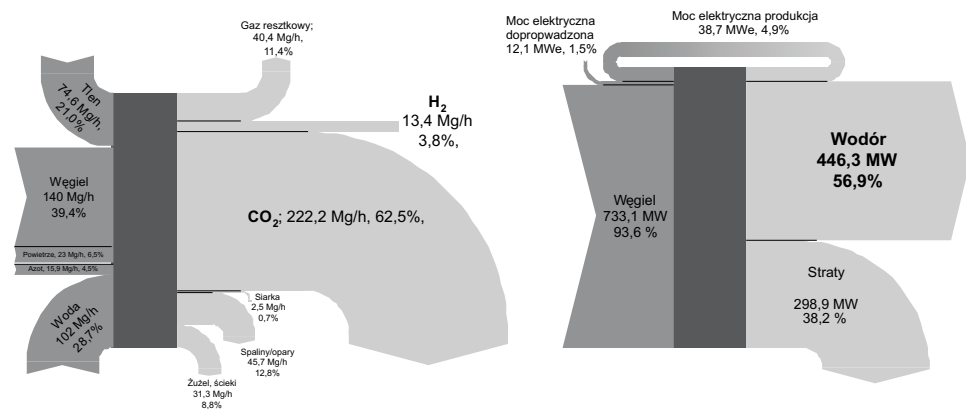
TABLE 3. Characteristics of main process streams (dry feed gasification technology)

Numer strumienia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nazwa	węgiel kamienny surowy	tlen zgazowanie	gaz surowy	gaz WGS	gaz SELEXOL	CO <sub>2</sub>	gaz oczyszczony	wodór	gaz resztkowy	siarka
Temperatura [°C]	-	64	268	302	39	39	39	39	39	-
Ciśnienie [bar]	-	51	39	38	32	4	30	28	1,5	-
Strumień [kg/h]	140 000	73 479	314 532	374 903	287 405	222 224	53 857	13 430	40 426	2 534
Skład, udziały molowe										
H <sub>2</sub>	0,00	0,00	18,24	15,14	55,32	0,00	86,90	100,0	49,88	0,00
N <sub>2</sub>	0,00	1,80	3,93	3,26	4,87	0,00	6,89	0,00	26,37	0,00
O <sub>2</sub>	0,00	95,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H <sub>2</sub> O	0,00	0,00	42,93	52,65	0,28	0,00	0,03	0,00	0,12	0,00
CO	0,00	0,00	32,74	27,17	1,55	0,00	2,42	0,00	9,27	0,00
CO <sub>2</sub>	0,00	0,00	1,15	0,96	36,83	100,00	2,85	0,00	10,89	0,00
H <sub>2</sub> S	0,00	0,00	0,45	0,37	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
COS	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CH <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,00	0,04	0,00	0,16	0,00
Ar	0,00	3,19	0,48	0,40	0,54	0,00	0,87	0,00	3,32	0,00
NH <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Rys. 4. Bilans masowy i energetyczny układu produkcji wodoru (technologia zgazowania z doprowadzeniem paliwa w zawieszinie wodnej; węgiel kamienny)

Fig. 4. Mass and energy balance of hydrogen production plant (slurry feed gasification technology; hard coal)



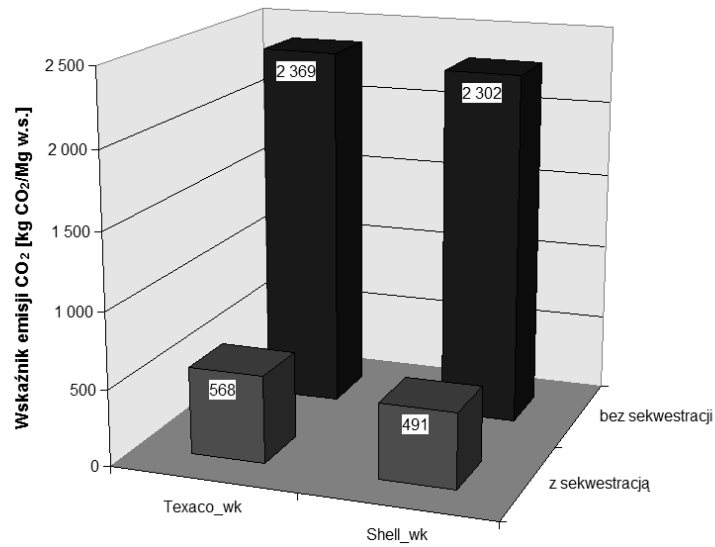
Rys. 5. Bilans masowy i energetyczny układu produkcji wodoru (technologia zgazowania z suchym doprowadzeniem paliwa; węgiel kamienny)

Fig. 5. Mass and energy balance of hydrogen production plant (dry feed Shell gasification technology; hard coal)

TABELA 4. Podstawowe wskaźniki charakteryzujące technologie z suchym dozowaniem paliwa i w zawieszinie wodnej w aspekcie wytwarzania wodoru

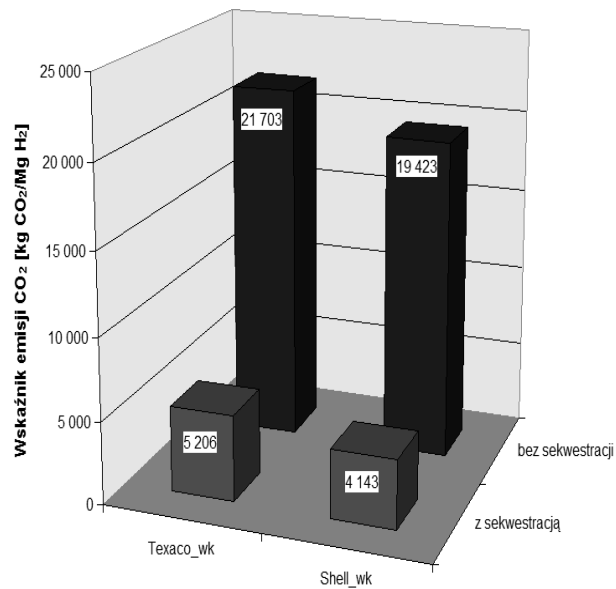
TABLE 4. Hydrogen production rates for dry and slurry feed gasification technology

Parametr	Dozowanie paliwa w zawieszinie wodnej	Suche dozowanie paliwa
Wskaźnik uzysku wodoru [Mg H <sub>2</sub> /Mg w.w.]	0,0883	0,0959
Wskaźnik uzysku wodoru [Mg H <sub>2</sub> /Mg w.s.]	0,1092	0,1186
Wskaźnik uzysku wodoru [Mg H <sub>2</sub> /GJ]	0,0047	0,0051
Sprawność przemiany entalpii chemicznej [%]	56,0	60,9



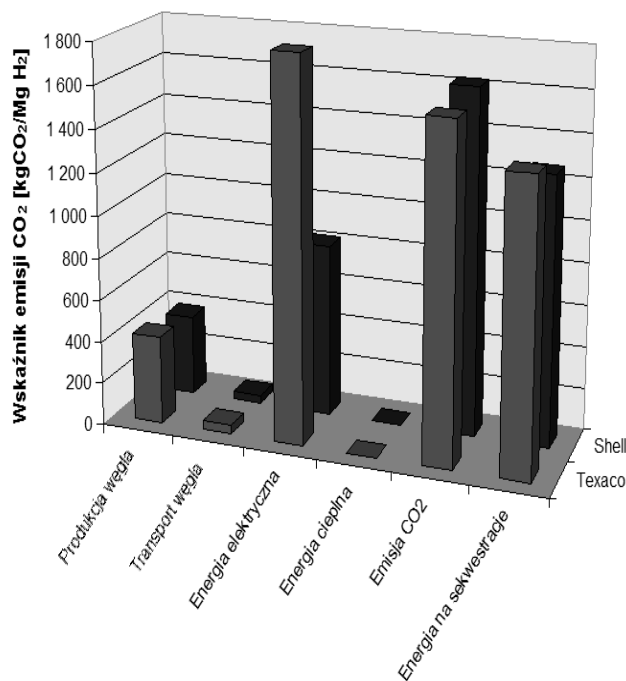
Rys. 6. Porównanie wskaźników emisji ditlenku węgla dla dwóch analizowanych technologii zgazowania (w odniesieniu do 1 Mg węgla suchego kierowanego do zgazowania)

Fig. 6. CO<sub>2</sub> intensity in the entire hydrogen production cycle for the examined processes (kg of CO<sub>2</sub>/kg of coal dry)



Rys. 7. Porównanie wskaźników emisji ditlenku węgla dla dwóch analizowanych technologii zgazowania (w odniesieniu do 1 Mg wyprodukowanego wodoru)

Fig. 7. CO<sub>2</sub> intensity in the entire hydrogen production cycle for the examined processes (kg of CO<sub>2</sub>/Mg of H<sub>2</sub>)



Rys. 8. Emisja ditlenku węgla w poszczególnych etapach pełnego cyklu wytwarzania wodoru dla analizowanych technologii

Fig. 8. CO<sub>2</sub> intensity for main production steps in the entire hydrogen production cycle for the examined processes (kg of CO<sub>2</sub>/Mg of H<sub>2</sub>; CCS case)

Publikacja powstała w ramach projektu N N524 2088 33

## Literatura

- [1] MINCHENER A.J., 2005 – Coal gasification for advanced power generation. Fuel nr 84, s. 2222–2235.
- [2] COLLOT A.G., 2006 – Matching gasification technologies to coal properties. International Journal of Coal Geology nr 65, s. 191–212.
- [3] COCA M.T., 2003 – Integrated gasification combined cycle technology: IGCC. Its actual application in Spain: ELCOGAS. Puertollano; Elcogas S.A., Club Español de la Energía.
- [4] Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants. Final Report: Volume 1: Bituminous Coal and Natural Gas to Electricity; DOE/NETL-2007/1281; May 2007.
- [5] KARCZ A., BURMISTRZ P., STRUGAŁA A., 2009 – Oszacowanie emisji CO<sub>2</sub> związanej z wydobyciem i transportem węgla – potencjalnych surowców dla procesów wytwarzania wodoru. Polityka energetyczna t. 12, z. 1, 93–110.

Piotr BURMISTRZ, Tomasz CHMIELNIAK, Aleksander KAR CZ, Marek ŚCIAŻKO

## Comparative analysis of hydrogen production and related CO<sub>2</sub> emission during hard coal gasification in Shell and Texaco technologies

### Abstract

Comparative analysis of hydrogen production from hard coal gasification for two gasification technologies (dry and slurry feed gasifiers) was presented. For process calculation commercial ready plant configuration was proposed. Process streams parameters and mass and energy balance for analyzed cases were presented. LCA evaluation related to CO<sub>2</sub> emissions of hydrogen production plants was made. Taking into account hydrogen production level and CO<sub>2</sub> emission better results were obtained for dry feed gasification technology.

KEY WORDS: hard coal, gasification, hydrogen production, CO<sub>2</sub> emission

