

CZYSTE TECHNOLOGIE WĘGLOWE – SZANSĄ ROZWOJU SEKTORA GÓRNICZEGO

11.1 WSTĘP

Doskonałą ilustracją literacką zarówno tytułu, jak i treści artykułu jest myśl Antoine de Saint-Exupéry, że „Ziemi nie odziedziczyliśmy po naszych przodkach, my ją tylko pożyczylimy od naszych dzieci”.

Prof. Z. Kasztelewicz (2013) nie ma wątpliwości, że surowce energetyczne wciąż będą najważniejszymi nośnikami energii, umożliwiającymi rozwój zarówno w Polsce, Europie jak i na całym świecie. Są one bowiem geopolitycznym narzędziem i specyficzną bronią, której bogate w nie kraje, nie wahają się i nie zawahają się używać i użyć do realizacji swoich celów. Jedynie kraje, posiadające i eksploatujące własne surowce, zagwarantują sobie bezpieczeństwo energetyczne i gospodarczą niezależność.

To dosadne stwierdzenie, spoglądając na aktualną sytuację polskiego sektora węglowego, każe upatrywać szansy dla rozwoju wspomnianego sektora, w całkowitej zmianie wizerunku węgla. Należy radykalnie zmienić sposób myślenia: węgiel – tak, ale węgiel przyjazny dla środowiska [9].

Tradycyjne postrzeganie węgla związane było dotychczas z kryteriami i standardami oceny jego jakości i możliwości zastosowania. Do głównych kierunków użytkowania węgla kamiennego należały: spalanie, zgazowanie, odgazowanie (koksowanie i wylewanie), otrzymywanie koksu foremnego, paliw bezdymnych oraz wyrobów z węgla i grafitu, otrzymywanie paliw płynnych (upłynnianie), otrzymywanie węgla wtryskowego (PCI – Pulverized Coal Injection), łagodne utlenianie węgla, utylizacja odpadów przywęglowych i produktów spalania [11, 13, 14].

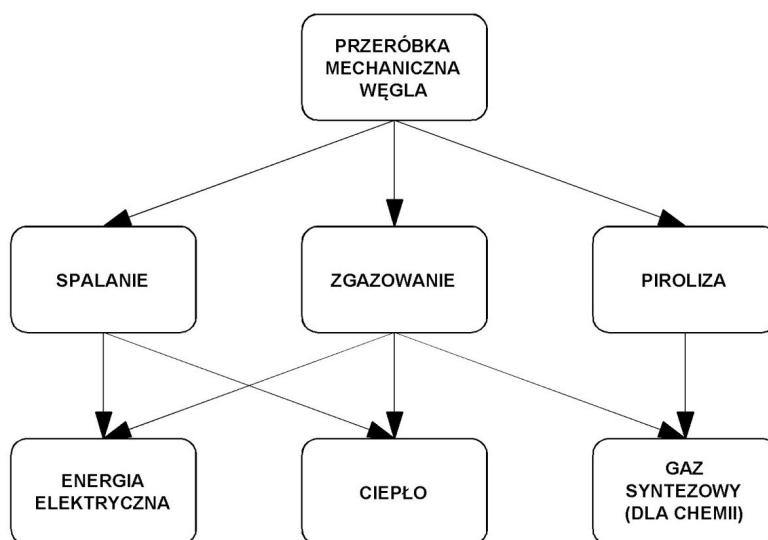
Spojrzenie na węgiel w nowym świetle pozwalają natomiast technologie określane mianem Czystych Technologii Węglowych (CTW) [9]. Przez czyste technologie węglowe należy rozumieć technologie zaprojektowane w celu poprawy skuteczności wydobycia, przeróbki, przetwarzania oraz utylizacji węgla i zwiększenia akceptowalności tych procesów z punktu widzenia wpływu na środowisko naturalne [www.gig.eu]. Innymi słowy jest to ogólna nazwa wszystkich procesów i sposobów

wykorzystania węgla mających na celu minimalizację negatywnego wpływu produktów jego spalania na środowisko [18].

Termin „Czyste Technologie Węglowe” odnosi się zatem do całego tzw. „łańcucha węglowego” – od wydobycia węgla do utylizacji pozostałości jego wykorzystania. W takim ujęciu wyróżnia się cztery główne podobszary CTW:

- wydobycie węgla i jego przeróbka (rozumiana, jako proces przygotowania węgla do użytkowania, najczęściej jest to tzw. przeróbka mechaniczna węgla),
- transport, składowanie i uśrednianie węgla,
- wykorzystanie węgla (w energetyce oraz w przetwórstwo węgla) wraz z wszelkimi działaniami zmniejszającymi wpływ wykorzystania węgla na środowisko (poza zagadnieniem odpadów i „półproduktów”),
- zagospodarowanie „pozostałości” z wydobycia i wykorzystania węgla, czyli różnego rodzaju odpadów (a także półproduktów, nadających się do dalszego gospodarczego wykorzystania) [9, 18].

Odniesienie do wspomnianego „łańcucha węglowego” już na wstępie formułuje pytanie o surowiec i jego jakość. Do spalania powinien być kierowany „czysty” węgiel, a nie węgiel „brudny”, gdyż spalanie złej jakości węgla powoduje zwiększenie kosztów pozyskania energii i pogorszenie sprawności przemian energetycznych (rys. 11.1) [2].



Rys. 11.1 Technologie Czystego Węgla

Źródło: [15]

Pierwszy etap tworzenia wspomnianego „czystego węgla” oparty jest na klasycznych metodach jego wzbogacania. Kryterium decydującym jest stworzenie jak najdoskonalszego oczyszczania węgla surowego, a więc pełne odkamienienie urobku oraz usunięcie jak największej ilości wolnych ziaren pirytu będącego nośnikiem siarki. Urobek węglowy poddawany jest procesom przeróbczym, które w cyklach wzbogacania uwzględniają usuwanie skały płonnej i wysokopopiołowych przerostów w separatorach cieczy ciężkiej, w osadzarkach, w cyklonach wodnych oraz za pomocą

flotacji. Klasyczne metody wzbogacania są ponadto najtańszym sposobem zmniejszenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery [2].

11.2 NOWOCZESNE KIERUNKI WYKORZYSTANIA WĘGLA

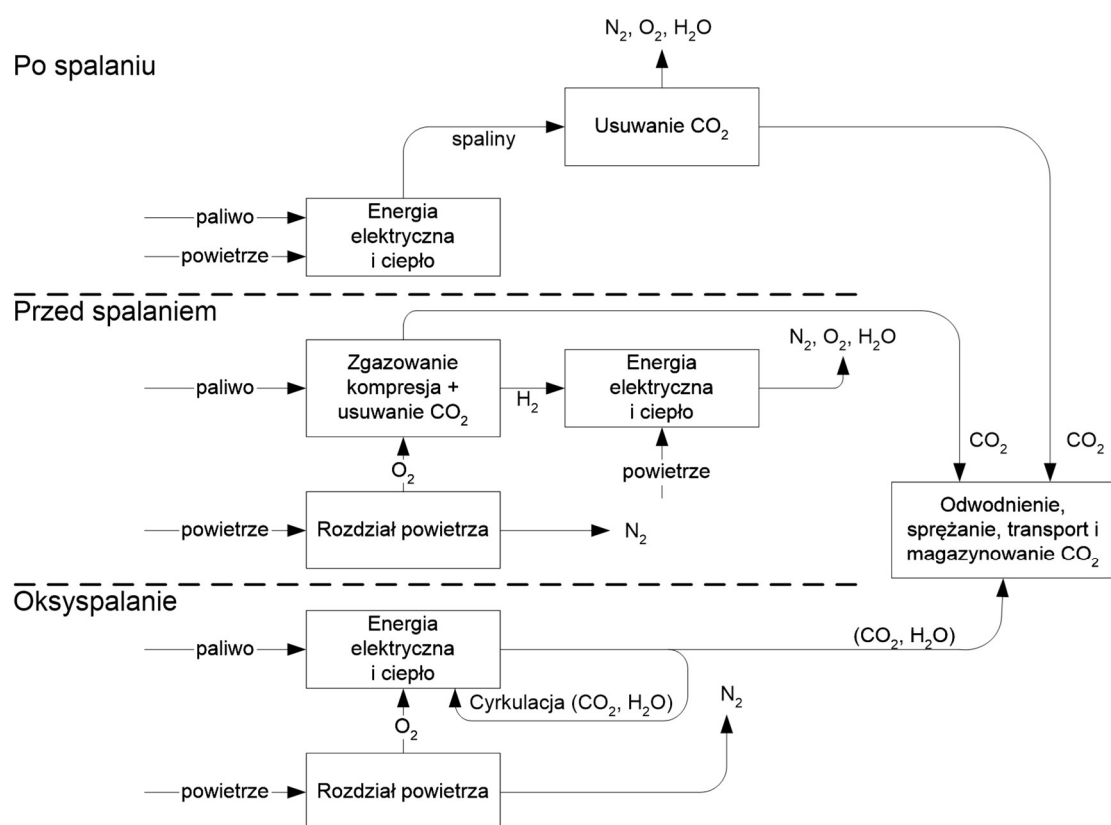
Podstawową siłą napędową rozwoju czystych technologii węglowych oprócz konieczności podniesienia sprawności konwersji paliw są stale zaostrzane standardy emisji substancji szkodliwych do środowiska naturalnego. Oprócz emisji związków azotu siarki, a ostatnio również rtęci szczególna uwaga poświęcana jest konieczności radykalnego obniżenia emisji CO₂, który uważany jest za przyczynę globalnych zmian klimatycznych na Ziemi.

Podstawową metodą obniżenia emisji ditlenku węgla jest wzrost sprawności przetwórstwa węgla. Dla osiągnięcia jednak oczekiwanego poziomu redukcji CO₂ samo podwyższenie sprawności produkcji jest niewystarczające i koniecznym jest stosowanie technologii separacji ditlenku węgla.

11.3 OPCJE USUWANIA CO₂

Istnieją trzy główne opcje technologiczne usuwania CO₂ ze spalin z elektrowni (rys. 11.2):

- usuwanie po spalaniu,
- usuwanie przed spalaniem,
- spalanie tlenowe (oxy-fuel combustion) z recykulacją spalin: O₂/CO₂.



Rys. 11.2 Opcje technologiczne usuwania CO₂ w elektrowniach i elektrociepłowniach

W procesie usuwania CO₂ po spalaniu, ditlenek węgla usuwane jest ze spalin wychodzących z kotła lub turbiny gazowej. Najbardziej rozwinięta i komercyjnie dostępna technologia polega na absorpcji CO₂ w wodnym roztworze amin. CO₂ jest następnie desorbowany z roztworu aminowego i odwadniany, po czym sprężany i transportowany do miejsca magazynowania. Metoda wymaga znacznych ilości energii dla regeneracji absorbentu, która doprowadzana jest w postaci pary wodnej z turbiny niskoprężnej, co skutkuje znacznym obniżeniem produkcja energii elektrycznej, a w konsekwencji sprawności energetycznej układu.

W procesie usuwania CO₂ przed spalaniem, ditlenek węgla usuwany jest z gazów otrzymanych na drodze tlenowego zgazowania węgla. W celu zwiększenia efektywności procesu separacji stosuje się poprzedzającą go konwersję CO w CO₂ („CO shift”). Wysokie koncentracje CO₂ oraz wysokie ciśnienia gazów podlegających oczyszczaniu pozwalają na efektywne zastosowanie procesów absorpcji fizycznej. Najbardziej rozwiniętymi i komercyjnie dostępnymi technologiami usuwania CO₂ na drodze absorpcji fizycznej są technologie Selexol i Rectisol.

W procesie spalania w tlenie z recyrkulacją spalin paliwo spalane jest w mieszaninie tlenu i CO₂, W rezultacie powstają spaliny zawierające głównie ditlenek węgla oraz parę wodną. Po wykondensowaniu pary otrzymuje się strumień gazu o bardzo dużej koncentracji CO₂, gotowy do transportu i magazynowania. Opcja ta wiąże się z rozwojem technologii spalania węgla w tlenie, która nie znalazła dotychczas zastosowania w skali komercyjnej [5].

11.4 NOWOCZESNE OPCJE TECHNOLOGICZNE PRZETWÓRSTWA WĘGLA

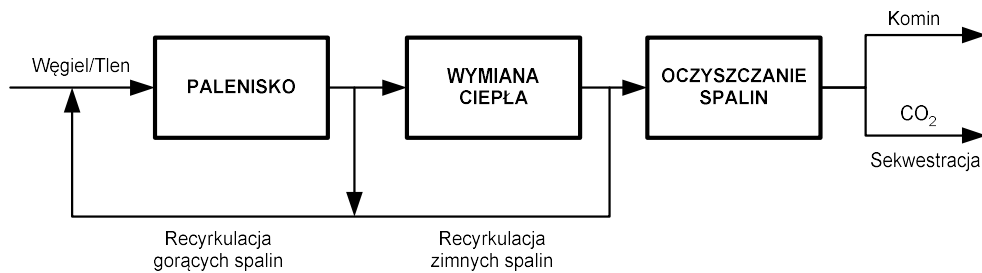
Do podstawowych, posiadających duży potencjał rozwojowy kierunków efektywnego wykorzystania węgla należą technologie spalania i zgazowania. Pierwsze wykorzystywane są do produkcji energii elektrycznej lub w układach produkcji ciepła i energii. Drugie ze względu na możliwość wielokierunkowego wykorzystania wytwarzanego gazu procesowego znajdują zastosowanie zarówno w produkcji chemicznej w tym przy wytwarzaniu paliw płynnych i gazowych jak i w energetyce w tzw. układach IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle - IGCC).

11.4.1 Technologie spalania

Podstawowym kierunkiem rozwoju układów energetycznych bazujących na powietrznym spalaniu węgla w kotłach fluidalnych i pyłowych jest podnoszenie parametrów pary (zarówno temperatury jak i ciśnienia) wykorzystywanej do produkcji energii w układzie turbiny parowej. Wymaga to stosowania coraz lepszych materiałów i konstrukcji. Ocenia się, że obecnie sprawność wytworzenia energii elektrycznej może dochodzić do 50%. Wymaga to jednak stosowania specjalnych, wysokogatunkowych stali, co wiąże się ze znacznym wzrostem nakładów inwestycyjnych.

Interesującym kierunkiem rozwoju technologii spalania jest spalanie w tlenie (oxy-combustion). W przypadku spalania tlenowego do kotła doprowadzany jest tlen

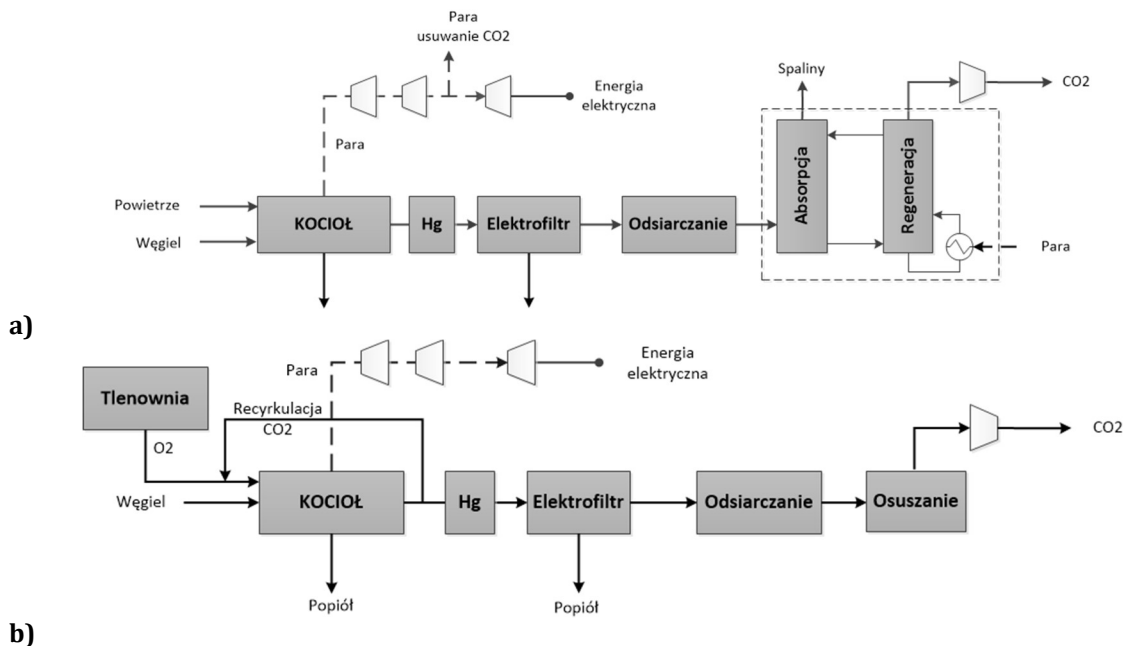
(typowo o koncentracji nie większej niż 95%) oraz recyrkulowane spaliny (rys. 11.3). Taka realizacja procesu spalania sprawia, że generowany w trakcie spalania gaz składa się głównie z CO₂ i pary wodnej i jest gotowy dla wydzielenia ditlenku węgla bez potrzeby stosowania skomplikowanych procesów absorpcyjnych. Recyrkulowane spaliny stosowane są do kontroli temperatury płomienia i zapewnienia odpowiedniej ilości gazów przepływających przez kocioł niezbędnych dla wymiany ciepła.



Rys. 11.3 Schemat układu oksypalania

Źródło: [3]

Ważną cechą technologii oksypalania jest znacznie obniżona ilość spalin (do 80%), co wpływa na obniżenie kosztów związanych z budową i eksploatacją ciągów transportu i oczyszczania spalin. Niestety układy oksypalania wymagają budowy instalacji separacji powietrza (ASU – air separation unit), która jest źródłem wysokich kosztów inwestycyjnych i zużycia energii elektrycznej (główny kompresor powietrza), co wpływa na znaczne obniżenie sprawności generacji energii. Rozwój nowych, tanich i nieenergochłonnych procesów produkcji tlenu stanowi kluczowy element rozwoju technologii oksypalania węgla.



Rys. 11.4 Spalanie węgla z wychwytem CO₂:
 a) spalanie powietrzne, b) oksypalanie

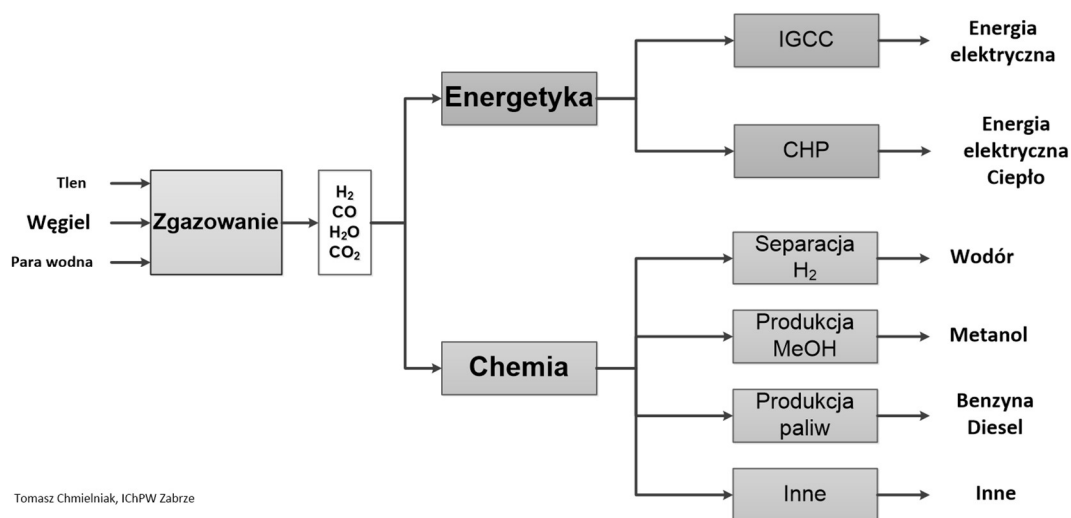
Obecnie nie ma w przemysłowym zastosowaniu pełnoskalowej technologii opartej o spalanie w tlenie. Największa jednostka demonstracyjna zlokalizowana w Schwarze Pumpe (Niemcy, Vattenfall) o mocy 30 MWth została po przeprowadzeniu cyklu badawczego zamknięta.

Porównanie konfiguracji technologicznej układu spalania powietrznego z separacją CO₂ i oksypalania przedstawia rysunek 11.4.

11.4.2 Technologie zgazowania

Praktyczne początki technologii zgazowania paliw stałych sięgają XIX w., kiedy w 1887 roku opatentowano gazogenerator Lurgi z przesuwym złożem węgla. W porównaniu z pierwszymi instalacjami zgazowania stosowane obecnie rozwiązania systemów reakcyjnych cechują się znacznie większą zdolnością przerobową oraz niezawodnością eksploatacyjną. Początek dynamicznego rozwoju technologii nastąpił w drugiej połowie XX w., obecnie przeżywamy kolejny wzrost zainteresowania procesem zgazowania.

Aktualne kierunki rozwoju technologii zgazowania węgla są związane przede wszystkim z wytwarzaniem energii elektrycznej oraz gazu procesowego na potrzeby syntezy chemicznej (rys. 11.5).



Tomasz Chmielniak, IChPW Zabrze

Rys. 11.5 Kierunki wykorzystania gazu z procesu zgazowania węgla

Szczególnie atrakcyjne wydaje się zastosowanie zgazowania w tzw. układach poligeneracyjnych, łączących wytwarzanie energii elektrycznej oraz produktów chemicznych z węgla, głównie paliw płynnych silnikowych, metanolu lub wodoru [4, 16]. Takie rozwiązanie daje możliwość podniesienia ogólnej sprawności wykorzystania energii pierwotnej oraz znaczącej poprawy ekonomiki produkcji. Dodatkowym, nie mniej ważnym motorem napędowym rozwoju technologii zgazowania węgla jest konieczność radykalnego zmniejszenia emisji CO₂ ze źródeł antropogenicznych, uważanych za jedną z podstawowych przyczyn efektu cieplarnianego. Zastosowanie technologii zgazowania pozwala na usuwanie ditlenku

węgla z gazu przed procesem spalania, co powoduje mniejsze straty sprawności wytwarzania energii elektrycznej niż w przypadku klasycznych technologii spalania, w których zabiegi oczyszczania prowadzone są dopiero na wytworzonych spalinach [6].

11.4.3 Dostępność i stan dojrzałości technologii zgazowania węgla

Technologia zgazowania paliw stałych jest znana i stosowana na świecie od wielu lat. Opublikowane w 2013 roku dane na temat stanu rozwoju przemysłowych układów zgazowania na świecie wskazują na niespotykany dynamiczny rozwój tej technologii. Wskazuje na to m.in. 48% wzrost produkcji gazu procesowego w porównaniu ze stanem z 2010 roku. Przy uwzględnieniu zdolności produkcyjnych instalacji znajdujących się w budowie i planowanych wzrost produkcji w odniesieniu do danych z 2010 roku wynosi odpowiednio 137% i 256% [6, 8]. W tabeli 11.1 przedstawiono zestawienie liczby przemysłowych reaktorów zgazowania na świecie dla kolejnych aktualizacji danych z przeglądu światowego stanu rozwoju technologii zgazowania przez U.S. Department of Energy (cyklicznie co trzy lata).

Najbardziej rozpowszechnioną technologią zgazowania węgla jest technologia zgazowania w złożu stałym (57% produkcji gazu, technologia: Sasol Lurgi Dry Ash), co jest wynikiem wciąż dużego potencjału wytwórczego zakładów Sasol (Afryka Południowa). Obecnie technologiami najbardziej rozwijanymi są procesy wykorzystujące reaktory dyspersyjne (43%). Znajduje to potwierdzenie w realizowanych i planowanych do 2016 roku wdrożeniach, z których praktyczne wszystkie dotyczą reaktorów tej konstrukcji (udział 97,7%), pozostałą część stanowią technologie fluidalne [6, 10, 20], których znaczenie wzrasta z uwagi na mniejsze koszty budowy i eksploatacji tych układów oraz możliwość integracji z zaawansowanymi technologiami spalania pozostałości po zgazowaniu. Ma to przede wszystkim istotne znaczenie dla układów kogeneracyjnych o mocy rzędu 100 MWe/100 MWth.

Tabela 11.1 Zestawienie instalacji i reaktorów zgazowania, lata 1999-2013

Rok aktualizacji	Układy istniejące, instalacje/reaktory zgazowania	Układy budowane, instalacje/reaktory zgazowania	Układy planowane, instalacje/reaktory zgazowania	Układy istniejące, GW _{th}	Układy budowane, GW _{th}	Układy planowane, GW _{th}
1999	128/366	b.d.	33/48	42,7	b.d.	18,2
2001	131/409	b.d.	32/59	43,3	b.d.	24,5
2004	117/385	b.d.	38/66	43,0	b.d.	25,3
2007	144/427	b.d.	10/34	56,2	b.d.	36,5
2010	192/405	11/17	37/76	70,8	10,9	40,4
2013	234/618	61/202	98/550	104,7	63,4	84,0

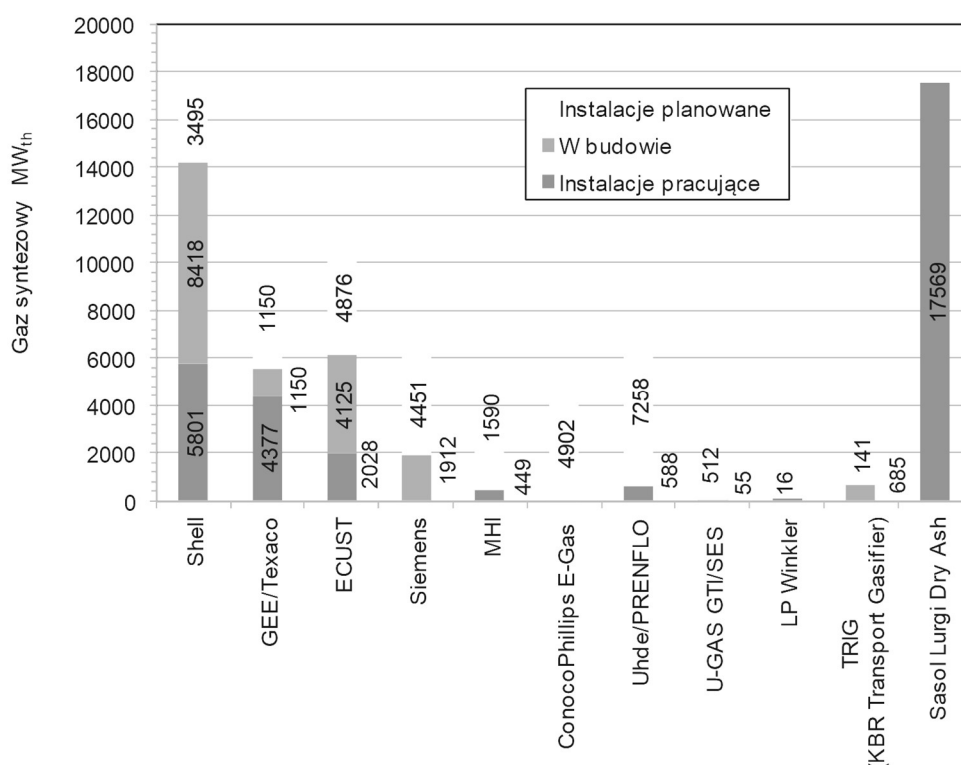
Źródło: [6, 8]

Rozpatrując wyłącznie technologie zgazowania węgla w reaktorach dyspersyjnych), największy udział w produkcji gazu mają technologie Shell oraz GE/Texaco (44% i 33%), a następnie ECUST (East China University of Science and Technology, 15,3%), Udhe/PRENFL0 (4,4%) oraz MHI (Mitsubishi Heavy Industries

gasification technology, 3,4%). Spośród planowanych do uruchomienia instalacji (instalacje budowane i w fazie rozwoju) najwięcej będzie wykorzystywać technologie zgazowania Shell (26,7%, 11913 MWth), ECUST (20,2%, 9001 MWth) i Siemens (14,2%, 6363 MWth) [6, 20].

Mniej rozwiniętą grupą są posiadające wiele zalet fluidalne technologie zgazowania. Do najbardziej zaawansowanych rozwiązań należą rozwiązania KRW (Kellog–Rust–Westinghouse) [6, 12], Uhde/HTW (High Temperature Winkler) [6], U-GAS GTI/SES [6] oraz KBR Transport Reaktor [1, 6]. Jednym z powodów stosunkowo niewielkiego ich zastosowania jest brak propozycji efektywnych układów zintegrowanych z produkcją chemiczną i energetyczną.

Przykładem nowego podejścia do technologii zgazowania węgla w złożu fluidalnym jest rozwijane w IChPW (Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze, Polska) zgazowanie węgla w reaktorze CFB (Circulating Fluidized Bed) z wykorzystaniem CO₂ jako czynnika zgazowującego [5, 6]. Na rysunku 11.6 przedstawiono moce produkcyjne różnych technologii zgazowania węgla na świecie.



Rys. 11.6 Sumaryczna wydajność reaktorów wykorzystujących jako paliwo główny węgiel – podział na technologie (stan obecny i prognozowany do 2016 roku)

Źródło: [6]

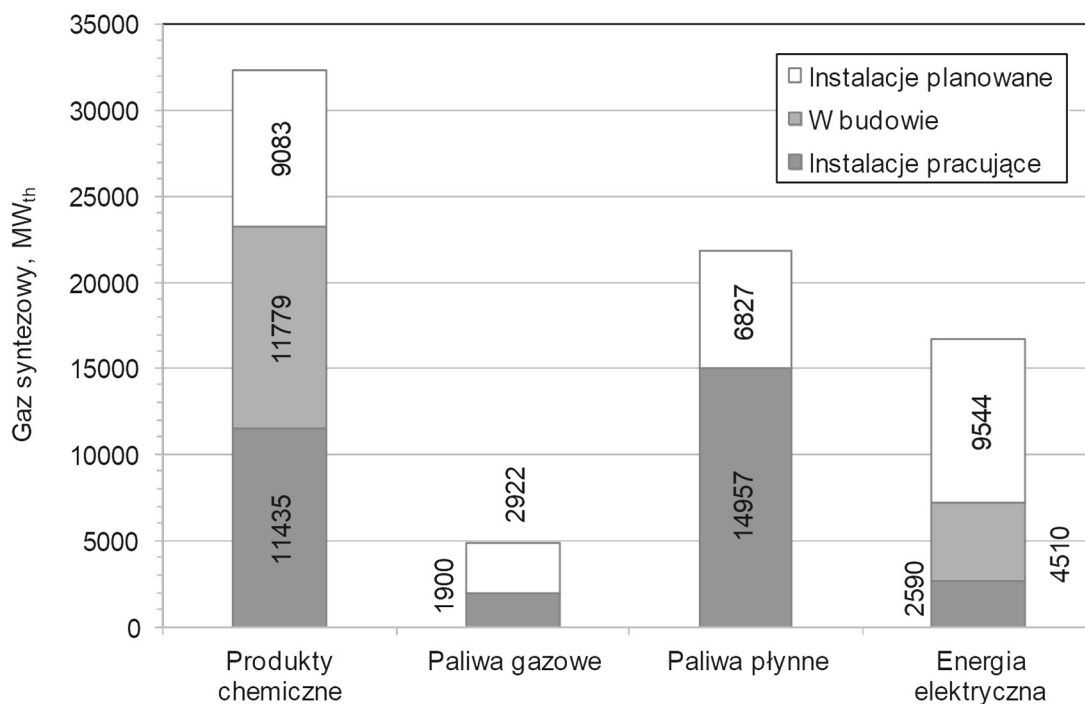
11.4.3 Potencjał możliwych obszarów zastosowań

Technologie zgazowania oferowane są komercyjnie dla zastosowania w następujących kierunkach:

- produkcja substancji chemicznych i paliw,
- produkcja energii elektrycznej i ciepła,

- poligeneracja stanowiąca połączenie dwóch powyższych kierunków.

Zgazowanie jest podstawową technologią wytwarzania gazu syntezowego do produkcji substancji chemicznych, wodoru, paliw płynnych i gazowych z węgla. Wydajność produkowanego na świecie gazu ze zgazowania węgla w zależności od wytwarzanego produktu przedstawia rys. 11.7.



Rys. 11.7 Sumaryczna wydajność reaktorów zgazowania węgla w zależności od wytwarzanego produktu (stan 2010 i prognozowany do 2016 roku)

Źródło: [6].

Wykorzystanie węgla do wytwarzania produktów chemicznych i paliw jest efektem dynamicznego rozwoju przemysłu w krajach o dużym potencjale gospodarczym, które nie posiadają własnych zasobów gazu ziemnego i ropy oraz mają ograniczony dostęp do światowych zasobów tych surowców. Krajem takim są przede wszystkim Chiny i to one obecnie dominują w uruchomianiu nowych instalacji zgazowania węgla. Polska posiada odpowiednie zaplecze paliwowe na realizację tego typu inwestycji. Wobec rosnącej dysproporcji pomiędzy cenami gazu ziemnego i węgla ważnym aspektem zastosowania technologii zgazowania jest również wysoka opłacalność ekonomiczna.

Należy podkreślić, że produkcja substancji chemicznych z węgla przy wykorzystaniu technologii zgazowania nie ma charakteru marginalnego czy lokalnego. Ocenia się, że 25% światowej produkcji amoniaku i 30% światowej produkcji metanolu wytwarzane jest przy wykorzystaniu procesów zgazowania. Innymi kierunkami zastosowania gazu z procesów zgazowania są produkcja glikolu, etanolu oraz paliw płynnych i gazowych. W Azji renesans przeżywa również koncepcja produkcji syntetycznego gazu ziemnego [6, 8].

W przypadku zastosowań energetycznych głównym czynnikiem wpływającym na atrakcyjność technologii zgazowania węgla są wysokie sprawności generacji energii elektrycznej oraz stosunkowo niskie koszty wychwytu CO₂. Zalety te wynikają z możliwości wykorzystania do generacji energii tzw. układów gazowo-parowych (IGCC) oraz możliwości separacji ditlenku węgla z gazu procesowego przed procesem spalania, co powoduje mniejsze straty sprawności wytwarzania energii elektrycznej niż w przypadku klasycznych technologii spalania, w których zabiegi oczyszczania prowadzone są dopiero na wytworzonych spalinach.

Znaczny rozwój, w ostatnich latach, klasycznych technologii spalania węgla sprawił jednak, że charakteryzują się one porównywalnymi sprawnościami generacji energii. Przy niższych nakładach inwestycyjnych oraz aktualnych - niskich kosztach zakupu uprawnień do emisji CO₂ bloki parowe na parametry nadkrytyczne stanowią obecnie najbardziej opłacalną opcję produkcji energii. Interesującym kierunkiem technologii zgazowania są również układy poligeneracyjne. Pozwalają one na jednoczesną produkcję energii elektrycznej i substancji chemicznych w tym paliw gazowych i ciekłych oraz sekwestrację powstającego ditlenku węgla. Połączenie procesu skojarzonej produkcji energii elektrycznej z produkcją substancji chemicznych umożliwia osiągnięcie wysokich wskaźników wykorzystania energii pierwotnej paliwa, niskich wskaźników emisyjności oraz wysokiej efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia również przy uwzględnieniu kosztów sekwestracji CO₂.

11.5 BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE KRAJU

Względnie tani i długoterminowy dostęp do węgla jest podstawą bezpieczeństwa energetycznego. Podobnie może stanowić podstawę bezpieczeństwa surowcowego dla przemysłu chemicznego przy wykorzystaniu technologii zgazowania węgla. W kraju potencjalne wykorzystanie węgla dla potrzeb przemysłu chemicznego można rozdzielić na dwa główne kierunki:

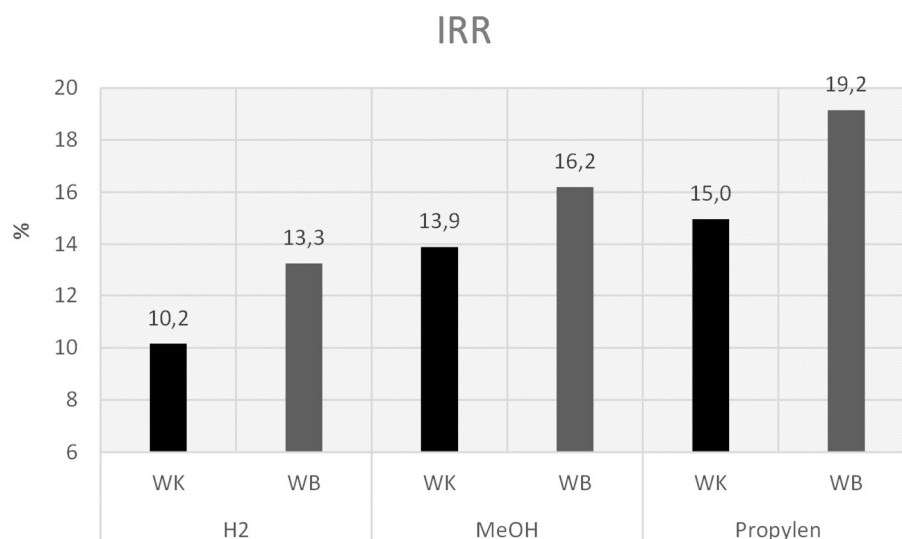
- zgazowanie dla produkcji gazu syntezowego, a praktycznie wodoru, dla przemysłu nawozów azotowych;
- zgazowanie poligeneracyjne, wiążące wytwarzanie energii elektrycznej z produkcją chemiczną ukierunkowaną na wodór, metanol, olefiny, paliwa silnikowe względnie substytut gazu ziemnego.

Kierunki te były przedmiotem zainteresowania Zakładów Azotowych w Puławach oraz Zakładów Azotowych w Kędzierzynie w latach 2007-2010. W obu przypadkach opracowano analizy techniczno-ekonomiczne, które dawały podstawy dla realizacji tych inwestycji. Z uwagi jednak na uwarunkowania zewnętrzne związane z perspektywą zwiększonych dostaw gazu ziemnego oraz spokojną sytuacją polityczną projekty te zatrzymano. Obecnie powrócono do nich i rozważane jest przez Grupę Azoty SA wdrożenie takiego układu w Zakładach Azotowych w Kędzierzynie.

Zaspokojenie aktualnych potrzeb krajowego przemysłu nawozowego w zakresie substytucji gazu syntezowego wymaga zgazowania 7-8 mln ton węgla. Przy czym dla jednego zakładu produkcji nawozów sztucznych wystarczająca jest instalacja

o zdolności przerobowej 1,2-1,5 mln ton węgla, co odpowiada 500 mln m³ gazu ziemnego.

Oprócz aspektu bezpieczeństwa wdrożenie technologii zgazowania węgla może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne. Przeprowadzone w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla analizy typu Feasibility Study dla różnych kierunków wykorzystania gazu procesowego wskazują na możliwość wysokiej opłacalności takiej inwestycji (rys. 11.8).



Rys. 11.8 Wyniki analizy finansowej dla rozpatrywanych układów produkcyjnych. Wewnętrzna stopa zwrotu (WK - węgiel kamienny, WB - węgiel brunatny)

11.5.1 Doświadczenia krajowe

Tematyka Czystych Technologii Węglowych była przedmiotem Programu Strategicznego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pt. Zaawansowane technologie pozyskiwania energii.

W obrębie programu wydzielono trzy zadania badawcze dotyczące trzech głównych technologii węglowych: spalania powietrznego, tlenowego i zgazowania węgla. Były to:

1. opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zero-emisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO₂ ze spalin (lider konsorcjum – Politechnika Śląska);
2. opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂ (lider konsorcjum – Politechnika Częstochowska);
3. opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej (lider konsorcjum – Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica);

Badania w ramach Zadania nr 3 dotyczyły opracowanej w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla technologii zgazowania węgla w reaktorze fluidalnym przy zastosowaniu CO₂ jako reagenta. Innowacyjność rozwiązania polega na zastosowaniu

diutlenku węgla w procesie zgazowania, który dzięki przebiegowi reakcji Bouduarda doprowadza do układu pierwiastek C i tlen. Istotnym elementem rozwijanej technologii jest również własne (IChPW) rozwiązanie aparaturowe reaktora zgazowania. Badania prowadzone w skali pilotowej potwierdziły możliwość realizacji procesu, a opracowana technologia posiada 6 poziom gotowości technologicznej (TRL). Dodatkowo uzyskane w układzie pilotowym dane procesowe stanowią podstawę dla opracowania modeli symulacyjnych reaktora zgazowania oraz dla sporządzenia projektów procesowych i wstępnych studiów wykonalności instalacji zgazowania węgla w skali demonstracyjnej, wymaganej dla komercjalizacji technologii w tym weryfikacji procesu w warunkach przemysłowych.

11.6 PODSUMOWANIE

Rozwój CTW jest szansą dla krajów dysponujących dużymi zasobami węgla, lecz ograniczających jego zużycie w energetyce ze względu na obowiązek redukcji emisji. Energetyka tych państw będzie jeszcze przez długi czas oparta na tym paliwie a jej przyszłość związana jest z rozwojem nowych technologii w tym CTW. CTW pozwalają na dotrzymanie coraz surowszych limitów emisji gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń atmosfery [19].

Wykorzystywanie czystych technologii węglowych, kiedyś ekonomicznie nieopłacalne, dziś staje się realną perspektywą. Niezbędne inwestycje finansowe w ich rozwój mogą zaowocować w przyszłości przełomem w energetyce konwencjonalnej [18].

W chwili obecnej dla produkcji energii najbardziej perspektywicznymi kierunkami rozwoju technologii węglowych wydają się bloki na parametry nadkrytyczne i super-nadkrytyczne, mogące już dziś oferować sprawność wytwarzania energii elektrycznej na poziomie +50%. W perspektywie średnio i długoterminowej na szczególną uwagę zasługuje rozwijana technologia spalania tlenowego pozwalająca na uzyskanie spalin o bardzo dużej koncentracji CO₂, które po usunięciu wilgoci są praktycznie gotowe do transportu i magazynowania. Rozwój tej technologii wiąże się nierozdzielnie z opracowaniem wysokosprawnej i energooszczędnej technologii produkcji tlenu.

Zgazowanie węgla posiada ogromny potencjał rozwojowy w zakresie produkcji chemicznej, w tym wytwarzania paliw płynnych i gazowych. Układy produkcji energii zintegrowane ze zgazowaniem węgla (Integrated gasification Combined Cycle; IGCC) mogą konkurować z układami tradycyjnymi w przypadku konieczności wychwytu CO₂ ze spalin.

Niezwykle interesującym kierunkiem jak się wydaje o największym potencjale rozwojowym jest tzw. układ poligeneracyjny wytwarzający jednocześnie energię i substancje chemiczne. Takie rozwiązanie ze względu na zwykle wysoką rentowność produkcji chemicznej może pozwolić na efektywną produkcję energii, również w przypadku wychwytu CO₂.

Niezależnie od kierunku wykorzystania CTW w kraju „najważniejsza korzyść to zagwarantowanie Polsce niezależności i bezpieczeństwa energetycznego, co da stabilność i przewagę konkurencyjną całej naszej gospodarce” [9].

LITERATURA

1. S. Ariyapadi, P. Shires, M. Bhargava, D. Ebborn. „KBR’s Transport Gasifier (TRIG™) – an Advanced Gasification Technology for SNG Production from Low-Rank Coals.” Internet: <http://www.kbr.com> [21.11.2016]
2. W. Blaschke. „Czyste technologie węglowe z...brudnym węglem.” Internet: www.gigawat.info [21.11.2016]
3. B.J.P. Buhre, L.K. Elliott, C.D. Sheng, R.P. Gupta, T.F. Wall. „Oxy-fuel combustion technology for coal-fired power generation.” *Progress in Energy and Combustion Science*, 31, pp. 283-307, 2005.
4. T. Chmielniak, M. Ściążko. „Co-gasification of biomass and coal for methanol synthesis.” *Applied Energy*, vol. 74, pp. 393-403, 2003.
5. T. Chmielniak, M. Ściążko. „Czyste technologie węglowe – zgazowanie.” *Energetyka Ciepła i Zawodowa*, nr 3, pp. 59-66, 2008.
6. T. Chmielniak. *Badania symulacyjne technologii wytwarzania wodoru w aspekcie emisji CO₂, w cyklu – wydobywanie, transport i przetwórstwo węgla*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2014.
7. T. Chmielniak, M. Ściążko, G. Tomaszewicz, M. Tomaszewicz. „Pressurized CO₂ gasification of coal.” *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 117, no. 3, pp. 1479-1488, 2014.
8. C. Higman. „State of the Gasification Industry – the Updated Worldwide Gasification Database,” Gasification Technology Conference, Colorado Springs, 2013.
9. Z. Kasztelewicz. „Czysty węgiel: przyszłość polskiej energetyki.” Internet: www.institutkosciuszki.pl [21.11.2016]
10. „KRW Gasifier IGCC Base Cases” PED-IGCC-98-005, NETL. Internet: <http://www.netl.doe.gov> [21.11.2016]
11. M. Marcisz. „Jakość węgla w złożu i produkcie handlowym,” *Polskie Towarzystwo Geologiczne - Instytut Geologii UAM, Referaty*, vol. XV, Poznań, 2006, pp. 145-153.
12. J.C. Molburg, P.R. Thimmapuram. „KRW Oxygen-Blown Gasification Combined Cycle: Carbon Dioxide Recovery, Transport, and Disposal.” Internet: <http://www.fischer-tropsch.org> [21.11.2016]
13. K. Probierz, M. Marcisz. „Szacowanie jakości węgla w złożu według Polskiej Normy i Międzynarodowego Systemu Kodyfikacji Węgla z użyciem programów Surfer i AutoCAD.” *Przegląd Górniczy*, nr 3-4, pp. 19-24, 2009.
14. K. Probierz, M. Marcisz. „Estimation of the hard coal quality in a deposit in view of national and international standards.” *Archives of Mining Sciences*, vol. 55, no. 4, pp. 847-863, 2010.
15. M. Ściążko, K. Dreszer. *Wykorzystanie zasobów węgla w układach zgazowania*. Zabrze: IChPW, 2006.
16. M. Ściążko, T. Chmielniak. „Cost Estimates of Coal Gasification for Chemicals and Motor Fuels” in *Gasification for Practical Applications*. Yongseung Yun. Ed. InTech, 2012. [On-line]. Available: <http://www.intechopen.com/books/gasification-for->

- practical-applications/cost-estimates-of-coal-gasification-for-chemicals-and-motor-fuels [21.11.2016].
17. www.gig.eu [21.11.2016]
 18. www.iem.com.pl [21.11.2016]
 19. www.oze.agh.edu.pl [21.11.2016]
 20. „2010 Worldwide Gasification Database (plik Excel).” Internet: www.netl.doe.gov [21.11.2016]

Data przesłania artykułu do Redakcji: 10.2016

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 03.2017

dr hab. inż. Marek Marcisz, prof. Pol. Śl.

Politechnika Śląska,
Wydział Górnictwa i Geologii
Instytut Geologii Stosowanej
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska
e-mail: marek.marcisz@polsl.pl

dr hab. inż. Tomasz Chmielniak

Instytut Chemicznej Przeróbki
Węgla w Zabrze
ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze, Polska
e-mail: tchmielniak@ichpw.pl

prof. dr hab. inż. Krystian Probierz

Politechnika Śląska,
Wydział Górnictwa i Geologii
Instytut Geologii Stosowanej
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska
e-mail: krystian.probierz@polsl.pl

dr inż. Aleksander Sobolewski

Instytut Chemicznej Przeróbki
Węgla w Zabrze
ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze, Polska
e-mail: office@ichpw.pl

CZyste Technologie Węglowe – Szansą Rozwoju Sektora Górniczego

Streszczenie: Udokumentowane zasoby paliw kopalnych oraz prognozy ich zużycia wskazują, że węgiel, w perspektywie średnio i długoterminowej, będzie miał istotną rolę jako źródło energii i surowiec dla przemysłu chemicznego. Dotyczy to zarówno naszego kraju, jak i gospodarki światowej. Procesy przetwórstwa węgla, w tym zgazowanie i piroliza mogą wykorzystywane być również do wielotonażowej produkcji wodoru, tworząc podstawę do rozwoju nowych kierunków energetycznych w ramach tzw. Gospodarki Wodorowej. W powiązaniu ze wzrostem zapotrzebowania na energię spowoduje to konieczność rozwoju zarówno istniejących, jak i opracowania nowych wysokoefektywnych technologii wykorzystania węgla. Oprócz wymagań wzrostu sprawności wytwarzania energii kluczowym kierunkiem rozwoju technologii węglowych będzie radykalne obniżenie ich uciążliwości dla środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem emisji CO₂, uważanej za jedną z podstawowych przyczyn efektu cieplarnianego. W pracy przedstawiono charakterystykę podstawowych kierunków rozwoju Czystych Technologii Węglowych (CTW), obejmujących zarówno procesy przygotowania paliwa, jak również jego przetwórstwa do energii oraz cennych produktów chemicznych w tym paliw płynnych i gazowych. Szczególną uwagę poświęcono metodom obniżenia emisji CO₂ oraz technologiom zgazowania jako źródła gazu syntezowego dla zastosowań energetycznych i chemicznych. Przedstawiono podstawy procesu zgazowania węgla oraz stan rozwoju komercyjnych technologii zgazowania na świecie. Omówiono również wyniki badań ukierunkowanych na rozwój własnych, krajowych, rozwiązań technologicznych. Dotyczy to zwłaszcza rozwoju fluidalnej technologii zgazowania wykorzystującej jako surowiec w procesie ditlenek węgla. Ważnym elementem pracy jest również przedstawienie aktualnej sytuacji w obszarze działań administracyjnych oraz komercyjnych ukierunkowanych na wdrożenie pierwszych układów przemysłowych w naszym kraju.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, czyste technologie węglowe, przetwórstwo i przygotowanie paliw, wytwarzanie energii, zgazowanie, emisja i redukcja CO₂, efekt cieplarniany

CLEAN COAL TECHNOLOGIES – CHANCE FOR DEVELOPMENT OF MINING SECTOR

Abstract: Fossil fuel reserves and forecasts of their consumption indicate that coal, in the medium to long term perspective, will have a significant role as a source of energy and raw materials for the chemical industry. This applies both to Poland and world economy. Coal can also be a valuable source of hydrogen, whose multi-tonnage production is the basis for the development of new energy directions within Hydrogen Economy. The key directions of coal technologies development are related to increase of energy efficiency and radical reduction in environmental impact, with particular emphasis on CO₂ emission, which contribute in to global warming and climate change. The paper presents the main directions for the development of Clean Coal Technologies (CTW), which covers both, coal preparation processes and coal processing into energy and valuable chemical products including liquid and gaseous fuels. Particular attention has been paid to CO₂ separation processes and coal gasification technology as a source of synthesis gas for energy and chemical applications. The principles of the gasification process and state of development of commercial solutions were shown. The results of national research aimed at the development of in-house, technology were also discussed. An important part of the paper is also presentation of the current situation in the field of activities aimed at the implementation of the first commercial gasification technology in Poland.

Key words: hard coal, clean coal technologies, fuel processing and preparation, energy generation, gasification, CO₂ emission and reduction, greenhouse effect