

LIDIA GAWLIK*, EUGENIUSZ MOKRZYCKI**, ROMAN NEY***

Możliwości poprawy akceptowalności węgla jako nośnika energii

Słowa kluczowe

Węgiel, bezpieczeństwo energetyczne, zrównoważony rozwój, czyste technologie węglowe

Streszczenie

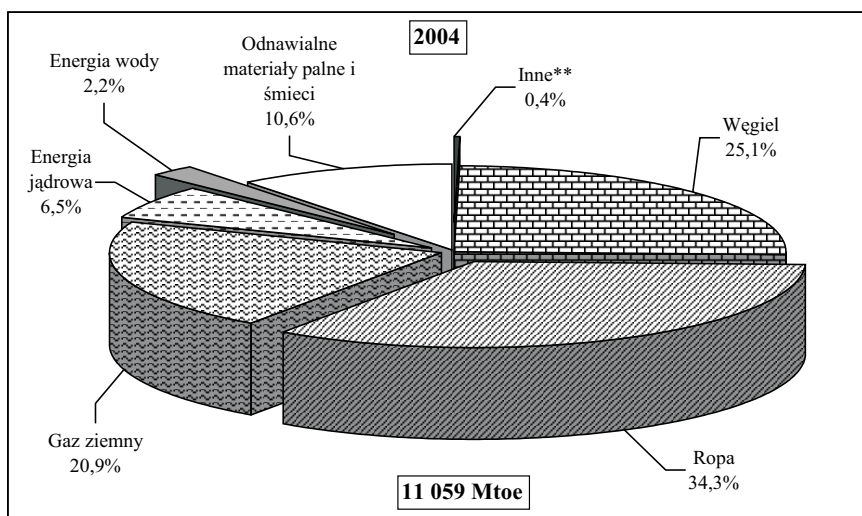
W artykule przedstawiono rolę węgla kamiennego w zaspokajaniu potrzeb energetycznych świata, wskazując, że w związku z dużymi zasobami oraz ich w miarę równomiernym rozłożeniem może w dalszym ciągu stanowić ważne źródło energii, zwłaszcza w krajach rozwijających się. Istniejąca dostępność techniczna i ekonomiczna węgla sprzyja jego rozwojowi, zaś przeszkodą staje się brak akceptowalności węgla, postrzeganego jako surowiec, którego użytkowanie zagraża środowisku. W artykule przedstawiono rozwój technologii czystego węgla. Rozwój czystych technologii spalania węgla z jednej strony, jak również rozwój nowoczesnych technologii wykorzystania węgla jako surowca chemicznego jest szansą dla wykorzystania energii zawartej w węglu w sposób najefektywniejszy i niezagrażający środowisku przyrodniczemu. W artykule przedstawiono również zamierzenia Unii Europejskiej w zakresie bezpiecznego zaopatrzenia Europy w energię oraz wymieniono projekty zmierzające do zeroemisijnego użytkowania węgla.

Wprowadzenie

Rozwój technologiczny w ubiegłym wieku przyczynił się do poprawy warunków życia ludności. Rozwój ten nierozzerwalnie jest związany z popytem na energię. Świat zafascynowany był kolejno: ropą naftową, energią jądrową, gazem, a obecnie odnawialnymi źródłami energii. Węgiel natomiast pozostawał zawsze w tle, spełniając istotną rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa dostaw i stabilizacji cen.

* Dr inż., *** Prof. dr hab. inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

** Prof. dr hab. inż., Wydział Paliw i Energii AGH, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.



Rys. 1. Struktura pierwotnych nośników energii w skali świata w 2004 r.

** Inne to energia geotermalna, słoneczna, wiatru

Źródło: IEA 2006

Fig. 1. The structure of primary energy sources in the world in 2004

W skali świata paliwa kopalne (węgiel, ropa i gaz) zapewniają 80% popytu na pierwotne nośniki energii. Strukturę pierwotnych nośników energii w 2004 r. przedstawiono na rysunku 1.

Niestabilność cen i niepewność dostaw są aktualnie dominującymi cechami sytuacji na międzynarodowych rynkach ropy i gazu. Wysoki udział tych paliw w zaspokajaniu potrzeb energetycznych jest powodem niepokojów w wielu krajach, między innymi w Unii Europejskiej. W tej sytuacji węgiel może być ogniwem stabilizującym bezpieczeństwo energetyczne. Dodatkowym argumentem przemawiającym za taką opcją jest przyśpieszenie tempa wyczerpywania odkrytych zasobów paliw węglowodorowych, spowodowane wzrostem zapotrzebowania wynikającego z dynamicznego rozwoju takich potęg regionalnych jak Chiny, Indie czy Brazylia.

W związku z tym już obserwuje się, a zjawisko będzie się nasilać, powrót do szerokiego wykorzystania węgla, którego zasoby są olbrzymie i w przeciwieństwie do zasobów węglowodorów ciekłych i gazowych są równomiernie rozłożone w różnych regionach geograficznych świata (w około 75 krajach).

Obecnie węgiel jest paliwem najtańszym z paliw kopalnych ze względu, między innymi, na duże udokumentowane zasoby (Brendow 2004, 2005; Borkowski 2004; Gawlik, Soliński 2004; Soliński 2004; Sablik, red. 2004; Dubiński, Turek, Wachowicz 2005; Gawlik 2005; Klank 2005; Probiez, Gabzdyl, Borówka 2005; Mokrzycki 2006; Tajduś, Dubiński, Rogut 2007; Ściążko 2007; Chmielniak 2007). Problemem, który coraz częściej jest podnoszony i stanowi przeszkodę w rozwoju użytkowania tego surowca jest negatywne oddziaływanie na środowisko przyrodnicze procesów wytwarzania energii elektrycznej i ciepła.

1. Zasoby i produkcja węgla kamiennego

Światowe zasoby przemysłowe węgla w 2006 roku wynosiły około 910 mld ton, z tego około 479 mld ton stanowiły zasoby węgla kamiennego (około 53%), a ponad 430 mld ton zasoby węgla brunatnego (około 47%) (BP 2007). Zasoby węgla występujące w poszczególnych regionach geograficznych świata mają zróżnicowaną wielkość, jak również różny stopień rozpoznania. Trzeba pamiętać, że ocena wielkości i struktury zasobów węgla zależy od przyjętych kryteriów, które z kolei zależą od stanu i postępu nauki, techniki, technologii, jak również zapotrzebowania na ten nośnik (popyt, podaż, substytucja).

Głównych producentów węgla kamiennego w latach 2004–2006 przedstawiono w tabeli 1.

Polska, z produkcją w wysokości 95 mln ton w roku 2006 jest ósmym światowym producentem węgla. Światowa produkcja węgla wykazuje wyraźną tendencję wzrostową, a imponujący poziom i roczny wzrost produkcji w Chinach ma znaczący wpływ na trend światowy. Wśród dziesięciu największych producentów, tylko w RPA poziom produkcji pozostaje na ustabilizowanych poziomie, w Polsce obniża się; pozostali producenci rozwijają produkcję.

Eksploatowane obecnie w kraju złoża węgla kamiennego występują w Zagłębiu Górnosląskim i Zagłębiu Lubelskim. Zasoby bilansowe złóż węgla kamiennego wynoszą 43,3 mld ton (stan na 31.12. 2005 r.), z tego ponad 11,4 mld ton to zasoby węgla koksowych (ponad 26%).

TABELA 1

Główni producenci węgla kamiennego [mln ton]

TABLE 1

Main coal producers [million tones]

| Kraj | Rok | | |
|-----------------------|---------|---------|---------|
| | 2004 | 2005 | 2006 |
| Chiny | 1 956,0 | 2 158,9 | 2 481,5 |
| USA | 943,3 | 962,4 | 989,5 |
| Indie | 382,0 | 403,0 | 427,1 |
| Australia | 285,9 | 304,9 | 309,4 |
| Republika Płd. Afryki | 242,8 | 245,0 | 244,4 |
| Rosja | 189,8 | 202,9 | 233,2 |
| Indonezja | 132,4 | 152,2 | 169,0 |
| Polska | 101,2 | 97,9 | 95,2 |
| Kazachstan | 83,1 | 82,8 | 91,5 |
| Kolumbia | 54,2 | 59,1 | 63,7 |
| Razem Świat | 4 633,8 | 4 934,0 | 5 363,8 |

Źródło: IEA 2007

W złożach zagospodarowanych zasoby bilansowe wynoszą 15,7 mld ton, z czego 6,4 mld ton to zasoby przemysłowe; zasoby operatywne, a więc takie, które są możliwe do wybrania przy obecnym poziomie techniki (istniejące systemy eksploatacyjne) wynoszą 3,8 mld ton (Bilans zasobów 2006; Karbownik 2007; Gawlik, Grudziński 2007).

Przy obecnym poziomie wydobywania węgla 90–100 mln ton rocznie, zapewnia to wystarczalność na około 40 lat, ale dla zapewnienia stabilnego poziomu eksploatacji niezbędne jest udostępnienie nowych partii złóż w kopalniach czynnych.

2. Węgiel a zrównoważony rozwój energetyczny

Zrównoważony rozwój energetyczny jest oceniany poprzez kryteria (WEC 2000):

- dostępności technicznej; energia o określonych parametrach jakościowych dostosowanych do potrzeb odbiorców,
- dostępności ekonomicznej; przedsięwzięcie musi być rentowne w celu zapewnienia dalszego rozwoju,
- akceptowalności przez społeczeństwo.

W przypadku węgla możemy mówić o dostępności technicznej – węgiel jest surowcem, dla którego technologie eksploatacji oraz technologie użytkowania są powszechnie dostępne. Jakość tego dostępu zależy od zamożności danego kraju, sytuacji politycznej oraz uwarunkowań ekonomicznych. Jednakże w związku z tym, że węgiel występuje w wielu regionach świata, będzie produkowany i użytkowany, zwłaszcza przez kraje rozwijające się. Natomiast produkcja węgla w krajach europejskich będzie się zmniejszać z powodu zbyt wysokich kosztów jego pozyskania z kopalń głębinowych.

Ponadto trzeba zdawać sobie sprawę, że popyt na węgiel będzie się z upływem czasu zmieniać się i przesunąć w kierunku od państw uprzemysłowionych do państw rozwijających się (przejście przez fazę industrializacji). Tendencje te będą się nasilać w warunkach występowania ograniczeń w spalaniu węgla w krajach wysokouprzemysłowionych z powodów ekologicznych. Tak więc przemysł węglowy będzie się charakteryzował coraz bardziej globalnym charakterem (Brendow 2004, 2005; Borkowski 2004; Janssens, Cosack 2004; Soliński 2004; Gawlik 2005).

Dlatego też istotnym zagadnieniem jest dążenie do zwiększenia efektywności wykorzystania energii. O efektywności energetycznej decyduje bardzo wiele czynników, począwszy od struktury pierwotnych nośników i struktury gospodarki, poprzez technologie i materiałochłonność produkcji, a kończąc na organizacji pracy i nawykach społeczeństwa do oszczędzania energii. Efektywność energetyczna jest określona produktywnością energii oraz energochłonnością Produktu Krajowego Brutto.

Zwiększenie produktywności energii z równoczesnym ograniczeniem energochłonności PKB ma istotne znaczenie dla (Ney 2004) zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego (ograniczenie emisji szkodliwych substancji do atmosfery) oraz jest ważne dla zachowania surowców dla przyszłych pokoleń.

Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA 2002) oraz Unia Europejska (WETO 2003) przewidują, że światowy poziom PKB na mieszkańca będzie przyrastać o około 2% rocznie do 2030 roku. W przypadku gdy wzrost dochodów ludności będzie wyższy od wzrostu cen energii, to należy się spodziewać, że 2 mld osób w 2030 roku może skorzystać z energii elektrycznej, z czego zdecydowana większość wyprodukowana będzie z węgla. Dalszy postęp będzie konieczny, gdyż trzeba mieć świadomość, że w 2030 roku w dalszym ciągu około 1 mld osób będzie żyć w warunkach ubóstwa energetycznego (IEA 2002; WETO 2003).

Węgiel jest generalnie dostępny ekonomicznie. Wydobycie węgla kamiennego jest mniej kapitałochłonne niż wydobycie ropy naftowej czy gazu ziemnego. Wydobycie 1 tony węgla w przeliczeniu na toe (tona oleju ekwiwalentnego) wynosi około 5 USD, ropy naftowej – 22 USD, natomiast gazu ziemnego aż 25 USD (Brendow K., 2005).

Dlatego należy spodziewać się intensyfikacji inwestowania w górnictwo węglowe w wielu rejonach świata (poza Europą). Szacunki Międzynarodowej Agencji Energii (IEA 2004) podają, że łączna wartość inwestycji w górnictwo węglowe, urządzenia portowe i transportowe w latach 2001–2030 wyniesie około 398 mld USD, natomiast w samo górnictwo 351 mld USD. Nakłady te umożliwiłyby wzrost światowej produkcji węgla z 4595 mln ton w 2000 roku do 6954 mln ton w 2030 roku.

Największe problemy z zaliczeniem węgla do liderów zrównoważonego rozwoju energetycznego polegają na braku akceptowalności węgla. Węgiel uważany jest bowiem za paliwo „brudne” – powodujące duże zanieczyszczenie środowiska. Taki pogląd jest powodem niechęci bogatych gospodarek do jego tradycyjnego użytkowania.

Opracowano wiele efektywnych metod usuwania z węgla substancji zanieczyszczających środowisko, głównie związków siarki i azotu oraz pyłów. Obecnie jednym z ważniejszych problemów, na który kładzie się nacisk, jest redukcja CO₂ powstającego w trakcie spalania węgla a odpowiedzialnego za efekt cieplarniany.

3. Rozwój czystych technologii węglowych

Większa czystość węgla oraz czyste technologie spalania paliw kopalnych wydają się być uzasadnionymi ekonomicznie dla świata, gdyż oferują rozwiązanie istotnych problemów związanych z ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych i zapewnieniem globalnej dostępności energii. Nowe technologie, nakierowane na bardziej przyjazne środowisku użytkowanie węgla, mają jednocześnie ogromne znaczenie dla samego węgla i jego przyszłego rozwoju – prowadzą bowiem do wzrostu akceptowalności tego surowca.

Podstawowymi procesami użytkowania węgla są:

- spalanie (energia cieplna, energia elektryczna),
- odgazowanie (piroliza); otrzymuje się karbonizat (koks, półkoks), ciekłe produkty węglowodorowe (smoła, prasmoła, benzol, benzyna), gaz (koksowniczy, wytleny),

- zgazowanie (gaz opałowy, gazy syntetyczne, substytut gazu ziemnego SNG (*Synthetic Natural Gas*)),
- uwodornienie (paliwa płynne).

Analiza struktury światowego zużycia węgla kamiennego w wymienionych powyżej kierunkach użytkowania, wskazuje na dominację, bo aż 86% udział procesów spalania, 13% udział odgazowania i tylko około 1% udział procesu zagazowania (Karcz, Ściążko 2006). Uwodornienie węgla to kierunek, który może się rozwinąć w przyszłości.

Podstawowym kierunkiem rozwoju czystych technologii węglowych i rozwijającym się najwcześniej są procesy spalania. Pod pojęciem „technologie czystego węgla” należy rozumieć procesy i technologie prowadzące do zmniejszenia negatywnego wpływu węgla na etapach (Sablik, red., 2004):

- przed spalaniem (procesy wzbogacania węgla),
- w trakcie spalania (nowoczesne technologie spalania: spalanie pyłu węglowego, spalanie w złożu fluidalnym, spalanie w cyklu kombinowanym ze zgazowaniem, technologie nadkrytyczne i ultranadkrytyczne),
- po spalaniu (technologie redukcji emisji: odpylanie, odsiarczanie, ograniczenie emisji dwutlenku węgla).

Prace nad technologiami czystego węgla prowadzone są od wielu lat w USA (program *Clean Coal*), a ostatnio także w Unii Europejskiej. Tworzenie i implementacja zaawansowanych technologii węglowo-energetycznych i węglowo-chemicznych, a przede wszystkim wysokosprawnych, niskoemisyjnych i „czystych” technologii wykorzystania węgla, ukierunkowanych na maksymalne wykorzystanie energii chemicznej tego paliwa jest procesem żmudnym, wieloletnim i wymagającym zintegrowanego działania górnictwa, energetyki i chemii (Ściążko, Tramer 2005; Czaplicka-Kolarz, Pyka 2007). Wymaga to również realizacji wielu programów rozwojowych, kluczowych dla przyszłości roli węgla, wsparcia przez ośrodki decyzyjne, szerokiego współdziałania instytutów naukowych, uczelni i instytutów branżowych, wsparcia przez władze regionalne, jak również wsparcia przez koncerny naftowe i gazowe.

3.1. Spalanie

Więcej niż połowa pozyskanego węgla (kamiennego i brunatnego) przeznaczona jest do produkcji energii elektrycznej (węgla kamiennego około 34%).

W wielu krajach produkcja energii elektrycznej jest ściśle uzależniona od pozyskania węgla. Do takich krajów należą (dane za 2004 r.),% (WCI 2006): Polska – 97,4%, RPA – 92,2%, Chiny – 77,5%, Australia – 76,9%, Indie – 70,1%, Kazachstan – 69,9%, Czechy – 61,8%, Grecja – 60,4%, Dania – 55,1%, Niemcy – 52,2%.

Obecnie stosuje się (w większym lub mniejszym zakresie) kilka technologii energetycznego wykorzystania węgla, od najprostszych po technologicznie zaawansowane wysokosprawne technologie „czystego” spalania (Sablik, red., 2004):

- blok energetyczny kocioł – turbina na parametry podkrytyczne 17,0 MPa/540°C,

- blok energetyczny kocioł – turbina na parametry nadkrytyczne 24,6 MPa/565°C,
- blok energetyczny kocioł – turbina na parametry ultranadkrytyczne 31,6 MPa/595°C,
- atmosferyczny kocioł fluidalny ze złożem cyrkulacyjnym,
- blok gazowo-parowy PFBC (*Preasurized Fluidized Bed Combustion*), sprawność bloku 47%,
- blok gazowo-hybrydowy z reaktorem transportującym, sprawność bloku 49,7%.

Średnia światowa sprawność wytwarzania energii elektrycznej z węgla wynosi w elektrowniach około 32%, wobec maksymalnego poziomu 42–45% przy zastosowaniu najnowocześniejszych dostępnych na skalę przemysłową technologii. Zaawansowane czyste technologie umożliwiają osiągnięcie sprawności w granicach 50–55% (Benesch, Günther, Schiffer 2004). Szacuje się, że do 2030 roku ponad 72% elektrowni opalanych węglem na świecie będzie korzystać z zaawansowanych technologii o sprawności 49–50%.

Obecnie sprawność przepływowego spalania pyłu węglowego w dużych jednostkach wynosi 45%, z możliwością wzrostu do 48%. Technologia ta utrzyma się do 2020 roku.

Spalanie fluidyzacyjne jest stosowane bardziej do mniejszych jednostek spalających węgiel o dużej zawartości popiołu. Sprawność wynosi około 40%, z możliwością zwiększenia do 44%.

Typowa elektrownia ciepłna na węgiel kamienny o sprawności wytwarzania 35% emituje 843g CO₂ na 1 kW·h wytworzonej energii elektrycznej. Natomiast wprowadzenie nowoczesnego, zaawansowanego bloku na parametry nadkrytyczne ASC (*Advanced Supercritical*) o sprawności rzędu 46% powoduje emisję 720 g CO₂/kW·h, a więc redukcję emisji 23,6% w stosunku do bloku o sprawności 35% (Spalding 2005).

Na uwagę zasługują zintegrowane układy gazowo-parowe IGCC – (*Integrated Gasification Combined Cycle*), gdyż posiadają wysoką sprawność termodynamiczną przemiany węgla na energię elektryczną oraz charakteryzują się niską emisją zanieczyszczeń do środowiska. Sprawność energetyczna tej technologii przy wykorzystaniu węgla o niskiej jakości wynosi około 45%, natomiast przy węglach o wysokiej jakości sprawność może osiągać poziom nawet 50%.

Trzeba podkreślić, że w ramach rozwoju zeroemisyjnych elektrowni węglowych występuje szeroki program implementacji technologii IGCC. Jednak poważnym ograniczeniem jej rozwoju są znaczne koszty usuwania CO₂ z produktów zgazowania, jeśli proces jest prowadzony w strumieniu powietrza. Jeżeli do zgazowania węgla wykorzystuje się czysty tlen, to w procesach *OXY-fuels* problem separacji CO₂ nie występuje, gdyż końcowym produktem procesu jest czysty CO₂.

3.2. Odgazowanie

Drugim kierunkiem, jeśli chodzi o praktyczne użytkowania węgla, jest proces odgazowania (karbonizacji), który prowadzony jest w wysokich temperaturach i bez dostępu tlenu. Jeśli proces odgazowania przeprowadzany jest w temperaturach 500–700°C, to wówczas nosi nazwę wylewania, a otrzymany karobinizat – półkoks, natomiast

przewodzony w temperaturze około 1000°C nosi nazwę koksowania, a otrzymany karbinizat to koks.

Karbonizaty te wykorzystywane są przede wszystkim w hutnictwie, gdzie pełnią rolę reduktorów, nawęglaczy i paliwa. Natomiast powstające w procesie odgazowania produkty uboczne: gaz i produkty płynne wykorzystywane są jako paliwo lub jako surowiec chemiczny.

Technologie odgazowania węgla nie zmieniają się generalnie. W nowych bateriach koksowniczych kładzie się nacisk na zastosowanie zabezpieczeń przed emisją szkodliwych substancji do atmosfery. Rozwija się również baterie, gdzie powstający gaz koksowniczy nie jest poddawany przeróbce chemicznej, ale staje się paliwem do produkcji energii elektrycznej i ciepła (Karcz 2007).

3.3. Zgazowanie

Podstawą zaawansowanych technologii wykorzystania węgla jest zgazowanie, które obecnie jest stosowane w chemii, natomiast na skalę demonstracyjną w energetyce. Aktualnie dąży się do maksymalizacji ogólnej sprawności przetwarzania energii pierwotnej, dlatego też te dwa kierunki są często integrowane, tak że obok energii elektrycznej wytwarzane są również produkty chemiczne, głównie paliwa płynne, metanol i wodór.

— Zgazowanie charakteryzuje się szeregiem przemian termicznych i chemicznych, które zachodzą w podwyższonej temperaturze pomiędzy substancją organiczną węgla i czynnikami zgazowującymi, którymi najczęściej są tlen i para wodna. Zgazowanie przeprowadza się w reaktorach zgazowujących, które można podzielić na trzy (Dubiński i in. 2007; Pawłaszek, Ściążko 2007, 2007a; Chmielniak, Ściążko 2007) grupy:

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

Zgazowanie w reaktorze dyspersyjnym polega na podawaniu drobno zmielonego węgla poniżej 0,2 mm (w stanie suchym lub jako zawiesinę węglowo-wodną) w mieszaninie z tlenem i parą wodną do reaktora pracującego w temperaturach 1200–1600°C i pod ciśnieniem 2–8 MPa. Krótki czas przebywania materiału w układzie reakcyjnym umożliwia osiągnięcie dużych wydajności oraz zapewnienie wysokiego stopnia konwersji węgla (wysoka temperatura), jak również brak zanieczyszczeń smolistych w wytwarzanym gazie. Przykładem mogą być obecnie stosowane technologie: Shell, GE-Texaco, E-Gas (Destec Dow), Prenflo, GSP.

Zgazowanie w złożu fluidalnym, które może być tworzone przez karbonizat, sorbent, czy popiół, polega na podawaniu węgla o uziarnieniu 0,5–5,0 mm do strumienia czynnika zgazowującego. Odpowiednio dobrana prędkość przepływu gazu umożliwia fluidyzację złoża. Czas przebywania paliwa w reaktorze wynosi od 10 do 100 sekund w temperaturach poniżej mięknięcia popiołu, a więc 850–1050°C. Fluidyzacja zapewnia doskonały kontakt

fazy stałej i gazowej, ale zbyt niskie temperatury zgazowania są powodem niskiego stopnia konwersji pierwiastka C i tym samym niskiej sprawności.

Przykładem mogą być generatory Winklera (*HTW – High Temperature Winkler*), U – gas, KRW (*Kellogg Rust and Westinhouse*).

Zgazowanie ze złożem stałym jest najprostszą technologią zgazowania węgla o uziarnieniu 5–80 mm. Czas przebywania paliwa w złożu jest stosunkowo długi i wynosi od 15 do 60 minut dla reaktorów tlenowych ciśnieniowych (ciśnienie 3,5 MPa), natomiast dla niskociśnieniowych powietrznych – kilka godzin. Czynniki zgazowujące podaje się w przeciwnym kierunku. Niskie temperatury w górnej części reaktora nie powodują rozkładu między innymi smół, fenoli czy niskowrzących węglowodorów otrzymanych w strefie pirolizy i substancje te są transportowane z gazem opuszczającym reaktor. Przykładem może być technologia Lurgi z suchym odbiorem popiołu, względnie BGL (*British Gas Lurgi*).

Obecnie w energetyce wykorzystywane są następujące technologie zgazowania:

- technologia SHELL; zastosowanie: El. Buggenum (Holandia) – 252 MW, sprawność bloku 43%
- technologia TEXACO; zastosowanie: El. Tampa Electric (USA) – 250 MW, sprawność systemu około 40%
- technologia PRENFLO; zastosowanie: El. Puertollano (Hiszpania) – 300 MW, sprawność bloku 47%
- technologia KRW; zastosowanie El. Pinon Pine (USA) – 100 MW, sprawność bloku 44%.
- technologia DESTEC; zastosowanie: El. Wabash River (Indiana USA) – 252 MW, sprawność bloku 43%
- technologia DESTEC 2010 „H”, moc 430 MW, sprawność bloku netto 49,0%.

Badania podziemnego zgazowania węgla mają długą, kilkudziesięcioletnią historię i były przeprowadzone przez Wielką Brytanię, były ZSRR, USA, Hiszpanię, Chiny, Indie i Australię (Bednarczyk 2007).

Obecnie zgazowanie węgla skoncentrowano na pokładach, które nie spełniają warunków geologiczno-górnicych do udostępniania ich za pomocą technologii odkrywkowej lub głębinowej oraz na złożach zamkniętych kopalń, które nie są rentowne albo ich eksploatacja jest nieopłacalna (Dubieński, Rogut i in. 2007; Stańczyk, Kapusta 2007).

Podziemne zgazowanie związane może być z przeszkodami wynikającymi ze zmiennych warunków geologicznych i hydrogeologicznych, które mogą powodować, że czynniki zgazowujące i gaz mogą przenikać przez skały w niepożądanym kierunku.

Konwersja węgla w złożu wymagać będzie zastosowania do warunków górniczych narzędzi inżynierii chemicznej i procesowej. Ponadto muszą być rozwiązane problemy z zakresu: gospodarki podziemnymi zasobami wody i jej przepływami, materiałów przeznaczonych do pracy w ekstremalnych warunkach (temperatura, ciśnienie, środowisko), systemów kontroli prowadzenia procesu.

3.4. Uwodornienie

Główną cechą procesu uwodornienia jest działanie na węgiel rozpuszczalnikiem w odpowiednich warunkach wysokiego ciśnienia, podwyższonej temperatury i następnie przeprowadzenie hydrokrakingu w obecności wodoru i katalizatora. Produkty pierwotne są następnie poddawane dalszemu procesowi obróbki w celu otrzymania paliw silnikowych. Występuje wiele wariantów technologicznych tego procesu. Obecnie w pracach nad technologiami uwodornienia zwraca się szczególną uwagę na wzrost efektywności i usuwanie CO₂ z gazów procesowych (emisja CO₂ w przeliczeniu na jednostkę masy paliwa ciekłego jest wyższa niż w ropie naftowej).

Obecnie stosowane są następujące technologie syntezy ciekłych produktów przetwórstwa węgla:

- technologia Fischer-Tropscha; sprawność zgazowania około 80%, zastosowanie: SASOL (RPA) – generatory typu Lurgi, reaktory syntezy Arge i Kellog,
- technologia LPMEON + IGCC; otrzymuje się energię elektryczną i metanol,
- technologia MOBIL; otrzymuje się: benzynę, SNG, olefiny i olej opałowy.

Interesującym rozwiązaniem jest wykorzystanie ciepła wytwarzanego w wysokotemperaturowym reaktorze jądrowym HTR (*High Temperature Reactors*) do produkcji wodoru i tlenu w procesie elektrolizy lub termolizy wody. Wytworzony wodór wykorzystywany byłby w syntezach chemicznych bądź do napędu środków transportu, a tlen – w energetyce węglowej (Tajduś, Dubiński, Rogut 2007; Taczanowski 2007).

4. Unia Europejska a węgiel

Unia Europejska na początku 2007 roku ogłosiła zbiór dokumentów określonych jako pakiet energetyczny (*The Energy Package*), który określa cele strategiczne, jakie zamierza Unia osiągnąć do 2020 roku.

Działania te dotyczą (w odniesieniu do 1990 r.) (Komisja... Pakiet 2007; Diercks 2007):

- ograniczenia emisji CO₂ o co najmniej 20%,
- zwiększenia udziału energii odnawialnej do 20% w bilansie energii pierwotnej,
- zwiększenie efektywności wykorzystania (a tym samym i zmniejszenia zużycia) energii pierwotnej o 20%.

W świetle tak sformułowanych wizji Unia Europejska staje przed zadaniem odpowiedniego kształtowania polityki unijnej, co będzie stwarzać istotne wyzwania krajom członkowskim w zakresie kształtowania swoich narodowych polityk w odniesieniu do sektora zaopatrzenia w energię.

W przedstawionym pakiecie energetycznym uznano znaczenie węgla jako głównego paliwa kopalnego wykorzystywanego do produkcji energii elektrycznej. Podkreślono przy tym, że rola węgla w zapewnieniu bezpieczeństwa dostaw energii może być znacząca, jeżeli zastosuje się technologie, które zdecydowanie obniżą emisję dwutlenku węgla (Komisja... Zrównowazona 2007).

W dokumencie tym (Komisja... Zrównoważona 2007) wprowadzono pojęcie zrównoważonych technologii węglowych, które uwzględniają koncepcję wychwytywania i składowania CO₂ (CCS – *Carbon Capture and Storage*).

Jednym z priorytetów Parlamentu Europejskiego w 7 Programie Ramowym UE jest idea *Near Zero Emission Power Generation*, czyli wytwarzanie energii przy prawie zerowej emisji gazów spalinowych do atmosfery.

Program CCS uzyskał również mocne wsparcie poprzez utworzenie Europejskiej Platformy Technologicznej Zeroemisyjnego Wytwarzania Energii z Paliw Kopalnych (ETP ZEP – *European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plant*). Platformę tworzą: Vattenfall, Shell, BP, EON, ENEL, Gas de France, RWE, Alstom, Foster-Wheeler, GIG (Tajduś, Dubiński, Rogut 2007).

Technologie zeroemisyjne mają na celu wydzielenie z gazów spalinowych CO₂ i jego składowanie w głębokich formacjach geologicznych: ropo-gazo- i wodonośnych (Tarkowski, red., 2005; Tarkowski 2005) lub nasyconych metanem, nieekonomicznych dla klasycznej eksploatacji górniczej, głębokich pokładach węglowych – projekt RECOPOL (Krzysztołik, Skiba, Jura 2005).

Z innych działań należy wymienić badania prowadzone w tym zakresie przez:

- ZECA (*Zero Emission Coal to Hydrogen Alliance*) – Sojusz na rzecz zerowej emisji węgla na wodór,
- amerykańskie prognozy VISION ZI, FutureGen,
- *Carbon Sequestration Leadership Forum* – Forum w którym uczestniczy 13 państw oraz kraje Unii Europejskiej,
- *IEA Clean Coal Centre* – Centrum Czystego Węgla Międzynarodowej Agencji Energii,
- Innowacyjny Śląski Klaster Czystych Technologii Węglowych w którym uczestniczy 15 partnerów.

Podsumowanie

1. Światowe zasoby węgla są bardzo duże i wystarczą na kilkaset lat, przy czym zasoby zlokalizowane są w wielu miejscach w różnych regionach świata, w przeciwieństwie do zasobów węglowodorów ciekłych i gazowych.
2. Konieczne jest podjęcie szerokich działań zmierzających do tego, ażeby węgiel uzyskał akceptowalność społeczną jako paliwo przyjazne dla środowiska przyrodniczego. Wymagać to będzie wielu działań w zakresie poprawy jakości produktów wzbogacania węgla, sprawności przetwarzania węgla w energię finalną, jak również wprowadzenia nowoczesnych technologii ograniczających zdecydowanie emisję pyłów i gazów cieplarnianych.
3. Polska posiada duże zasoby węgla kamiennego, który stanowi główne źródło energii pierwotnej w krajowym bilansie paliwowo-energetycznym. Polska powinna wykorzystywać

ten nośnik energii bardziej racjonalnie i efektywnie. W związku z tym w perspektywie najbliższych kilkunastu lat należy stworzyć warunki polityczne, ekonomiczne i techniczne do szerokiej implementacji czystych technologii węglowych.

4. Węgiel stanowi bazę surowcową do produkcji: czystej energii, wodoru, substytutu gazu ziemnego i syntetycznych paliw ciekłych. Niezbędne jest opracowanie i wdrożenie do polskich warunków górnictwa węglowego nowych i niekonwencjonalnych technologii górniczych, jak również podejmowanie integracji klasycznych procesów wydobywania z procesami energetycznymi lub chemicznym wykorzystaniem węgla. Żadna z tych technologii, wobec trudnych do przewidzenia procesów, nie może być dyskryminowana.
5. Należy przeprowadzić weryfikację koncepcji naziemnego i podziemnego zgazowania węgla, w celu umożliwienia konwersji węgla do czystych surowców energetycznych i chemicznych. Wiąże się z tym opracowanie programu i technik górniczych do wykorzystania w technologiach wychwytywania i składowania dwutlenku węgla.
6. Należy rozwijać nowe kierunki z zakresu nauki i praktyki górniczej obejmujące takie dziedziny jak: inżynieria chemiczna i procesowa, inżynieria materiałowa czy nanotechnologia.

LITERATURA

- Bednarczyk J., 2007 – Rozwój technologii podziemnego zgazowania węgla i perspektywy jej przemysłowego wdrożenia. *Górnictwo i Geoinżynieria* r. 31, z. 2, s. 87–104.
- Benesch W., Günther E.C., Schiffer H.W., 2004 – Coal based Power Plant Technology: A Competitive and Efficient Bridge to a Bequinn Future. Sustainable Global Energy Development: The Case of Coal. Part I: Global Analysis. Chapter 4. WEC, Londyn.
- Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce według stanu na 31.12. 2005 r. Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2006.
- Borkowski Z., 2004 – Coal Production and Profitability: The Promise of Restructuring, Integration and Consolidation. Sustainable Global Energy Development: The Case of Coal. Part I: Global Analysis. Chapter 2. WEC, Londyn.
- BP 2007 – BP Statistical Review of World Energy, June.
- Brendow K., 2004 – Global and Regional Coal Demand Perspectives to 2030 and Beyond Sustainable Global Energy Development: The Case of Coal. Part I: Global Analysis. Chapter 6. WEC, Londyn.
- Brendow K., 2005 – Zrównoważone wydobywanie i wykorzystanie węgla: perspektywy do 2030. Materiały Międzynarodowej Konferencji: Polityka i strategia zrównoważonego rozwoju energetyki krajów Europy Środkowo-Wschodniej do 2030. Polski Komitet Światowej Rady Energetycznej, Instytut Energetyki – Centrum Doskonałości CENERG, Izba Gospodarcza Energetyki i Ochrony Środowiska. Warszawa, 22–23 listopada 2005.
- Chmielniak T. J., 2007 – Energetyka oparta na węglu – konieczność czy strategia? *Karbo* nr 2, s. 77–80.
- Chmielniak T., Ściążko M., 2007 – Technologie zgazowania węgla. *Karbo*, nr 2, s. 93–97.
- Czaplicka-Kolarz K., Pyka I., 2007 – Koncepcje organizacyjne promocji czystych technologii węglowych. *Karbo* nr 2, s. 85–92.
- Diercks T., 2007 – Coal in Current European Union Policies – the Energy Package of January 2007. *Górnictwo i Geoinżynieria* r. 31, z. 2, s. 221–227.

- Dubiński J., Czaplicka K., Stańczyk K., Świądrowski J., 2007 – Produkcja paliw ciekłych i gazowych z węgla – szanse i perspektywy. Materiały Konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2007, Sympozja i Konferencje nr 69, Wyd. IGSMiE PAN, s. 1–8.
- Dubiński J., Rogut J., Czaplicka K., Tokarz A., 2007 – Coal Mine of 21st Century: In-situ producer of energy, fuels and chemicals. International Mining Forum “New Technological Solutions in Underground Mining”. Ed. Taylor & Francis Group. Londyn, 1–13.
- Dubiński J., Turek M., Wachowicz J., 2005 – Szanse i możliwości węgla kamiennego – wybrane problemy badawcze. Przegląd Górniczy nr 9, s. 3–11.
- Gawlik L., 2005 – Zaopatrzenie Europy w paliwa pierwotne. Polityka Energetyczna t. 8, z. 2, s. 5–25.
- Gawlik L., Grudziński Z., 2007 – Zasoby węgla brunatnego w Polsce. Karbo nr 2, s. 73–76.
- Gawlik L., Soliński J., 2004 – Zrównoważony globalny rozwój energetyczny – przypadek węgla. Polityka Energetyczna t. 7, z. 2, s. 5–27.
- IEA 2002 – World Energy Outlook 2002. Paryż.
- IEA 2004 – World Energy Outlook 2004. Paryż.
- IEA 2006 – Key World Energy Statistics 2006.
- IEA 2007 – Coal Information 2007
- Janssens L., Cosack C., 2004 – Forging Internationally Consistent Energy and Coal Policies. Sustainable Global Energy Development: The Case of Coal. Part I: Global Analysis. Chapter 5. WEC, Londyn.
- Karbownik A., 2007 – Zasoby węgla kamiennego w Polsce. Karbo nr 2, s. 71–72.
- Karcz A., 2007 – Koksownictwo – przemysł z perspektywą? Karbo nr 2, s. 81–84.
- Karcz A., Ściążko M., 2006 – Energochemiczne przetwórstwo węgla – szansa dla górnictwa węglowego. Materiały Konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2007, Sympozja i Konferencje nr 69, Wyd. IGSMiE PAN, s. 67–76.
- Klank M., 2005 – Kompania Węglowa SA – perspektywiczny, szanse, zagrożenia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1697, Górnictwo nr 269, s. 59–84.
- Komisja... Pakiet, 2007 – Komisja Wspólnot Europejskich: Pakiet Energetyczny, The Energy Package. Bruksela, 10.01.2007: www.ec.europa.eu/energy/energy-policy.
- Komisja... Zrównoważona, 2007 – Komisja Wspólnot Europejskich: Zrównoważona produkcja energii z paliw kopalnych: cel – niemal zerowa emisja ze spalania węgla po 2020 r. KOM (2006). Bruksela, 10.01.2007.
- Krzysztofik P., Skiba J., Jura B., 2005 – Monitoring of the parameters during sequestration of CO₂ to the coal seams in the RECOPOL projekt (Upper Silesian Coal Basin, Poland) Proceedings of the 21st World Mining Congress (ICAMC session). Teheran, 2005, p. 955–962.
- Mokrzycki E., 2006 – Perspektywy wykorzystania węgla kamiennego. Górnictwo i Geoinżynieria r. 30, z. 3/1, s. 247–265.
- Ney R., 2004 – Efektywność wykorzystania energii ważnym zadaniem polityki energetycznej. Polityka Energetyczna t. 8, z. spec., s. 11–24.
- Pawłaszek G., Ściążko M., 2007 – Koncepcja produkcji paliw płynnych na bazie węgla Kompani Węglowej SA. Materiały Konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2007, Sympozja i Konferencje nr 69, Wyd. IGSMiE PAN, s. 9–20.
- Probierz K., Gabzdyl W., Borówka B., 2005 – Zasoby węgla kamiennego Górniośląskiego Zagłębia Węglowego w latach 1989–2003. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1697, Górnictwo nr 269, s. 13–32.
- Sablik J., red., 2004 – Model ekologicznego i ekonomicznego prognozowania wydobycia i użytkowania czystego węgla. Tom 1: Bazy i prognozy gospodarki surowcami energetycznymi oraz strategię i kierunki rozwoju sektora paliwowo – energetycznego. Tom 2: Efektywność technologii czystego spalania węgla. Praca zbiorowa. Główny Instytut Górnictwa. Katowice.
- Soliński J., 2004 – Coal Statistics. Sustainable Global Energy Development. The Case of Coal. Part II. WEC, Londyn.
- Spalding D., 2005 – Węgiel, nowe paliwo ekologiczne? Elektroenergetyka nr 4, s. 32–40.
- Stańczyk K., Kapusta K., 2007 – Podziemne zgazowanie węgla. Karbo nr 2, s. 98–102.
- Ściążko M., 2007 – Prognoza rozwoju sytuacji energetycznej świata. Karbo nr 2, s. 67–70.

- Ściążko M., 2007a – Współczesne i przyszłościowe technologie energetyczne. Przegląd Energetyczny nr 1.
- Ściążko M., Tramer A., 2005 – Zintegrowana karbo-energo-chemia. Polityka Energetyczna t. 8. z. specjalny, s. 149–165.
- Taczanowski S., 2007 – Symbioza węgla z energią jądrową. Jkarbo nr 2, s. 116–119.
- Tajduś A., Dubiński J., Rogut J., 2007 – Górnictwo węglowe jako siła napędowa rozwoju zaawansowanych technologii XXI wieku. Górnictwo i Geoinżynieria r, 31, z. 2, s. 603–616.
- Tarkowski R., 2005 – Geologiczna sekwestracja CO₂. Studia Rozprawy Monografie nr 132, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Tarkowski R., red., 2005 – Podziemne składowanie CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych. Praca zbiorowa (Autorzy: A. Nodzeński, T. Solecki, J. Stopa, R. Tarkowski, B. Uliasz-Misiak). Wyd. IGSMiE PAN, Kraków
- WCI 2006 – World Coal Institute. Coal Facts, 2006 Edition with 2005 Data.
- WEC 2000 – Energy for Tomorrow's World – Acting Now! WEC, Londyn.
- WETO 2003 – World Energy, Technology and Climate Change. Outlook 2030. Komisja Europejska. Dyrekcja Generalna Badań Naukowych, EUR 20366. Bruksela.

LIDIA GAWLIK, EUGENIUSZ MOKRZYCKI, ROMAN NEY

POSSIBILITIES OF ACCEPTABILITY IMPROVEMENT OF COAL AS AND ENERGY CARRIER

Key words

Coal, energy security, sustainable development, clean coal technologies

Abstract

The role of hard coal in fulfilling energy needs of the world is presented in the paper. It is stated that due to a huge reserves and their relatively equal dispersion around the world coal can continue to be an important source of energy, especially in developing countries. Existing availability and accessibility foster development of coal use. The lack of acceptability, in the meaning that coal is a resource the use of which causes damage to environment, poses the main obstacle for the wider coal use. The paper presents the development of clean coal technologies. The development of clean technologies of coal burning as well as development of modern technologies of coal utilization as a chemical mineral gives a chance for the most effective use of energy from coal without burdening the environment. The paper discusses also the aims of the European Union concerning the securing of energy supply and mentions the projects that are targeted to zero – emission use of coal.