

Zbigniew Kasztelewicz\*, Krzysztof Polak\*, Maciej Zajączkowski\*

## MOŻLIWOŚCI WDRAŻANIA CZYSTYCH TECHNOLOGII WĘGLOWYCH W BRANŻY WĘGLA BRUNATNEGO W POLSCE

---

### 1. Czyste technologie węglowe

Obecnie trwające prace nad ostatecznym kształtem pakietu energetyczno-klimatycznego UE, a raczej sposobem jego wdrażania w poszczególnych państwach członkowskich, pokazują jak wielki wpływ będzie on miał na gospodarki tych państw. Zasadnicze cele tego pakietu odnoszące się do 20% redukcji emisji CO<sub>2</sub> i takiej samej skali wzrostu efektywności energetycznej oraz udziału energii ze źródeł odnawialnych już do roku 2020 będą wyznaczały kierunek i kształt modernizacji polskiego sektora energetycznego. Niewątpliwie jest to szansa jak i wyzwanie na wdrożenie na wielką skalę czystych technologii węglowych.

Przez czyste technologie węglowe (*clean coal technologies*) należy rozumieć technologie zaprojektowane w celu poprawy efektywności wydobywania, przeróbki, przetwarzania oraz wykorzystania węgla (zarówno kamiennego jak i brunatnego) w celu zwiększenia akceptowalności tych procesów z uwagi na ich wpływ na środowisko naturalne.

Można wyróżnić cztery główne podobszary, z którymi wiążą się czyste technologie węglowe:

- wydobywanie węgla i jego przeróbka (tzw. mechaniczna przeróbka węgla),
- transport, składowanie węgla i uśrednianie węgla,
- wykorzystanie węgla (w energetyce oraz przetwórstwo węgla),
- zagospodarowanie „pozostałości” z wydobywania i wykorzystania węgla, czyli różnego rodzaju odpadów.

Generalnie należy stwierdzić, że pojęcie to można użyć do wszelkich działań zmniejszających uciążliwość ekologiczną produkcji i wykorzystanie węgla.

---

\* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

## 2. Przegląd dostępnych i perspektywicznych technologii węglowych

Polska, podobnie jak wiele krajów europejskich wykorzystuje swoje rodzime zasoby węgla brunatnego do produkcji energii elektrycznej. Energia ta jest w obecnych uwarunkowaniach najbardziej konkurencyjna w porównaniu do energii z innych surowców energetycznych. Jednak połączenie emisyjności spalania węgla brunatnego z polityką ograniczania tej emisji poprzez handel emisjami CO<sub>2</sub> będzie wyraźnie zwiększało koszty produkcji energii elektrycznej z węgla brunatnego. Dlatego też konieczne będzie w najbliższych latach wdrożenie technologii opisanych w poniższych podpunktach. Zasadniczo można je podzielić na trzy grupy:

- technologie zwiększające efektywność produkcji energii elektrycznej z węgla brunatnego,
- technologie wychwytywania i składowania CO<sub>2</sub>,
- technologie wykorzystania węgla brunatnego do produkcji paliw płynnych i gazowych.

### 2.1. Technologie zwiększające efektywność produkcji energii elektrycznej z węgla brunatnego

Koncepcja wzrostu efektywności produkcji energii elektrycznej znajduje powszechne uznanie i akceptację, gdyż dąży do oszczędności paliwa, a jednocześnie opiera się na wykorzystaniu i doskonaleniu znanych i dojrzałych technologii energetycznych. Zwiększenie tej efektywności w elektrowniach o niskiej sprawności może doprowadzić do dużych oszczędności w zużyciu węgla brunatnego, a co za tym idzie do znacznej redukcji emisji dwutlenku węgla.

#### Wzrost sprawności bloków energetycznych poprzez suszenie węgla brunatnego

Do ważnych udoskonaleń, które można wprowadzić w elektrowniach należy zaliczyć zwiększone rozdrobnienie i suszenie węgla brunatnego. Dzięki zastosowaniu tego procesu będzie możliwe zwiększenie sprawności netto produkcji energii elektrycznej w elektrowniach od 4 do 6% [7].

Technologia ta polega na kruszeniu węgla brunatnego przez młyny bijakowe, a następnie na dostarczeniu rozdrobnionego węgla do komory suszenia. Odparowanie wody następuje w 110°C pod niewielkim nadciśnieniem za pomocą zanurzonej w wirującej warstwie węgla rurowego wymiennika ciepła. Czas przebywania węgla w komorze wynosi od 60 do 90 minut. Wychodzące opary porywają suszony pył węglowy, który jest zatrzymywany przez filtr. Pył ten jest podawany do kotła. Sprężarka wtłacza opary z powrotem do komory suszenia. Ustawione dysze w suszarce nadają ruch wirowy suszonej warstwie węgla brunatnego [4].

Instalacja pilotowa WTA (*Wirbelschicht Trocknung Anlage*) do głębszego fluidalnego suszenia węgla jest sprawdzana w elektrowni Frechen oraz o większej wydajności w elektrowni Niederaussem. Dotychczas węgiel surowy jest podsuszany do 18÷20% wilgotności i rozdrabniany do 0÷2 mm. Udoskonalona instalacja WTA-2 pozwoli na osuszenie węgla do 8÷12% w zależności od zawartości wilgoci we wprowadzanym węglu przy granulacji 0÷1 mm. Zakończenie badań instalacji osuszania WTA-2 przewidziano na rok 2009.

### **Wzrost sprawności bloków energetycznych poprzez nadkrytyczne parametry pary**

Zwiększenie średniej sprawności wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej może być osiągnięte poprzez wprowadzenie do praktyki przemysłowej nowoczesnych rozwiązań takich jak:

- upowszechnienie bloków pracujących przy parametrach nadkrytycznych (27÷29 MPa/570÷580°C) pozwalających na uzyskanie sprawności 44÷46%;
- zastosowanie bloków pracujących przy ultra-nadkrytycznych parametrach pary (35 MPa/720°C). Są to układy, nad którymi prowadzone są obecnie prace badawcze i projekty demonstracyjne, a celem tych prac jest doprowadzenie do rozwiązania, w którym energię elektryczną będzie się wytwarzało ze sprawnością osiagającą 55%.

Jednym ze stałych trendów w konstrukcji elektrowni węglowych jest podnoszenie parametrów pary świeżej [4]. Obecnie wszystkie nowe bloki energetyczne w Polsce (Belchatów II — 858 MW i Pątnów II — 464 MW) budowane są na ponadkrytyczne ciśnienie pary świeżej. Obserwuje się także stałe dążenie do zwiększania temperatury pary świeżej przy zastosowaniu materiałów akceptowalnych ekonomicznie. W niemieckich elektrowniach należących do RWE Power wdraża się technologię BoA 2&3. RWE przewiduje uruchomienie w 2010 bloku BoA o mocy 1 100 MW w elektrowni Neurath i w następnych latach drugiego takiego bloku [1].

Także w Niemczech prowadzony jest obecnie projekt, w ramach którego testuje się obieg o temperaturze pary 700°C (w obecnie stosowanych obiegach temperatura pary jest zazwyczaj niższa niż 600°C). Powinien on osiągnąć sprawność przekraczającą 50%.

### **Wytwarzanie energii elektrycznej w technologii spalania węgla brunatnego w tlenie**

Kolejnym z ważnych kierunków rozwoju energetyki węglowej jest spalanie w czystym tlenie. W spalinach ze spalania węgla w powietrzu azot stanowi około 80%, podczas gdy spalanie w tlenie daje spaliny złożone niemal wyłącznie z dwutlenku węgla i pary wodnej. Taki stan rzeczy znacznie ułatwia składowanie CO<sub>2</sub>. Niemniej jednak, spalanie w czystym tlenie jest procesem bardzo gwałtownym a dodatkowo tlen jest przyczyną szybkiej korozji wszystkich urządzeń. Z tego względu tlen, otrzymany z powietrza, miesza się ze spalinami pochodzącymi ze spalania, dzięki czemu otrzymuje się mieszaninę niezawierającą azotu, ale o stosunkowo niskiej zawartości tlenu. Umożliwia to znaczne zmniejszenie gabarytów siłowni i uniknięcie konieczności wydzielenia dwutlenku węgla ze strumienia spalin [4].

Vattenfall A.G. zakończył w 2008 roku budowę pilotowej instalacji o mocy 30 MW wytwarzającej energię elektryczną ze spalania w tlenie węgla brunatnego z jednoczesnym wychwytywaniem CO<sub>2</sub> w niemieckiej elektrowni Schwarze Pumpe. W planach tego koncernu jest budowa elektrowni przemysłowej o mocy 1 000 MW z uruchomieniem jej przed 2020 rokiem z lokowaniem CO<sub>2</sub> w głębokich strukturach geologicznych [1].

## **Wytwarzanie energii elektrycznej w technologii IGCC**

Bardzo obiecującą technologią jest także wytwarzanie energii elektrycznej w układach gazowo-parowych, zintegrowanych ze zgazowaniem węgla (IGCC). W technologii tej węgiel poddawany jest procesowi zgazowania, a uzyskany w ten sposób gaz palny, po oczyszczeniu, spalany jest w układzie gazowo-parowym. Do podstawowych zalet tej instalacji należy potencjalnie wysoka sprawność (ocenia się, że może ona osiągnąć nawet 60%) oraz możliwość poligeneracji. Według danych General Electric technologia ta wraz z wychwytywaniem i składowaniem CO<sub>2</sub> może być bardziej konkurencyjna niż elektrownie na parametry nadkrytyczne także z technologią CCS.

Duże doświadczenie w opracowywaniu tej technologii ma RWE Power. Aktualnie opracowywany jest projekt elektrowni z technologią IGCC zasilanej węglem brunatnym o mocy 450 MW, w której wykorzystane zostaną doświadczenia z instalacji doświadczalnej. Zakłada się, że elektrownia bez eliminacji CO<sub>2</sub> osiągnie sprawność 52%, z usuwaniem CO<sub>2</sub> i jego składowaniem 40%. Uruchomiona ma zostać w 2014 roku [4].

### **2.2. Technologie wychwytywania i składowania CO<sub>2</sub>**

Niewątpliwie technologia wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CCS) jest jedną z najbardziej obiecujących technologii skupiających się na redukcji emisji CO<sub>2</sub> powstającego podczas wytwarzania energii z węgla brunatnego.

Polega ona m.in. na wychwytywaniu CO<sub>2</sub> powstającego podczas spalania węgla brunatnego, transportowaniu go do miejsca składowania, a następnie wtłaczaniu go pod ziemię do odpowiednich formacji geologicznych, aby odizolować go od atmosfery. Odpowiednie do tego celu formacje mogą obejmować miejsca po wyczerpanych złożach ropy czy gazu (np. pod dnem Morza Bałtyckiego) oraz głębokie warstwy wodonośne.

Mimo że pojedyncze ogniwa łańcucha technologii CCS — wychwytywanie, transport i składowanie CO<sub>2</sub> — są dobrze poznane i już wdrażane, wyzwaniem stanowi połączenie tych elementów w całkowicie zintegrowaną i ogólnie dostępną technologię. W tym celu prowadzone są prace nad rozwinięciem technologii CCS, by móc zastosować je w sektorze energetycznym. Celem UE jest uruchomienie około 12 pełnowymiarowych elektrowni doświadczalnych CCS do 2015 roku, a także doprowadzenie do tego, by do 2020 roku technologia ta stała się opłacalna na skalę przemysłową. Najprawdopodobniej instalacja CCS, jako pierwsza w Polsce, zostanie zbudowana w elektrowni Bełchatów.

Obecnie uruchomiona pilotażowa instalacja o mocy 30 MW w niemieckiej elektrowni Schwarze Pumpe jest wyposażona w technologię CCS. Wychwycony dwutlenek węgla transportowany jest cysternami do oddalonych o 250 km wyeksploatowanych złóż gazu ziemnego „Altmark”.

### **2.3. Technologie wykorzystania węgla brunatnego do produkcji paliw płynnych i gazowych**

Niewątpliwie węgiel brunatny może być wykorzystywany nie tylko do produkcji energii elektrycznej, ale także do produkcji różnych związków chemicznych, a w tym do produk-

cji paliw płynnych i gazowych. Kierunek utylizacji tego surowca będą wyznaczać w przyszłości z pewnością warunki ekonomiczne.

Zgazowanie jest procesem chemicznym zmiany paliwa stałego lub ciekłego w palny gaz, który może być wykorzystany do produkcji energii cieplnej lub elektrycznej albo stanowić surowiec do produktów chemicznych takich jak wodór, metanol czy gaz syntetyczny. Przeprowadzone badania w ramach programu foresight realizowanego przez Poltegor-Institut wykazały opłacalność ekonomiczną tego procesu [2].

Technologie zgazowania węgla można podzielić na technologie naziemnego zgazowania, podziemnego zgazowania oraz biogazyfikacji.

### **Naziemne zgazowanie węgla brunatnego**

Technologie naziemnego zgazowania węgla brunatnego nie różnią się zasadniczo od technologii stosowanych dla zgazowania innych surowców. Polegają one na zgazowaniu węgla brunatnego wydobytego metodą odkrywkową w instalacji napowierzchniowej [6].

Analizując polskie węgle brunatne (w przeważającej części węgle miękkie), jak również rozwijane obecnie technologie zgazowania największe szanse w rozwoju tej technologii należy upatrywać w instalacjach wykorzystujących reaktory dyspersyjne (*entrained bed*). Przeprowadzone analizy [3] umożliwiły wskazanie najbardziej optymalnej technologii zgazowania polskich węgla brunatnych, którymi wydają się być układy zgazowania w reaktorach przepływowych z suchym dozowaniem paliwa. Właśnie taka instalacja została zaproponowana do wykorzystania legnickich złóż węgla brunatnego, gdzie przewiduje się poddanie temu procesowi ok. 7 mln Mg rocznie tego surowca.

Obecnie na świecie pracuje pięć instalacji naziemnego zgazowania węgla brunatnego. Największe instalacje znajdują się w USA (Dakota Gasification), oraz w Republice Czeskiej (Sokolovska Uhelna) [1].

### **Podziemne zgazowanie węgla brunatnego**

Podziemne zagazowanie węgla, polega na zmianie fazy stałej do gazowej bezpośrednio w złożu. Gaz produkowany jest poprzez wtłaczanie mediów, którymi mogą być powietrze, tlen lub para wodna. Zgazowanie odbywa się w zespołach wyrobisk stanowiących generator gazu składającego się z otworu iniekcyjnego i otworu wydobywczego. Wyrobiskami mogą być otwory pionowe lub kierunkowe oraz tradycyjne wyrobiska górnicze.

Z zaprezentowanych danych w tabeli 1 przedstawiających proponowane kryteria bilansowości dla polskich złóż węgla brunatnego wynika, iż technologia ta możliwa jest do zastosowania dla złóż zalegających na znacznych głębokościach (poniżej 100÷200 m), jak również dla złóż o małej miąższości.

Określone na podstawie doświadczeń obecnie istniejących instalacji podziemnego zgazowania węgla kamiennego i brunatnego można powiedzieć, że technologia ta może być wykorzystana dla złóż węgla brunatnego, których nie można wydobyć za pomocą metody odkrywkowej eksploatacji.

TABELA 1  
Kryteria bilansowości złóż węgla brunatnego [5, 6, 8]

Parametr	Jednostka	Eksploatacja odkrywkowa	Podziemne zgazowanie według J. Kasińskiego	Podziemne zgazowanie według M. Niecia	Podziemne zgazowanie według Z. Kasztelewicza
Liniiowy stosunek nadkładu N:W		$\leq 12$	$\geq 10$	?	$> 10$
Mięższość pokładu węgla	m	$\geq 3$	$\geq 1,5$	$\geq 2,0$	$< 2,0$
Grubość nadkładu	m	=	$\geq 150$	$> 100$	$> 200$
Maksymalna głębokość spagu	m	$\leq 350$	?	1 200	?
Wartość opałowa	MJ/kg	$\geq 6,5$	?	?	?
Całkowita zawartość siarki	[%]	2	?	?	?

Obecnie na świecie pracuje tylko jedna przemysłowa instalacja podziemnego zgazowania wysokokalorycznego węgla brunatnego w Angren w Uzbekistanie.

### **Biogazyfikacja węgla brunatnego**

Technologia ta polega na przeróbce węgla brunatnego przez specjalnie wyseparowane szczepy bakterii, które poprzez przemianę materii dokonują zamiany substancji organicznej w gaz. Proces odbywa się podobnie jak przy rozkładzie odpadów organicznych.

Metoda biogazyfikacji ma dwie podstawowe korzyści, które równocześnie mogą być jej dużymi ograniczeniami. Pierwszym z nich jest konieczność wykorzystywania w procesie biogazyfikacji węgla brunatnego o wysokiej wilgotności (powyżej 40%). Środowisko wodne jest niezbędne do życia mikroorganizmów. Drugim ograniczeniem jest możliwość zastosowania biogazyfikacji tylko dla młodych i nie w pełni dojrzałych węgla brunatnych, które mają bliższą strukturę do pierwotnych składników organicznych niż do wysokokalorycznego węgla [6].

Metoda biogazyfikacji węgla w złożu nie została jednak jak dotychczas zastosowana na skalę przemysłową. Dotychczas prowadzono liczne próby w warunkach laboratoryjnych. Trudno jest w tej chwili ocenić jaki wpływ będzie ona miała na środowisko wodne. Wyniki badań znane będą najprawdopodobniej dopiero za kilka lat.

### **3. Podsumowanie**

Przedstawione technologie można z pewnością zaliczyć do „czystych technologii węglowych”. Umożliwiają one zwiększenie efektywności produkcji energii elektrycznej z węgla brunatnego, wychwytywanie i składowanie CO<sub>2</sub> czy też wykorzystanie węgla brunatnego do produkcji paliw płynnych i gazowych. Wydaje się, że to właśnie one w najbliższej przyszłości będą stawić kierunek rozwoju polskiej elektroenergetyki opartej o węgiel brunatny. W pierwszej kolejności powinno się wdrożyć instalacje suszenia węgla brunatnego, budować bloki energetyczne na parametry nadkrytyczne pary, co umożliwi osiągnięcie sprawności powyżej 44%. W dalszej kolejności do przemysłowego wdrożenia będą przygotowane technologie spalania węgla brunatnego w tlenie czy też zintegrowanej gazyfikacji węgla (IGCC). Konieczność redukcji emisji CO<sub>2</sub> spowoduje także konieczność budowy instalacji wychwytywania i składowania CO<sub>2</sub>. Pierwsze doświadczenia z tego zakresu umożliwi budowa instalacji pilotażowej w elektrowni Bełchatów. Wydaje się jednak, że w przyszłości aby móc zrekompensować straty energii w procesie wychwytywania i składowania dwutlenku węgla konieczne będzie budowanie w Polsce bloków o sprawności netto ok. 50%.

W Polsce powinno się także na szerszą skalę wykorzystać możliwości, jakie dają technologie naziemnego zgazowania węgla brunatnego, które umożliwią rozwój energetyki i chemii opartej na krajowych zasobach surowcowych. W przypadku podziemnego zgazowania węgla brunatnego, pomimo tego, że ta metoda jest badana od kilkudziesięciu lat, wyniki tych badań nie pozwalają jeszcze na stwierdzenie, że metoda ta jest już w pełni

opanowana pod względem przebiegu procesu zgazowania węgla w złożu. Dlatego postuluję się jak najszybsze przeprowadzenie badań i eksperymentów na krajowych złożach węgla brunatnego i kamiennego. Zastosowanie tej technologii na powszechną skalę umożliwiłoby budowę rozproszonego systemu zaopatrzenia w energię, co przyczyniłoby się do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa energetycznego kraju.

#### LITERATURA

- [1] *Bednarczyk J.*: Perspektywiczne strategie technologii wykorzystania energetycznego węgla brunatnego w warunkach dużego ograniczenia emisji dwutlenku węgla. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 5–7/2007, Wrocław, 2007
- [2] *Bednarczyk J.*: Rozwój technologii podziemnego zgazowania węgla i perspektywy jej przemysłowego wdrożenia. V Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego. *Górnictwo i Geoinżynieria*, r. 31, z. 2, Kraków, 2007
- [3] *Chmielniak T., Ściążko M.*: Koncepcja zgazowania węgla brunatnego dla wytwarzania wodoru. V Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego. *Górnictwo i Geoinżynieria*, r. 31, z. 2, Kraków, 2007
- [4] *Halawa T.*: Postęp w budowie bloków energetycznych dużej mocy opalanych węglem brunatnym. *Energetyka* grudzień 2007
- [5] *Kasiński J.*: Przydatność polskich złóż węgla brunatnego do podziemnego zgazowania. Materiały konferencyjne: Zgazowanie węgla — fakty i szanse. Akademia Górniczo-Hutnicza, 14 stycznia 2009, Kraków, 2009, dostęp: <http://www.gorn.agh.edu.pl/pliki/tmp/14-01-09/Kasinski.pdf>
- [6] *Kasztelewicz Z., Polak K., Zajczkowski M.*: Metody wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego w I połowie XXI wieku. *Węgiel Brunatny* nr 65, Bogatynia, 2008
- [7] *Kasztelewicz Z., Zajczkowski M.*: Energetyka na węglu brunatnym — szanse i zagrożenia. Problemy bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w polskim górnictwie, X konferencja, Mysłowice 27–28 marca 2008, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa Katowice, 2008
- [8] *Nieć M.*: Uwarunkowania geologiczne eksploatacji otworowej i podziemnego zgazowania węgla. Materiały konferencyjne: Zgazowanie węgla — fakty i szanse. Akademia Górniczo-Hutnicza, 14 stycznia 2009, Kraków, 2009, dostęp: <http://www.gorn.agh.edu.pl/pliki/tmp/14-01-09/Niec.pdf>