

Materiały XXVIII Konferencji z cyklu
*Zagadnienia surowców energetycznych
i energii w gospodarce krajowej*
Zakopane, 12–15.10.2014 r.
ISBN 978-83-62922-37-6

Zygmunt KOWALSKI*, Marcin BANACH*, Joanna KULCZYCKA**,
Łukasz LELEK***, Anita STAROŃ*

Proekologiczna technologia produkcji energii cieplnej na bazie paliw wodno-węglowych

STRESZCZENIE. Węgiel kamienny od kilku stuleci stanowi podstawowe źródło energii pierwotnej w światowej gospodarce. Polska jest krajem wyjątkowo zasobnym w ten surowiec. Biorąc pod uwagę szereg uwarunkowań technicznych, ekonomicznych, społecznych i politycznych – Polska powinna wykorzystać szansę do bardziej racjonalnego i efektywnego wykorzystania węgla kamiennego. Artykuł przedstawia innowacyjną technologię dla produkcji energii cieplnej na bazie paliwa wodno-węglowego CWL (*Coal-Water Liquid*), które pozwoli na jej wytwarzanie w sposób efektywny ekologicznie i ekonomicznie na każdym etapie w całym cyklu życia.

Proponowana technologia jest nowym rozwiązaniem w Polsce ze względu na zastosowanie młyna tarczowego. Jej głównymi zaletami są:

- ✧ większa zdolność do spalania węgla (reaktywności) w porównaniu np. do spalania pyłu węglowego w kotłach tradycyjnych – dzięki dokładnemu rozdrobieniu do rozmiarów mikrometrycznych,
- ✧ obniżenie od 2 do 2,5 razy emisji zanieczyszczeń gazowych (NO_x , SO_x) i pyłów w stosunku do technologii tradycyjnego spalania węgla,
- ✧ obniżenie nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji węzłów odsiarczania spalin w ciepłowniach,
- ✧ podniesienie efektywności procesu spalania do 99%,

* Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej, Politechnika Krakowska, Kraków

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania, Kraków

*** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia PAN, Kraków; e-mail: lelek@meeri.pl

- ✧ możliwość wykorzystania do produkcji paliwa materiałów odpadowych takich jak muły węglowe bez konieczności ich wcześniejszego suszenia,
- ✧ możliwość magazynowania w zbiornikach oraz transportu w cysternach bądź rurociągami,
- ✧ brak zagrożeń pożarowych i wybuchowych w procesie wytwarzania (mielenie na mokro przyczynia się do redukcji powstawania pyłów węglowych), transportowania (możliwość bezpiecznego transportu drogą zarówno wodną, jak i lądową) i magazynowania paliwa.

SŁOWA KLUCZOWE: węgiel, energia, paliwa wodno-węglowe, zawiesiny wodno-węglowe

Wprowadzenie

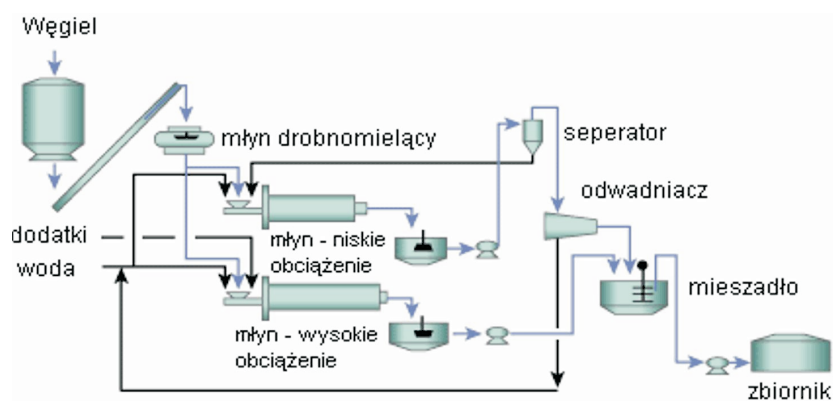
Węgiel kamienny od co najmniej kilku stuleci stanowi jedno z podstawowych źródeł energii pierwotnej w gospodarce światowej. W krajach UE pokrywa on 30% produkcji energii elektrycznej, a w Polsce prawie 90% (w 2012 r. 88,6%), stanowiąc kluczowy element bezpieczeństwa podaży energii. Jego wykorzystywanie wiąże się jednak z poważanymi konsekwencjami środowiskowymi spowodowanymi znaczącą ilością emitowanych gazów cieplarnianych oraz zubożeniem nieodnawialnych paliw kopalnych (Charakterystyka 2012). W związku z tym polityka UE, jak i jej państw członkowskich, szczególnie w energetyce ukierunkowana jest na rozwój technologii niskoemisyjnych oraz wykorzystujących odnawialne źródła energii (OZE). Aspekty dotyczące wielkości zapotrzebowania (energia elektryczna, paliwa ciekłe i gazowe), źródeł i struktury nośników energii (kopalne, alternatywne) oraz oddziaływania na środowisko energetyki, stały się fundamentalnymi zagadnieniami zrównoważonego modelu rozwoju (Kijeński 2007; Taniewski 2007).

Polska jest krajem wyjątkowo zasobnym w węgiel kamienny, stąd aktualne prognozy wskazują na utrzymanie dominującej roli tego paliwa w produkcji energii (przynajmniej do 2030 r.), przy czym zakłada się poprawę efektywności procesów produkcji energii oraz racjonalne zagospodarowanie istniejących zasobów energetycznych (w tym wtórnych) (Komunikat 2011). Zgodnie z aktualną *Polityką energetyczną Polski do 2030 r.* priorytet stanowi wzrost produkcji energii w procesie kogeneracji oraz zmniejszenie wpływu energetyki na środowisko m.in. poprzez dywersyfikację jej struktury i rozwój OZE. Coraz bardziej restrykcyjne regulacje prawne dotyczące standardów emisyjnych (określone m.in. w Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji, Dz.U. Nr 95, poz. 558, Warszawa 2011 r.) przyczyniają się do intensyfikacji prac badawczych w zakresie wykorzystania węgla w sposób bardziej ekologiczny, mniej obciążający środowisko swym negatywnym wpływem, w całym cyklu jego życia (Kulczycka 2012). Do tzw. czystych technologii węglowych (CTW) zalicza się np. instalacje do wychwytywania i składowania CO₂ (*Carbon Capture and Storage – CCS*), do zgazowania podziemnego lub naziemnego węgla, nadkrytyczne bloki energetyczne pracujące w temperaturach z górnego przedziału materiałów konstrukcyjnych (stali) 600–620°C, czy kotły CFB (Czyste 2007). Przedmiotem intensywnych badań i zainteresowania m.in. w Japonii, Chinach, Australii, Rosji i USA jest również technologia oparta na wykorzystaniu w procesie produkcji energii mieszanin wodno-węglowego

CWL (*Coal-Water Liquid*). Podstawowymi składnikami paliwa wodno-węglowego jest drobno zmielony węgiel i woda oraz różnego rodzaju dodatki (stabilizatory, związki redukujące lepkość i środki antypianotwórcze). W dostępnej literaturze paliwa te określa się jako: CWF (*Coal-Water Fuel*), CWM (*coal-water mixture*), CWS (*coal-water slurry*) lub CWSF (*coal-water slurry fuel*). Technologia ta pozwala z powodzeniem na produkcję energii oraz może przyczynić się do poprawy jej efektywności ekologicznej i ekonomicznej na każdym etapie, w całym cyklu życia procesu produkcji (Lee i in. 2007). W Polsce jest ona nowym rozwiązaniem, a w najnowszej krajowej literaturze z tego zakresu znajduje się niewiele publikacji, szczególnie w obszarze identyfikacji korzyści ekologicznych wynikających z wykorzystania mieszanin wodno-węglowych do produkcji energii i możliwości ich potencjalnego zastosowania w przemyśle.

1. Paliwa na bazie mieszanin wodno-węglowych

Pierwsze wzmianki na temat suspensji węglowych pojawiły się już w XIX wieku wraz ze zgłoszeniem patentu (1879 r.) dotyczącego węgla rozproszonego w fazie olejowej. Jednakże spadek cen paliw konwencjonalnych w kolejnych latach spowodował zaniechanie dalszych prac nad tym paliwem. Kolejne próby otrzymywania stabilnego paliwa składającego się z rozdrobnionego węgla i oleju rozpoczęto ponownie w 1980 r. Ze względów ekonomicznych podjęto również próbę zastąpienia oleju wodą i od tego czasu zainteresowanie suspensjami wodno-węglowymi nie zmalało. Ze względu na swój potencjał, jako zamiennik paliwa alternatywne dla istniejących kotłów w elektrowniach i ciepłowniach węglowych, jest ono przedmiotem intensywnych badań i zainteresowania m.in. w Chinach, Australii, Rosji i USA. Proces przygotowania takiego paliwa składa się z trzech etapów (rys. 1) (Wibberley i in. 2008; US Patent Publication, Publication No. US 4593859):



Rys. 1. Schemat typowego procesu otrzymywania paliwa wodno-węglowego
Źródło: Wibberley i in. 2008

Fig. 1. Diagram of a typical process for the preparation of coal-water fuel

1. Kruszenie – niezbędne do otrzymania ziaren węgla o rozmiarze poniżej 12 mm, przeprowadzane jest w standardowych kruszarkach (młotkowych, szczękowych);
2. Rozdrabnianie na mokro – najważniejszy etap procesu, rozdrobnienie materiału do rozmiaru cząstek $<50 \mu\text{m}$ w obecności wody. Etap ten determinuje skład granulometryczny mieszaniny, jej lepkość i stabilność. W trakcie mielenia na mokro do paliwa mogą zostać wprowadzone stabilizatory i plastyfikatory zwiększające stabilność i zmniejszające lepkość;
3. Homogenizacja – umożliwia uzyskanie jednorodnego paliwa. Etap ten może być poprzedzony klasyfikacją ziaren.

Jakość zastosowanego węgla, jak i rodzaj wykorzystywanych w procesie przygotowania paliwa młynów w dużej mierze decydują o właściwościach fizykochemicznych produktu końcowego. Parametrami, które charakteryzują zawiesiny wodno-węglowe oraz warunkują możliwość ich wykorzystania są: wartość opałowa, skład granulometryczny, stabilność, lepkość oraz zawartość części stałych. Wartość opałowa charakteryzująca CWL pod względem energetycznym, dla suspensji zawierającej 49–75% węgla, waha się w granicach 15,9–26,3 MJ/kg i zależy od ilości wody oraz typu węgla, z jakiego została sporządzona. Skład granulometryczny węgla w zawieszynie ma zasadniczy wpływ na jej właściwości reologiczne i dlatego stanowi główny element wszystkich zastrzeżonych technologii produkcji zawiesin. Determinuje on stabilność zawiesiny i stanowi główny parametr, który określa jakość i decyduje o dalszym przetwarzaniu oraz zastosowaniu CWL. Właściwości reologiczne oraz stabilność zawiesin zależą od ładunku powierzchniowego cząstek węgla, a dodatki odpowiednich substancji poprawiają jej płynność. W tym celu stosuje się środki dyspergujące takie jak środki powierzchniowo czynne i elektrolity. Zalicza się do nich kwasy sulfonowe, ligninosulfoniany, etoksylované alkilofenole będące produktami kondensacji różnych związków organicznych z cząsteczkami tlenu propylenu lub etylenu. Ponadto obecność surfaktantów ma również istotny wpływ na transport zawiesiny, gdyż powoduje zmniejszenie ciśnienia w rurociągach, co z kolei obniża energię niezbędną do przesyłu paliwa (Staroń i in. 2012; Lee i in. 2007; Ślącza i Wasilczyk 2011; Mosa i in. 2008; Aktas i Woodburn 2000).

Najbardziej ekonomiczna zawiesina wodno-węglowa to taka, która zawiera maksymalną ilość węgla przy najmniejszej możliwej lepkości, czyli spełnia wymagania stawiane podczas przechowywania, transportu oraz atomizacji paliwa. Aktualnie w procesach rozdrabniania węgla stosuje się metody mokre z wykorzystaniem młynów walcowych oraz młynów kulowych sprzężonych z klasyfikatorami powietrznymi. Jednak pobór energii dla tego typu urządzeń wynosi około 10 kWh/t. Energochłonność tego procesu była jedną z głównych przyczyn niskiej opłacalności ekonomicznej technologii. Jednak intensywne prace doprowadziły do konstrukcji młynów kulowych o dużo mniejszej konsumpcji energii np. młyny odśrodkowe i planetarne, nutacyjne oraz strumieniowe, pozwalające na otrzymanie cząstek węgla o rozmiarze około 20 μm . Tak głębokie rozdrobnienie węgla powoduje zwiększenie jego powierzchni właściwej otwierając bardzo praktyczne możliwości, w szczególności łatwość atomizacji zawiesin wodno-węglowych i bardziej dynamiczny proces ich spalania. Przyczynia się to do skuteczniejszego utleniania frakcji mineralnej, minimalizacji ilości popiołów, a także zmniejszenia emisji toksycznych produktów w gazach spalinowych. Zużycie energii elektrycznej przy wykorzystaniu tego typu młynów może być zredukowane nawet 5–10-krotnie stosunku do dotychczas stosowanych rozwiązań.

2. Analiza aspektów środowiskowych technologii do produkcji energii na bazie zawiesin wodno-węglowych

W celu określenia korzyści środowiskowych wynikających z zastosowania proponowanej technologii przeprowadzono wstępne badania laboratoryjne emisyjności paliwa CWL. W celu otrzymania paliwa wodno-węglowego zastosowano węgiel zakupiony na jednym małopolskich składów węglowych, gdzie około 68% ziaren miało rozmiar poniżej 5 mm. Kolejne 25% mieściło się w przedziale 5–15 mm. Charakterystykę węgla zamieszczono w tabeli 1. Do przygotowania i spalania paliwa posłużyła instalacja w skali laboratoryjnej opracowana w Instytucie Chemii i Technologii Nieorganicznej Politechniki Krakowskiej. W pierwszej fazie przygotowania węgiel podawany był do młynka przez lej zasypowy, gdzie odpowiednia ilość wody (uzależniona końcowym składem paliwa) podawana była pompą do leja młynka. Wykorzystując proces mielenia na mokro, tworzona mieszanina cyrkulowała w układzie zamkniętym, aż do uzyskania odpowiedniego składu procentowego paliwa. Gotowy produkt podawany był do palnika pieca.

W badaniach zastosowano dysze rozpyłowe oraz sprężone powietrze. Spalanie inicjowane było przez palnik zasilany gazem ziemnym. Ciągła recyrkulacja mieszaniny pozwalała na osiągnięcie wymaganego rozmiaru ziaren węgla oraz homogenizację paliwa. Ta z kolei jest niezwykle istotna ze względu na uzyskanie odpowiedniej stabilności. W trakcie spalania dokonano pomiarów emisji spalin za pomocą przenośnego analizatora spalin typu: GA40 TPlus firmy Madur, działającymi na podstawie celek elektrochemicznych do pomiaru CO, NO, NO₂, SO₂ oraz pomiaru IR dla CO₂. W celu wyeliminowania wpływu wilgoci zawartej w spalinach na pomiary koncentracji analizator posiadał osuszacz gazów. Pomiary emisji (tab. 2) wykonano w następujących wariantach: spalanie tylko przy pracy palnika gazowego, spalanie węgla kamiennego stosowanego jako surowiec do produkcji paliwa CWL (spalanie warstwowe węgla stosowanego jako surowiec w procesie mielenia i otrzymywania CWL) oraz spalanie paliwa o zawartości węgla od 40 do 90%. Stosowano węgiel w stanie powietrzno-suchym.

Na rysunkach 2–4 przedstawiono wykresy zmian emisji CO₂, CO i NO_x w trakcie spalania. Otrzymane wyniki pokazały, że zastosowanie CWL pozwala na obniżenie emisji SO₂ co najmniej do poziomu emisji tego gazu odpowiadającej spalaniu gazu ziemnego. Bardzo niskie wartości wynikają według danych literaturowych z faktu utleniania SO₂ do SO₃ w specyficznych warunkach spalania CWL, a następnie powstawania siarczanów w wyniku reakcji

TABELA 1. Charakterystyka węgla

TABLE 1. Characteristics of coal

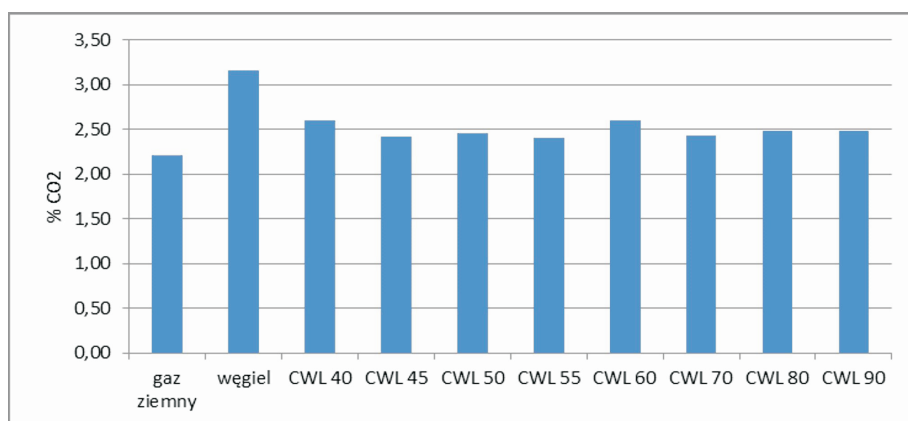
	Wartość opałowa [MJ/kg]	Uziarnienie [mm]	Popiół [%]	Wilgoć całkowita [%]	Części lotne [%]
Jarek	25,8	5–25	7,9	9,7	39,1

TABELA 2. Wyniki analiz gazów spalinowych
(wartość uśredniona ze stężeń chwilowych z pięciominutowego okresu pomiarowego)

TABLE 2. Results of analysis of the exhaust gas

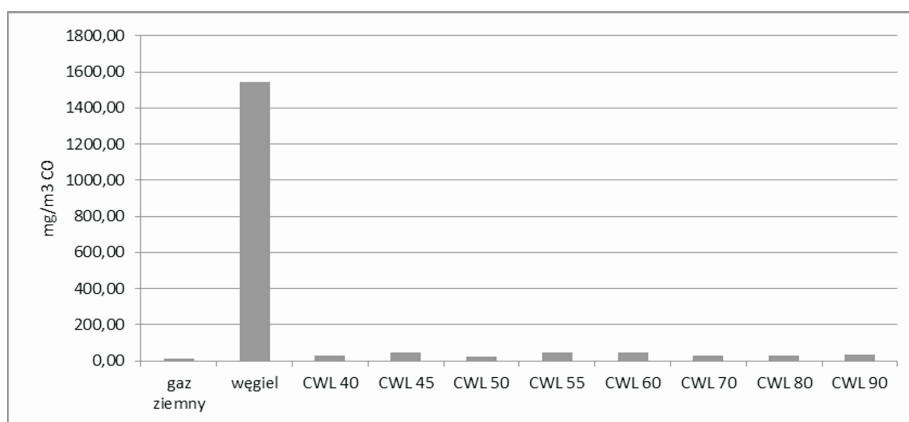
Warianty/emisje		Gaz ziemny		Węgiel		CWL 40		CWL 45		CWL 50	
		wynik	*OS	wynik	*OS	wynik	*OS	wynik	*OS	wynik	*OS
CO ₂	%	2,22	0,25	3,16	0,16	2,61	0,14	2,42	0,24	2,46	0,34
CO	mg/m ³	11,33	32,47	1 545,0	32,24	26,67	13,65	44,67	42,02	24,71	10,75
NO		16,22	7,60	62,33	2,69	24,67	0,58	20,67	4,76	24,00	7,28
NO ₂		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO ₂		0,00	0,00	433,00	73,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NO _x		24,72	11,75	95,56	4,30	38,33	1,15	31,83	7,60	37,00	10,77
		CWL 55		CWL 60		CWL 70		CWL 80		CWL 90	
		wynik	*OS	wynik	*OS	wynik	*OS	wynik	*OS	wynik	*OS
CO ₂	%	2,41	0,26	2,60	0,19	2,43	0,17	2,48	0,19	2,49	0,23
CO	mg/m ³	43,67	30,16	44,25	9,91	31,33	12,71	31,33	2,31	34,50	9,19
NO		22,83	4,31	24,50	2,89	26,67	4,27	29,00	4,36	27,50	0,71
NO ₂		0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,10	2,00	0,00	2,00	0,00
SO ₂		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NO _x		35,33	6,25	38,50	3,42	42,00	6,03	45,00	7,21	44,00	1,41

* OS – odchylenie standardowe, CWL – paliwo wodno-węglowe (liczba – procentowa zawartość węgla)
Źródło: opracowanie własne



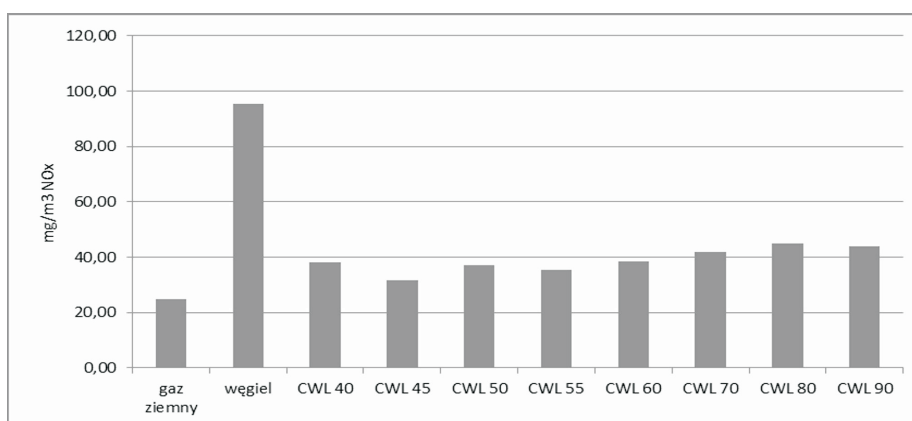
Rys. 2. Zmiany wielkości emisji [% m³] CO₂ w zależności od zastosowanego paliwa
Źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Changes in emissions [% m³] of CO₂, depending on the fuel used



Rys. 3. Zmiany wielkości emisji CO w zależności od zastosowanego paliwa
Źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Changes of CO depending on the fuel used



Rys. 4. Zmiany wielkości emisji NO_x w zależności od zastosowanego paliwa
Źródło: opracowanie własne

Fig. 4. Changes in NO_x emissions depending on the fuel used

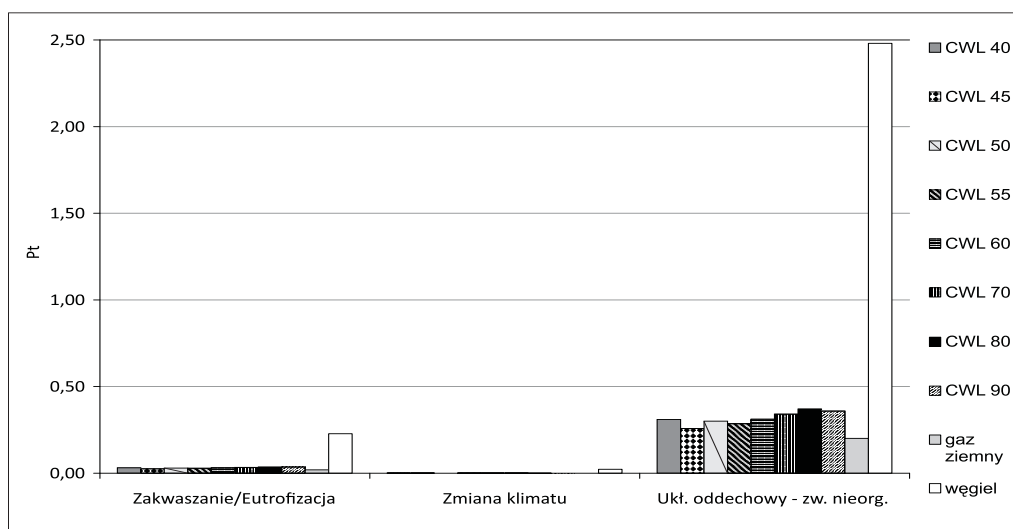
z fazą mineralną węgla. Siarczany te pozostają w popiele. Zawartość SO₂ jest także zależna od zsiarczenia węgla stosowanego jako surowiec w procesie otrzymywania CWL. Tak niska emisja SO₂ może być spowodowana również tym faktem. Ponadto uzyskano około 20% obniżenie emisji CO₂, 98% CO i 55% NO_x w stosunku do emisji z węgla kamiennego.

Obniżenie emisji NO_x można tłumaczyć niższą w stosunku do spalania tradycyjnych paliw temperaturą tego procesu. Obniżenie emisji CO wynika ze wzrostu efektywności spalania CWL. Jednoczesne obniżenie emisji CO₂ jest skutkiem zastosowania dedykowanego palnika charakteryzującego się równoległym do strumienia paliwa strumieniem sprężonego powietrza.

W celu określenia korzyści środowiskowych wynikających z zastąpienia węgla paliwem alternatywnym CWL przeprowadzono uproszczoną analizę oceny cyku życia LCA (*Life Cycle*

Assessment). Jej celem była identyfikacja obszarów środowiskowych, w których technologia może przyczynić się do największych korzyści. Analizę przeprowadzono na podstawie wariantów laboratoryjnych (tab. 1), ograniczając się tylko do emisji spalania gazu ziemnego, węgla i poszczególnych mieszanek CWL. Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto 1 m³ spalin. Granice systemu obejmują sam proces spalania paliwa CWL, węgla i gazu ziemnego (*cradle to cradle*). Wyniki analizy (rys. 5) otrzymano z wykorzystaniem metody Eco-indicator 99 oraz przedstawiono za pomocą ekowskaźnika w tzw. punktach końcowych (Pt). Definiuje się je jako stosunek całkowitego rocznego obciążenia środowiska (emisje, zużycie surowców, zużycie gruntów) w Europie do liczby mieszkańców, pomnożony następnie przez 1000. W ten sposób wskaźnik o wartości 1000 Pt odpowiada rocznemu obciążeniu środowiska powodowanemu przez przeciętnego mieszkańca Europy w całym jego cyklu życia. Im wyższa liczba, tym potencjalny wpływ na środowisko analizowanego procesu lub produktu jest większy. Tym sposobem możliwe jest kwantyfikowanie wielkości wpływu, co w znacznym stopniu ułatwia identyfikację i hierarchizację problemów środowiskowych oraz porównywanie różnych wariantów (Kowalski i in. 2007).

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, iż spalanie analizowanych paliw przyczynia się do obciążenia środowiska w trzech kategoriach wpływu: zakwaszenie/eutrofizacja środowiska, zmiany klimatu oraz wpływ związków nieorganicznych na układ oddechowy człowieka. Zastąpienie węgla mieszaniną wodno-węglową przyczynia się do znaczącej redukcji emisji tj. NO_x, CO, pyłów, mających wpływ głównie na zdrowie człowieka poprzez oddziaływanie na jego układ oddechowy (rys. 5). Ponadto praktyczne wyeliminowanie emisji SO₂ powoduje ograniczenie obciążenia środowiska związanego z jego zakwaszaniem i eutrofizacją.



Rys. 5. Wyniki (ekowskaźnik Pt) analizy potencjalnego oddziaływania na środowisko spalania poszczególnych nośników energii z wykorzystaniem metody LCA (*Life Cycle Assessment*)

Źródło: opracowanie własne

Fig. 5. Results (eco-indicator Pt) analysis of the potential environmental impact assessments of individual combustion energy sources using the method of LCA (*Life Cycle Assessment*)

Podsumowując, można stwierdzić, że opracowane paliwo zwiększa zdolność spalania węgla (reakcyjność) w porównaniu np. do tradycyjnych kotłów węglowych dzięki jego znacznemu rozdrobnieniu. Przyczynia się to do podniesienia efektywności spalania do 99% oraz redukcji od 1,5 do 5 razy emisji zanieczyszczeń gazowych (NO_x , SO_x , CO) i pyłowych, co w znaczącym stopniu ułatwi dotrzymanie standardów emisyjnych dla poszczególnych instalacji. Można spodziewać się, iż rozszerzenie granic systemu o proces mielenia spowoduje zmianę niektórych parametrów, zwiększając oddziaływanie CWL na środowisko. Jednak biorąc pod uwagę założenia polityki ekologicznej Polski i UE, szczególnie w zakresie emisji gazów, wdrożenie CWL może znacząco przyczynić się do wypełnienia zobowiązań środowiskowych.

3. Możliwości zastosowania paliw CWL w przemyśle

Najczęściej wykorzystywanym w Polsce w procesie spalania jest węgiel kamienny o wartości opałowej 18,4–25,5 MJ/kg, zawartość siarki 0,6–0,78% i popiołu 5,8–20%. Wynikiem jego spalania jest zanieczyszczenie powietrza przez elektrownie i ciepłownie, które powoduje m.in. choroby ludzi i zwierząt, niszczenie roślinności, konstrukcji budowlanych oraz korozję metali. Wprowadzanie emisji gazów, pyłów itp. do powietrza jest regulowane przez obowiązujące Rozporządzenie w sprawie standardów emisyjnych z instalacji wydane przez Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 r. Są one zróżnicowane w zależności od rodzaju działalności, procesu technologicznego lub operacji technicznej, terminu oddania instalacji do eksploatacji, terminu zakończenia jej eksploatacji lub dalszego łącznego czasu jej eksploatacji (Rozporządzenie 2011). W porównaniu do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2005 r. standardy emisji dla źródeł o mocy cieplnej 50–100 MW zostały obniżone o 25%. Taka redukcja zanieczyszczeń jest możliwa do osiągnięcia jedynie poprzez wykorzystanie mniej zasilanego węgla lub zastosowanie bardziej kalorycznego paliwa. Ponadto od roku 2016 zgodnie z dyrektywą z 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola) kotły węglowe będą musiały spełniać bardziej rygorystyczne normy emisyjne. Dla instalacji o mocy 50–100 MW wynosić one będą: dla SO_x 400 mg/m³, dla NO_x 300 mg/m³, dla pyłu 30 mg/m³. Obecnie jedyną możliwością osiągnięcia założonych wymagań będzie przejście z opalania węglem na opalanie gazem ziemnym lub inwestowanie w instalacje oczyszczania spalin. Jednak zastosowanie gazu ziemnego może przyczynić się do podwyższenia kosztów produkcji 1 GJ ciepła nawet o kilkaset procent. Natomiast zastosowanie paliwa CWL nie będzie wymagać stosowania do oczyszczania spalin drogich inwestycyjnie i eksploatacyjnie metod odsiarczania i redukcji tlenków azotu. Jest to niezwykle istotne dla ciepłowni (funkcjonujących w ramach przedsiębiorstw energetyki cieplnej) produkujących ciepło dla sieci centralnego ogrzewania.

Ze względu na charakter technologii (zawiesina węgiel–woda) jej rozwój może przyczynić się do zagospodarowania nie tylko samych zasobów węgla, ale i ogromnych ilości odpadów z procesów wydobywania i przeróbki (Kijo-Kleczkowska 2011). Aktualnie odpady tego typu zagospodarowywane są na różne sposoby, m.in. bezpośrednio w elektrowniach węglowych bądź do

produkcji paliw (brykiety węglowe). Ze względu na duże zawodnienie, niejednorodność oraz niską charakterystykę energetyczną ich dotychczasowe wykorzystanie napotyka na poważne problemy np. wstępne suszenie wiążące się z dodatkowymi nakładami energetycznymi. W związku z tym w ostatnich latach dla racjonalnego wykorzystania surowców wtórnych, zgodnie z aktualnym Krajowym Planem Gospodarki Odpadami, podejmuje się i wdraża w szerokim zakresie technologie odzysku drobnoziarnistych materiałów i odpadów węglowych do produkcji paliw. W projekcie *Foresight w zakresie priorytetowych i innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego* (Lutyńska 2010) wśród kluczowych technologii wymienia się metody odzysku substancji węglowej z odpadów drobnoziarnistych i poflotacyjnych, oraz ich wykorzystania m.in. w technologii spalania np. w złożach fluidalnych w elektrowniach węglowych (Góralczyk 2011). Ocenę najnowszych rozwiązań dokonano m.in. w publikacjach *Ekofektywność technologii* (Kleiber, red. 2011) oraz opracowanym na zlecenie Ministerstwa Gospodarki *Studium wykonalności projektu instalacji do produkcji paliw gazowych i płynnych z węgla kamiennego* (Studium 2008).

Technologia produkcji paliwa CWL możliwa do zastosowania przy wykorzystaniu tradycyjnych kotłów węglowych nie wymaga budowy dodatkowych drogich inwestycyjnie węzłów odsiarczania i odpylania, co jest jej ogromnym atutem ekonomicznym i ekologicznym. Podstawowe kierunki zastosowania nowej technologii obejmują wykorzystanie CWL do ogrzewania kotłów wodnych i wodnorurkowych typu WR lub WRM z wykorzystaniem zarówno surowców pierwotnych, jak i wtórnych.

Podsumowanie

Ze względu na swoje właściwości CWL może być z powodzeniem stosowane jako zamiennik węgla czy oleju opałowego do spalania w kotłach przemysłowych. Przeprowadzone badania laboratoryjne i przeprowadzona ocena LCA wskazały potencjalne korzyści środowiskowe wynikające z zastosowania tego paliwa. Emisje NO_x, SO_x, CO powstające w procesie spalania paliwa CWL kształtują się na poziomie dwu- do pięciokrotnie niższym w stosunku do technologii tradycyjnego spalania węgla. Wynika to głównie z podniesienia efektywności procesu spalania do 99%.

Ponadto ze względu na swoje właściwości reologiczne paliwo to można bezpiecznie transportować rurociągami oraz przechowywać w zbiornikach. Dodatkowe korzyści środowiskowe mogą być uzyskane poprzez wykorzystanie do produkcji paliwa materiałów odpadowych takich jak muły węglowe bez konieczności ich wcześniejszego suszenia. Produkcja paliwa wodno-węglowego CWL może być szansą dla polskiej gospodarki zarówno w sferze zwiększenia bezpieczeństwa zaopatrzenia kraju w energię, jak i ograniczenia wpływu energetyki na środowisko. Przemawia za tym możliwość wykorzystania surowców z krajowej bazy zasobowej, w tym odpadów (mułów i szlamów), podniesienie efektywności wykorzystania potencjału produkcyjnego czynnych kopalni, możliwość dostosowania funkcjonujących kotłów węglowych o mocy 50–100 MW do wprowadzonych nowych standardów emisyjnych. W praktyce

przemysłowej paliwa wodno-węglowe CWL są znacznie bezpieczniejsze od paliw stałych, ze względu na brak możliwości samozapłonu lub wybuchu, co przyczynia się do możliwości ich bezpieczniejszego składowania i transportu (w porównaniu np. z paliwami typu oleje opałowe itp.). System transportu i dystrybucji oparty na zwyczajnym rurociągu, wyklucza konieczność budowania drogiej infrastruktury do transportowania paliw stałych.

Literatura

- [1] AKTAŚ, Z., i WOODBURN, E.T. 2000. Effect of Addition of Surface Active Agent on the Viscosity of a High Concentration Slurry of a Low-Rank British Coal in Water, *Fuel Processing Technology* 62(1), s. 1–15.
- [2] Charakterystyka rynku energii elektrycznej, 2012 – <http://www.ure.gov.pl/portal/pl/449/5314/2012.html>
- [3] *Czyste Technologie Węglowe. Znaczące osiągnięcia programów badawczo-rozwojowych Europejskiej Wspólnoty Węgla i Stali w rozwoju technologii wytwarzania czystej energii z węgla.* 2007 – Gliwice: Monografia, Instytut Techniki Ciepłej.
- [4] GÓRALCZYK, S. 2011. *Gospodarka surowcami odpadowymi z węgla kamiennego.* Warszawa: Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, .
- [5] KIJEŃSKI, J. 2007. Współczesne źródła energii i surowce chemiczne. O potrzebie umiaru w zrównoważonym rozwoju, *Przemysł Chemiczny* t. 86, nr 12, s. 1154–1163.
- [6] KIJÓ-KLECZKOWSKA, A. 2011. *Badanie procesu spalania zawieszinowych paliw węglowo-wodnych.* Wyd. Politechniki Częstochowskiej.
- [7] KLEIBER, M., red. 2011. *Ekofektywność technologii,* Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego.
- [8] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, 2011 – Zwiększanie wpływu unijnej polityki rozwoju – Program działań na rzecz zmian, KOM (2011) 637, Bruksela.
- [9] KOWALSKI i in. 2007 – KOWALSKI, Z., KULCZYCKA, J. i GÓRALCZYK, M. 2007. *Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA),* Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [10] KULCZYCKA, J. i PIETRZYK-SOKULSKA, E., red. 2012. *Ewaluacja sektora energetycznego w Polsce,* Kraków: Wydawnictwo IGSMiE PAN.
- [11] LEE i in. 2007 – LEE, S., SPEIGHT, J.G. i LOYALKA, S.K. 2007. *Handbook of alternative fuel technologies,* CRC Press Taylor & Francis Group.
- [12] LUTYŃSKI, A. 2010. Foresight w zakresie priorytetowych i innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego, *Górnictwo i Geoinżynieria* 34, z. 4/1.
- [13] MOSA i in. 2008 – MOSA, A-H., SALEH, M., TAHA, T.A., EL-MOLLA, A.M. 2008. Effect of chemical additives on flow characteristics of coal slurries, *Physicochem. Probl. Mineral Proc.* 42, 107.
- [14] Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, 2009 – Rada Ministrów, Warszawa.
- [15] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji, Dz.U.11.95.558.
- [16] ŚLĄCZKA, A. i WASILCZYK, A. 2011. The effect of chemicals on the rheology of highly loaded coalwater slurries (CWS), *Physicochemical Problems of Mineral Processing* No. 47.
- [17] STAROŃ i in. 2012 – STAROŃ, A., BANACH, M., KOWALSKI, Z. i STAROŃ, P., 2012 – Coal-water mixtures as an alternative fuel. Mieszanki wodno-węglowe (CWL) jako paliwo alternatywne, *Przemysł Chemiczny* 92/4.

- [18] *Studium wykonalności projektu instalacji do produkcji paliw gazowych i płynnych z węgla kamiennego*, 2008 – Energoprojekt-Katowice S.A.
- [19] TANIEWSKI, M. 2007. Niektóre przesłanki wyboru perspektywicznych obszarów badań i rozwoju chemicznej przeróbki węgla, *Przemysł Chemiczny* t. 86, nr 12, s. 1166–1172.
- [20] US Patent Publication, Publication No. US 4593859
- [21] WIBBERLEY i in. 2008 – WIBBERLEY, L., PALFREYMAN, D. i SCAIFE, P. 2008. Efficient use of coal water fuels, Technology Assessment Report 74, CSIRO Energy Technology.
- [22] Założenia Narodowego Programu Rozwoju Gospodarki Niskoemisyjnej, 2011 – Rada Ministrów, Warszawa.

Zygmunt KOWALSKI, Marcin BANACH, Joanna KULCZYCKA, Łukasz LELEK, Anita STAROŃ

Environmentally friendly technology of energy production based on water-coal liquid

Abstract

Coal, for several centuries, is the main source of primary energy in the global economy. Poland is a country rich in coal resources. Taking into account a number of technical, economic, social and political issues – Poland should seize the opportunity for a more rational and efficient use of coal. This article presents an innovative technology for energy production based on coal-water fuel CWL (Coal-Water Liquid), which will allow to produce energy in an efficient environmentally and economically way at all stage in the whole life cycle.

- ✧ The proposed technology is a new solution in Poland, and in the most recent national literature in this area we can find only a few publication. Main advantages of this technology are:
- ✧ greater ability to burn coal (reactive) compared for example to the combustion of pulverized coal in traditional furnace – by precise grinding to the size of micrometers,
- ✧ reduction of 2 to 2.5 times the emission of gaseous pollutants (NO_x , SO_x) and particulate matter compared to conventional coal combustion technologies,
- ✧ reduces the capital and operating costs of flue gas desulphurization nodes in heating plants,
- ✧ raising the combustion efficiency to 99%,
- ✧ possibility to use waste materials for this fuel production, such as carbon mules without their prior drying,
- ✧ the possibility of storage in tanks and transport by tankers or pipelines,
- ✧ no risk of fire or explosion in the manufacturing process (wet milling contributes to the reduction of coal dust), transport (to safely transport by both water and land) and fuel storage

KEY WORDS: coal, energy, water-coal fuel, water-coal slurry