



Industrial tests of hydrolytic lignin and coal co-combustion in pulverised boiler

Krzysztof GLÓD¹, Ryszard WASIELEWSKI²

^{1,2} Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze, tel.: 32-27-10-041,
fax: 32-27-10-809, e-mail: rywas@ichpw.zabrze.pl

Abstract

The results of investigation of hydrolytic lignin and coal co-combustion under industrial-scale boiler condition have been presented. Hydrolytic lignin is a waste material formed in large quantities during the processing of wood in the process of hydrolysis. Energy and emission tests were carried out as a comparison to coal combustion. Mass fraction of hydrolytic lignin in the stream of fuel was about 10%. A similar energy efficiency of the process has been yielded during the test and no risk of air pollution emissions increasing has been observed. The results showed that hydrolytic lignin can be used as a component of fuel mixtures for power plant equipped with pulverized boilers.

Keywords: co-combustion, hydrolytic lignin, pulverised boiler

Streszczenie

Przemysłowe testy współspalania ligninocelulozy pohydrolytycznej z węglem kamiennym w kotle pyłowym

Przedstawiono wyniki badań przemysłowych współspalania ligninocelulozy pohydrolytycznej z węglem kamiennym w kotle pyłowym. Ligninoceluloza jest materiałem odpadowym powstającym w dużych ilościach podczas przerobu drewna w procesie hydrolizy. Testy energetyczno-emisyjne przeprowadzono jako porównawcze do spalania węgla kamiennego. Udział masowy ligninocelulozy w strumieniu paliwa wynosił około 10%. Podczas testów uzyskano podobne sprawności energetyczne kotła i nie stwierdzono zagrożeń w zakresie podwyższonej emisji zanieczyszczeń do powietrza. Wyniki badań wykazały, że ligninoceluloza może być stosowana jako składnik mieszanek paliwowych dla instalacji energetycznych wyposażonych w kotły pyłowe.

Słowa kluczowe: współspalanie, ligninoceluloza, kocioł pyłowy.

1. Wstęp

Konieczność wypełniania przez przedsiębiorstwa energetyczne obowiązku wytwarzania części energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych jest najczęściej realizowana w procesie współspalania z paliwami kopalnymi różnych rodzajów biomasy. Do tego celu można wykorzystać również biomasę odpadową, np. pochodzącą z przemysłowych procesów przeróbki drewna. Wprowadzanie do procesu współspalania materiałów odpadowych wiąże się jednak z zagrożeniami eksploatacyjnymi i środowiskowymi, dlatego powinno być poprzedzone szczegółowymi badaniami [1].

Podczas procesu hydrolizy drewna prowadzonego w skali przemysłowej około 30-40% surowca drzewnego stanowi pozostałość poprocesowa, której większość stanowi ligninoceluloza pohydrolytyczna [2]. Materiał ten ma niewielkie (poza energetycznym) przemysłowe wykorzystanie, chociaż był przedmiotem wielu prac badawczych [2, 3, 4]. Ligninoceluloza wykorzystywana jest do produkcji nawozów organicznych oraz drożdży paszowych [3]. Jest również używana do produkcji brykietów, które są stosowane jako substytut tradycyjnych paliw lub węglonośny środek redukcyjny w hutnictwie żelaza i metali nieżelaznych [5]. Generalnie jednak, ilość wytwarzanej ligninocelulozy pohydrolytycznej jest większa niż możliwości jej zagospodarowania (poza wykorzystaniem energetycznym).

Ligninoceluloza pohydrolytyczna jest produktem ubocznym procesu otrzymywania furfuralu z drewna na drodze hydrolizy. Ligninoceluloza pohydrolytyczna, w zależności od gatunku drewna, z którego pochodzi, wykazuje

charakter bezpostaciowej brunatnej masy o pewnej ilości frakcji włóknistej. W niektórych przypadkach posiada właściwości zbliżone do masy włóknistej stosowanej do produkcji płyt pilśniowych. Podstawowe składniki ligninocelulozy pohydrolitycznej to: celuloza (51,8-72,6%) i lignina (27,9-42,0%). Typowe składniki uznawane powszechnie za klasyczną biomasę stanowią, z reguły, 90-95% masy ligninocelulozy pohydrolitycznej.

Ligninoceluloza pohydrolityczna zajmuje istotne miejsce w łącznej ilości pozostałości przemysłowych w wielu krajach byłego ZSRR. Na przykład, obecnie w Republice Białorusi ilość ligninocelulozy pohydrolitycznej nagromadzonej na składowiskach przekracza 6 mln Mg [3]. Część tego materiału palnego trafia w ostatnim czasie ze względu na bliskie sąsiedztwo również do Polski, gdzie podejmowane są próby jego wykorzystania jako paliwa biomasowego w instalacjach energetyki zawodowej.

Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze nadzorował testy energetyczno-emisyjne współspalania ligninocelulozy z węglem kamiennym przeprowadzone w jednej z krajowych elektrociepłowni. Celem tych badań była ocena wpływu współspalania ligninocelulozy pohydrolitycznej z paliwem standardowym w kotle pyłowym na zmiany jego sprawności energetycznej oraz emisję zanieczyszczeń do powietrza. Poniżej przedstawiono wybrane wyniki tych badań.

2. Testy energetyczno-emisyjne

Testy energetyczno-emisyjne wykonano jako porównawcze dla spalania węgla kamiennego oraz jego mieszanki z ok. 10% udziałem masowym ligninocelulozy. Pomiar przeprowadzono przy dwóch charakterystycznych obciążeniach kotła: ok. 45 Mg/h oraz ok. 110 Mg/h.

Zakres badań obejmował przeprowadzenie pomiarów niezbędnych dla celów opracowania bilansu energetycznego kotła oraz wykonanie analiz laboratoryjnych spalanego paliwa, a także powstających w procesie współspalania: spalin i popiołu lotnego.

Badania właściwości energetycznych pobranych próbek paliw wykonano w akredytowanym laboratorium IChPW, w oparciu o procedury akredytowane przez Polskie Centrum Akredytacji.

Z kolei badania oraz obliczenia bilansowe przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 12952-15 „Kotły wodnorurkowe i urządzenia pomocnicze. Badania odbiorowe” na podstawie analiz fizykochemicznych próbek pobranych podczas trwania testów badawczych. Sprawność kotła brutto określono metodą pośrednią (przez wyznaczenie strat).

Wykonano również badania emisji zanieczyszczeń do powietrza z instalacji kotłowej w zakresie wymaganym dla współspalania biomasy. Pomiaru składu spalin (CO , CO_2 , NO , SO_2 , O_2) wykonano na kanale za wentylatorem ciągu. Analizy składu gazu wykonano metodami referencyjnymi, zgodnie z obowiązującym podczas badań rozporządzeniem Ministra Środowiska dotyczącym pomiarów emisji.

2.1. Charakterystyka instalacji kotłowej

Kocioł OP-130, w którym przeprowadzono badania jest kotłem parowym opalany pyłem węgla kamiennego, z ciekłym odprowadzaniem żużla. Wydajność cieplna znamionowa kotła wynosi 93 MW. Płynny żużel ścieka otworem odpływowym do zbiornika granulacyjnego napełnionego wodą. Żużel granuluje wpływając do wody, a wirnik łamacza kruszy żużel na drobne części, które gromadzą się w dolnej części granulatora, skąd jest okresowo spuszczały do zbiornika ociekowego. Kocioł ten przewidziany jest do spalania miału węglowego o wartości opałowej od 22362 do 27800 kJ/kg. Przemiał węgla realizowany jest w dwóch zespołach młynowych z młynami kulowo-bębnowymi z pośrednim bunkrowaniem, z jednym wentylatorem młynowym na każdy młyn. Urządzenia do spalania składają się z: 6 podajników pyłu, 6 palników pyłowych w układzie „U” umieszczonych w stropie komory paleniskowej i 4 palników dodatkowych do spalania pyłu zawartego w nadmiarowym powietrzu z obiegu. Wszystkie palniki są palnikami typu szczelinowego. Ponadto kocioł wyposażony jest w 2 lancowe gazowe palniki rozpałkowe na gaz ziemny zabudowane w bocznych ścianach kotła.

Instalacja kotłowa wyposażona jest w elektrofiltr dla oczyszczania spalin.

2.2. Charakterystyka paliw i mieszanki paliwowej

Ligninoceluloza pohydrolityczna została dostarczona do elektrociepłowni transportem samochodowym w postaci brykietów. Brykiety te łatwo ulegają zmieleniu w typowych układach młynowych stosowanych w układach nawęglania dla kotłów pyłowych. Mieszankę węgla kamiennego z brykietami ligninocelulozy pohydrolitycznej przygotowano na placu węglowym elektrociepłowni, składając na placu warstwowo

odpowiednie ilości węgla i lignocelulozy dla uzyskania udziału ok. 10%. Przy pomocy zwałowarko-ładowarki przygotowana mieszanka podana została istniejącym układem nawęglania do zasobników przykotłowych kotła. Testy współspalania prowadzono w okresie kilkunastogodzinnym dla każdego badanego obciążenia. Pełną analizę właściwości fizykochemicznych obydwu paliw, z których sporządzono mieszankę przedstawiono w tabeli 2.2.1.

Tabela 2.2.1. Właściwości fizykochemiczne badanych paliw.

Parametr	Symbol	Jednostka	Ligninoceluloza pohydrolityczna	Węgiel kamienny
Analiza techniczna				
Zawartość wilgoci całkowita	W_t^r	%	29,6	7,0
Zawartość wilgoci	W^a	%	11,0	1,2
Zawartość popiołu	A^a	%	16	20,6
Zawartość części lotnych	V^a	%	49,02	27,70
Zawartość części lotnych	V^{daf}	%	67,15	35,42
Ciepło spalania	Q_s^a	kJ/kg	17236	26949
Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	12231	24345
Analiza elementarna				
Zawartość węgla	C^a	%	45,7	66,7
Zawartość wodoru	H^a	%	3,94	4,14
Zawartość siarki całkowita	S_t^a	%	0,50	0,67
Zawartość siarki palnej	S_C^a	%	0,15	0,42
Zawartość azotu	N^a	%	2,85	1,15
Zawartość tlenu (obliczona)	O_d^a	%	20,36	5,79

Analizując wyniki analiz badanych materiałów przedstawione w tablicy 2.2.1 można zauważyć, że zawartość wilgoci w brykietach z lignocelulozy jest ponad 4-krotnie wyższa niż w węglu kamiennym. Również zawartość części lotnych w ligninocelulozie jest znacznie wyższa w porównaniu do węgla. Z kolei, zawartość siarki palnej – wpływającej na emisję dwutlenku siarki do atmosfery jest w ligninocelulozie blisko o połowę niższa niż w węglu kamiennym. Poziom zawartości popiołu w obydwu paliwach jest zbliżony, natomiast ligninoceluloza posiada znacznie niższą wartość opałową niż węgiel. Właściwości paliw spalanych w kotle przedstawiono w tablicy 2.2.2. Próbkę paliw do badań pobrano bezpośrednio z pyłoprzewodów.

Tabela 2.2.2. Właściwości paliw spalanych w kotle OP-130 podczas testów.

Parametr	Symbol	Jednostka	Węgiel kamienny	Mieszanka węgla z ligninocelulozą
Analiza techniczna				
Zawartość wilgoci całkowita	W_t^r	%	7,1	9,2
Zawartość wilgoci	W^a	%	1,1	2,2
Zawartość popiołu	A^a	%	24,1	20,1
Wartość opałowa	Q_i^r	MJ/kg	23,0	22,9
Analiza elementarna				
Zawartość węgla	C^a	%	64,2	64,6
Zawartość wodoru	H^a	%	3,93	4,1
Zawartość siarki całkowita	S_t^a	%	0,7	0,4
Zawartość azotu	N^a	%	1,15	1,3
Zawartość tlenu (obliczona)	O_d^a	%	5,09	7,2

W efekcie mieszania obydwu paliw uzyskano mieszankę paliwową o udziale masowym ligninocelulozy wynoszącym 9,9%, co stanowi udział energetyczny na poziomie 5,2%. Przy stosunkowo niewielkim udziale biomasy w mieszance paliwowej jej wpływ na parametry energetyczne był niewielki.

2.3. Przebieg i wyniki testów energetyczno-emisyjnych

Podczas testów energetyczno-emisyjnych kocioł pracował stabilnie w całym zakresie obciążeń, uzyskując zadane wydajności. W trakcie współspalania mieszanki węgla i ligninocelulozy temperatury spalin za poszczególnymi powierzchniami ogrzewalnymi w kotle były zbliżone do temperatur, jakie utrzymywane były przy spalaniu węgla. W tabelicy 2.4.1 przedstawiono wyniki bilansu energetycznego kotła.

Tabela 2.3.1. Wyniki bilansu energetycznego kotła OP-130.

Parametr	Jednostka	Węgiel kamienny		Mieszanka węgla z ligninocelulozą	
Wydajność kotła	Mg/h	43	105	43	114
Moc cieplna kotła	MW	31,35	77,8	30,8	84,6
Średni strumień paliwa	Mg/h	6,05	13,63	5,73	14,68
Strumień energii chemicznej paliwa	MW	38,65	87,05	36,86	94,35
Strata wylotowa fizyczna spalin	MW	5,94	6,46	4,84	6,98
Strata niespalonego CO w spalinach	MW	0,029	0,015	0,014	0,016
Strata entalpii i zawartości części palnych w popiele lotnym i żużlu	MW	0,54	2,18	0,27	1,32
Strata do otoczenia (promieniowania i konwekcji)	MW	1,23	2,32	1,21	2,46
Sprawność energetyczna kotła (brutto)	%	80	87,4	82,8	88,6

Z danych przedstawionych w tabelicy 2.3.1 wynika, że sprawności energetyczne kotła uzyskane podczas testów były porównywalne. Sprawności energetyczne nie różnią się więcej niż o 1,2 punktu procentowego w przypadku wyższej wydajności kotła oraz 3 punktów procentowych przy wydajności 43 Mg/h.

Podczas testów wykonano również badania produktów ubocznych procesu spalania/współspalania, których wyniki przedstawiono w tabelicy 2.3.2.

Tabela 2.3.2. Wyniki analizy technicznej odpadu paleniskowego - popiół lotny.

Parametr	Jednostka	Węgiel kamienny		Mieszanka węgla z ligninocelulozą	
Wydajność kotła	Mg/h	43	105	43	114
Zaw. części palnych w popiele lotnym	%	4,49	10,57	2,68	5,95

Badania ubocznych produktów współspalania wykazały korzystny wpływ współspalania biomasy na przebieg procesu. Nastąpiło zmniejszenie zawartości części palnych w popiele lotnym w stosunku do wartości uzyskanych podczas spalania samego węgla kamiennego.

Z kolei w tabelicy 2.3.3 przedstawiono parametry emisyjne uzyskane podczas prowadzenia testów badawczych wraz z dopuszczalnymi wartościami emisyjnymi dla węgla kamiennego i mieszanki węgla kamiennego z 5,2% udziałem energetycznym biomasy, określonymi w oparciu o rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji.

Tabela 2.3.3. Wyniki pomiarów emisyjnych z kotła OP-130.

Parametr	Jednostka	Węgiel kamienny		Mieszanka węgla z ligninocelulozą		Emisja dopuszczalna**
Wydajność kotła	Mg/h	43	105	43	114	
Stężenie CO*	mg/m ³	56	196	66	29	-
Stężenie SO ₂ *	mg/m ³	1283	1402	1238	1391	1500/1464**
Stężenie NO ₂ *	mg/m ³	1008	599	1004	570	600/590**
Stężenie pyłu*	mg/m ³	15	6	35	6	100/100**
Zawartość O ₂	%	14,6	8,0	13,8	8,4	-

(*) w przeliczeniu na 6% zawartość tlenu w spalinach

(**) standardy dla mieszanki węgla kamiennego z 5,2% udziałem energetycznym biomasy

Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 2.3.3 - emisja SO₂ podczas współspalania ligninocelulozy była porównywalna z emisją podczas spalania węgla kamiennego. Nieznacznie niższa wartość tej emisji przy współspalaniu ligninocelulozy wynika ze znacznie niższej zawartości siarki w biomacie. Główny wpływ na poziom emisji SO₂ podczas testów spalania/współspalania posiadają właściwości fizykochemiczne stosowanego węgla kamiennego. Z kolei, emisja NO_x podczas współspalania biomasy była nieznacznie niższa w porównaniu z emisją podczas spalania węgla kamiennego. W przypadku pracy kotła z wydajnością 43 Mg/h wartości emisji NO_x przekraczają wprawdzie wartości dopuszczalne, jednak jest to związane ze znacznie przekroczoną ilością powietrza doprowadzanego do spalania. Podczas spalania/współspalania zarówno węgla jak i jego mieszanki z ligninocelulozą przy wyższym obciążeniu kotła - wartości emisji dopuszczalnej dla NO_x zostały dotrzymane.

3. Podsumowanie

Przeprowadzone testy energetyczno-emisyjne wykazały pełną przydatność ligninocelulozy pohydrolitycznej do stosowania jako składnika mieszanek paliwowych dla instalacji energetycznych wyposażonych w kotły pyłowe. Podczas współspalania ligninocelulozy z węglem kamiennym kocioł pracował stabilnie, bez znaczących zmian sprawności energetycznej oraz bez stwarzania istotnych zagrożeń środowiskowych.

Literatura

1. Pr. zbior. pod red. M. Ściążko, J. Zuwała i M. Pronobis: „Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce”, Wyd. Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla i Politechnika Śląska, Zabrze, 2007,
2. Kin Z.: “Badania nad utylizacją produktów ubocznych otrzymywanych przy wstępnej hydrolizie wodnej drewna bukowego”, Prace Wydziału Nauk Technicznych Bydgoskiego Towarzystwa Naukowego, Seria A nr 4, Bydgoszcz, 1966

3. Kapustina I.B., Moskalchuk L.N., Matyushonok T.G., Pozylova N.M., Khololovich M.E.: "Investigation of Hydrolysis Lignin for the Purpose of Its Possible Use as a Land Reclamation Sorbent for Rehabilitation of Soil Polluted with Radionuclides", *Chemistry for Sustainable Development*, 14, 2006, s.13-18,
 4. Tikavy V.A., Osinovskiy A.G., Greben V.V., Yushkevich I.A.: "Organicheskiye udobreniya na osnove gidroliznogo lignina i ikh ispolzovaniye v selskom khozyaystve", Mińsk, 1983,
 5. Izumrudova T. V.: "Novye puti ispolzovaniya ligninovykh otkhodov", Moscow, 1976.
-