

Bożena Borycka
Politechnika Radomska, Katedra Nauk o Jakości

Ekologiczne aspekty współspalania biomasy z odpadów owocowo-warzywnych z węglem

Głównym źródłem zanieczyszczeń powietrza jest energetyka i ciepłownictwo. Procesy spalania paliw zanieczyszczają bowiem atmosferę dużymi ilościami takich substancji, jak: tlenki węgla i azotu, ditlenek siarki oraz pyły. Pożądanym w polityce energetycznej i ekologicznej Polski i świata paliwem są odnawialne źródła energii, w tym w szczególności biomasa, rozumiana jako wszelka substancja organiczna pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, jak też wszelkie pochodne substancje uzyskane z transformacji takich surowców.

Szczególnym rodzajem biomasy są odpady przemysłu owocowo-warzywnego. W tym kontekście warto zauważyć, że w oficjalnym stanowisku Polski określonym w „Planie działania w sprawie biomasy” (SEC (2005) 1573) i „Strategii UE w sprawie biopaliw” (SEC (2006) 142) stwierdzono m.in., iż opracowania wymagają nowe technologie pozyskiwania i wykorzystania paliw odnawialnych, szczególnie poprzez zagospodarowanie produktów ubocznych pochodzenia rolniczego oraz pozostałych odpadów, w tym również biodegradowalnych odpadów przemysłowych [9]. Receptą na zmniejszenie kosztów inwestycyjnych związanych ze spalaniem biomasy może być mieszanie węgla z paliwem z biomasy w procesie współspalania [15, 16, 19, 20, 26]. Technologia ta daje szansę na uzyskanie korzyści finansowych związanych z możliwością zakupu mniejszej ilości paliwa podstawowego (tradycyjnego) oraz redukcją opłat emisyjnych, jednak pod warunkiem ustanowienia odpowiednio niskiej ceny biomasy [15, 19, 21]. Odpowiedni dobór proporcji każdego ze składników współspalanej kompozycji ma istotny wpływ na efektywność ekologiczno-energetyczną procesu współspalania. Warto przy tym podkreślić, że ich proporcje zależą w głównej mierze od właściwości biomasy, której maksymalny udział w kompozycji paliwowej, zdaniem specjalistów, nie powinien przekroczyć 30% [19].

Celem pracy była próba udzielenia odpowiedzi na pytanie: czy współspalanie źródeł biomasy z odpadów przemysłu owocowo-warzywnego z węglem nie obciąża nadmiernie środowiska?

Materiał do badań

W badaniach stosowano następujące materiały:

- 1) węgiel – paliwo węglowe pobrane zostało z dostarczanych do wybranego zakładu przemysłu owocowo-warzywnego partii; był to węgiel typu 32,2 (gazowo-płomienny), miał II (M II) o zawartości podziarna] (0-1 mm) $\leq 2,5\%$, stosowany tradycyjnie w kotłowniach zakładów przetwórstwa spożywczego w Polsce – W,
- 2) kompozycja węgla z 20-procentowym udziałem wytlóków aroniowych – W+20-procentowym BA,
- 3) kompozycja węgla z 40-procentowym udziałem wytlóków aroniowych – W+40% BA,

- 4) kompozycja węgla z 20-procentowym udziałem wytlóków jabłkowych – W+20% BJ,
- 5) kompozycja węgla z 20-procentowym udziałem młota pomidorowego – W+20% BPOM,
- 6) kompozycja węgla z 30-procentowym udziałem młota pomidorowego – W+30% BPOM.

Metody badań

Oznaczanie właściwości energetycznych

Badania wskaźników energetycznych i właściwości paliwowych wykonano w Akredytowanej Jednostce Badawczej Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach w Zakładzie Oceny Jakości Paliw Stałych.

Większość zastosowanych w pracy metod badań właściwości energetycznych opisana jest w polskich normach PN.

Zawartość popiołu określono zgodnie z PN-G-04560:1998 [30]. Zawartość części lotnych oznaczono wg PN-G04516:1998 [29]; wartość opałową wyznaczono wg PN-81/G-04513 [28]; zawartość siarki całkowitej i siarki popiołowej oznaczono zgodnie z PN-G-04584:2001 [32]; a zawartość węgla, wodoru, azotu (C, H, N) zgodnie z PN-G-04571:1998 [31].

Szacowanie emisji gazowo-pyłowych

Określenie emisji z niekonwencjonalnych źródeł energii stanowi wciąż nierozwiązany problem, bowiem mimo intensywnych prac w tym zakresie ciągle brakuje jednoznacznych wytycznych do jej wyznaczania, szczególnie dla źródeł biomasy. Do oznaczenia wielkości emisji poszczególnych gazów oraz pyłu wykorzystano metodę wskaźników emisji. Emisję określano według wzoru:

$$Emisja = A \cdot WE$$

gdzie:

A – aktywność, Mg,

WE – wskaźnik emisji, kg/Mg.

Emisję wyliczano przy następujących założeniach:

- spalanie w kotle płomienicowym o mocy nominalnej 100 KW,
- sprawność kotła wynosi 85%.

Ilość spalanej biomasy w ciągu godziny określono z zależności [6]:

$$B = \frac{3600 \cdot M}{h \cdot W_d}, \text{ kg/h}$$

gdzie:

B – zużycie paliwa, kg/h,

M – nominalna moc kotła, kW,

η – sprawność spalania,

W_d – wartość opałowa, kJ/kg.

Z powodu braku danych literaturowych dotyczących wskaźników emisji i unosu z procesu spalania badanych źródeł biomasy z odpadów owocowych i warzywnych, zdecydowano się na ich wyznaczenie [25, 26]. Wielkość wskaźników emisji poszczególnych gazów oraz pyłu ze źródeł energetycznej biomasy określono na podstawie opracowania Radovića [33]. Podstawą do obliczeń była powszechnie stosowana metodyka IPCC/OECD [11].

Wyniki badań i dyskusja

Metodyka szacowania emisji wykorzystuje parametry stanu roboczego paliwa, jak również dane odnoszące się do techniki i technologii spalania. Dlatego w tabeli 1 zestawione zostały przydatne do takich rozważań parametry stanu roboczego badanych paliw.

Wyniki badań stanu roboczego paliw zestawione w tabeli 1 potwierdziły powszechnie panujące przekonanie, iż dodatek biomasy do węgla powoduje powstanie paliwa, które charakteryzuje się: niższą wartością opałową, niższą zawartością siarki oraz niższą zawartością popiołu w porównaniu ze spalaniem czystego węgla [14, 33, 34].

Szacunkowe wielkości emisji dokonywane na podstawie wskaźników emisji EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission

Inventory Guidebook [33] oraz opracowanych przez Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa [25]. Trzeba zaznaczyć, że dotychczas nie opracowano jednak jednoznacznej metody ich określania, aczkolwiek prace nad ich katalogiem trwają [23]. Warto też podkreślić, iż prawidłowe określenie wielkości emisji rzutuje na ocenę stanu zagrożenia atmosfery.

Przedstawione w tabeli 2 wyniki obliczeń emisji jednostkowych wyrażonych w kg/Mg, za pomocą dwóch algorytmów postępowania wskazują na podobne tendencje, przy czym wskaźniki emisji przy ujednoliconej procedurze [33] są niższe dla tlenku węgla, tlenków siarki i popiołu, a wyższe dla dwutlenku węgla i tlenków azotu.

W dalszych rozważaniach zdecydowano się skorzystać z metody mieszanej, używając wartości wskaźników emisji jednostkowych dla węgla opartych na doświadczalnym ich wyznaczeniu w określonym typie kotła [25]. Dyskusja tych wyników jest trudna, bowiem literatura [7, 10, 18, 23, 26, 27, 37] często podaje wyniki zmierzone różnymi metodami, stąd wynikają spore trudności w ich porównaniu, interpretacji i dyskusji.

Wyliczone wartości emisji jednostkowych WE wyrażone w kg/GJ, zaprezentowane w tabeli 3, potwierdzają tezę postawioną przez wielu badaczy [17, 18, 38], w myśl której

Tabela 1

Główne miary statystyczne właściwości energetycznych i składu elementarnego paliw w przeliczeniu na stan roboczy

Paliwo	Popiół, %	Wartość opałowa, Kj/kg	Siarka całkowita, %	Siarka popiołowa, %	Siarka palna, %	Węgiel, %	Azot, %
	$\bar{X} \pm S_x$						
W-30%BOM	15,10 ± 2,58	23965,3 ± 967,6	0,39 ± 0,11	0,21 ± 0,01	0,19 ± 0,13	60,96 ± 2,62	0,97 ± 0,05
W-20%BA	15,13 ± 2,46	23862,7 ± 929,6	0,40 ± 0,11	0,15 ± 0,02	0,25 ± 0,11	63,21 ± 1,87	1,06 ± 0,08
W-40%BA	11,82 ± 1,86	22839,7 ± 742,1	0,32 ± 0,08	0,15 ± 0,03	0,17 ± 0,06	59,66 ± 1,29	1,01 ± 0,11
W-20%BPOM	15,37 ± 2,54	25372,7 ± 919,1	0,43 ± 0,11	0,19 ± 0,02	0,23 ± 0,13	63,81 ± 1,99	1,58 ± 0,04
W-30%BOM	13,76 ± 2,13	24297,3 ± 827,5	0,40 ± 0,10	0,17 ± 0,01	0,23 ± 0,13	62,20 ± 1,92	1,72 ± 0,06
W	18,66 ± 3,32	26103 ± 1195,2	0,46 ± 0,14	0,2 ± 0,0 2	0,26 ± 0,17	66,57 ± 2,8	1,16 ± 0,09

Tabela 2

Porównanie oszacowanych wskaźników emisji gazowo-pyłowych dla biomasy, węgla i kompozycji

Paliwo	Jedn.	WE _{CO}	WE _{CO₂}	WE _{NO_x}	WE _{SO₂}	WE _{pył}
W-20%BJ	kg/Mg ²	90,78	1 737,9	1,35	6,09	24,20
	kg/Mg ¹	76,39	1833	3,82	4,36	19,17
W-20%BA	kg/Mg ²	92,50	1 728,0	1,33	6,13	24,30
	kg/Mg ¹	78,11	1823	3,80	4,40	19,27
W-40%BA	kg/Mg ²	85,00	1 606,0	1,66	4,90	14,93
	kg/Mg ¹	74,21	1677	3,51	3,60	14,93
W-20%BPO	kg/Mg ²	93,53	1 745,5	3,09	7,05	24,55
	kg/Mg ¹	79,14	1841	5,56	5,32	19,53
W-30%BOM	kg/Mg ²	90,29	1 693,2	4,13	6,89	21,90
	kg/Mg ¹	77,70	1777	6,29	5,38	17,50
W	kg/Mg ³	100,00	1 850,0	1,00	7,36	29,86
	kg/Mg ¹	82,01	1969	4,09	5,20	23,57

- 1 – wyliczone WE wg Radovića [33]
- 2 – wyliczone jako udziały wskaźników WE dla biomasy wyliczonych wg Radovića [33]+ udziały wskaźników dla węgla wyliczonych wg zaleceń MOSNiL [25]
- 3 – wyliczone wg zaleceń MOSZNiL [25]

Tabela 3

Wskaźniki emisji gazowo-pyłowych dla biomasy [33], węgla [25] i kompozycji – obliczone metodą mieszaną [25,33]

Paliwo	WE _{CO}	WE _{CO₂}	WE _{NO_x}	WE _{SO₂}	WE _{pył}
	kg/GJ				
W-20%BJ	3,79	72,52	0,06	0,25	1,01
W-20%BA	3,88	72,41	0,06	0,26	1,02
W-40%BA	3,72	70,32	0,07	0,21	0,65
W-20%BPOM	3,69	68,79	0,12	0,28	0,97
W-30%BOM	3,72	69,69	0,17	0,28	0,90
W	3,83	70,87	0,04	0,28	1,14

szczególną zaletą energetycznych źródeł biomasowych jest, korespondująca ze składem elementarnym paliwa, niższa emisja CO₂ i SO₂ podczas jego spalania. Do zalet badacze ci zaliczają też niższe wartości wskaźników emisji z procesów spalania biomasowych źródeł dla większości pozostałych gazów w porównaniu z paliwami konwencjonalnymi, a przede wszystkim z węglem. W przypadku badanych kompozycji źródeł biomasy z odpadów owocowo-warzywnych z węglem

jedynie dla tlenków azotu wystąpiło podwyższenie ich poziomu.

Wartość wskaźnika emisji CO dla procesu spalania biomasy zależy od warunków procesu, typu i wieku urządzeń kotłowych oraz rodzaju i właściwości spalnego materiału [33]. W niniejszych badaniach przyjęto WE_{CO} dla kotła płomienicowego z rusztem stałym.

Zaprezentowane w tabeli 3 WE_{CO} w kompozycjach biomasowo-węglowych wykazały tendencje do obniżki w stosunku do czystego węgla w granicach 1 – 4%. WE_{CO} węgla (ok. 3,8 kg/GJ) jest stosunkowo wysoki i porównywalny ze wskaźnikami wyliczonymi dla kompozycji BZBO z węglem.

Porównując wskaźniki emisji CO_2 przeliczone na jednostkę energii dla kompozycji można zauważyć zbliżone ich wartości (69 – 72,5 kg/GJ) do wskaźników węglowych (71 kg/GJ). Aczkolwiek stosunkowo niskoenergetyczna kompozycja z wyłokami jabłkowymi charakteryzuje się wyższym wskaźnikiem (na poziomie 72,5 kg/GJ), który jest jednak niższy z ustalonym przez Kubik [22] wskaźnikiem dla kompozycji węgla z wystódkami buraczanymi (na poziomie ok. 87 kg/GJ). Wskaźnik emisji ditlenku węgla przyjęty dla węgla okazał się znacząco niższy od danych literaturowych (94 – 100 kg/GJ) [3, 5], co można tłumaczyć, z jednej strony, brakiem jednoznacznej metody szacowania danych, z drugiej – różnicami pomiędzy teorią a danymi pomiarowymi. Warto podkreślić jednak, że ekologiczność biomasy wiąże się z faktem, że emisja CO_2 w procesie spalania tego paliwa równa jest jego pochłanianiu w drodze jej odnawiania poprzez fotosyntezę.

Wyniki badań zawarte w tabeli 3 potwierdzają głoszoną w źródłach literaturowych [15] tezę, że biomasowe kompozycje z węglem w porównaniu z węglem charakteryzuje się wyższą zawartością części lotnych, aczkolwiek przy poszczególnych źródłach biomasy jest ona zróżnicowana.

Warto zauważyć, że niektóre źródła literaturowe [2, 4] podają, że podczas odgazowania paliwa azot dzielony jest pomiędzy uwalniane części lotne i powstały koksik, a ich proporcje uzależnione są od rodzaju paliwa. Opisane w nich badania dowodzą, że udziały azotu są porównywalne z udziałem części lotnych. Z teorii tej wynika, że wielkość emisji NO_x ze spalania biomasowych źródeł może być wyższa niż ze spalania węgla. Tezę taką potwierdziły badania nad spalaniem zrębków jodły i jej współspalanie z węglem prowadzone przez Lecknera i Karlssona [24]. Teoria ta nie jest jednak jednoznaczna, bowiem inni badacze [1, 12] uzyskali odmienne wyniki wskazujące na obniżenie emisji tych gazów przy wzroście udziału biomasy (w postaci słomy) w kompozycjach spalanych fluidalnie.

Należy przypomnieć, iż badane w niniejszej pracy kompozycje są pod względem zawartości azotu zróżnicowane (tab. 1). Przedstawione w tabeli 3 obliczone wartości wskaźników emisji, wyrażone w kg/GJ dla każdej kompozycji są wyższe niż dla węgla. Z danymi tymi korespondują wyniki doświadczeń Kubik [22] nad emisją jednostkową NO_x obliczoną dla spalania kompozycji węgla z wystódkami cukrowniczymi (ok. 0,22 kg/GJ). Trzeba podkreślić, iż wartości te są uzależnione od jakości spalanego paliwa, jego składu oraz techniki i technologii spalania.

Jak pokazuje tabela 1 kompozycje biomasowych źródeł z węglem charakteryzują się niższą, aczkolwiek zróżnicowaną, zawartością siarki ogółem, stąd ustalone wartości wskaźników emisji podczas ich spalania, zawarte w tabeli 3, też są różne, ale niższe od wskaźników emisji z węgla. Uzyskane wskaźniki emisji SO_2 dla kompozycji biomasy odpadowej z węglem, w szczególności przy udziale wyłoków aroniowych i jabłkowych, są niższe niż dla węgla, przy czym WE_{SO_2} zmniejsza się wraz ze zwiększeniem udziału wyłoków

w kompozycji. Z badań literaturowych [10, 15, 35] wynika również, że obecność ubogosiarkowej biomasy w paliwie pozytywnie wpływa na emisję ditlenku siarki. Kruczek i współpracownicy [15] stwierdzili ponadto, że konwersja siarki w procesie współspalania biomasy i węgla do SO_2 maleje ze wzrostem udziału biomasy (powyżej 15%) i jest mniejsza dla grubszych cząstek. Ich zdaniem, w biomasie siarka występuje w postaci siarczanów jako tzw. siarka nieorganiczna w ilości około 40%, a w postaci organicznej 60%, w pierwszej fazie spalania – pirolizy, w zależności od temperatury pirolizy, siarka organiczna przekształca się w nieorganiczną, natomiast w temperaturze powyżej 973 K siarka organiczna przechodzi w siarczki. W kolejnej fazie spalania pozostałość koksowej części siarki może przejść w siarczan K_2SO_4 , zależnie od temperatury spalania. Należy zauważyć, że niektórzy badacze podają wyższą wartość wskaźnika emisji ditlenku siarki dla węgla na poziomie 0,4 – 0,5 kg/GJ [3, 5, 9], co wiąże się zapewne z jakością stosowanego paliwa.

Zdolność do emisji pyłu uważana jest za cechę świadcząca o „ekologiczności” paliwa, a jest ona funkcją m.in. zawartości popiołu w paliwie, rodzaju paleniska, warunków spalania.

Wyniki badań składu chemicznego badanych kompozycji biomasowych źródeł z węglem (tab. 1) potwierdziły sformułowaną przez wielu badaczy tezę [13, 18, 34], że biomasę, a stąd też jej kompozycje z węglem, charakteryzuje niższa zawartość popiołu niż węgiel. Teoretycznie zatem wskaźnik unosu pyłu dla biomasowych OZE w stosunku do wartości tego wskaźnika dla węgla powinien odzwierciedlać taką relację.

Trzeba zaznaczyć, iż prezentowane w tabeli 3 dane odnoszące się do pyłu dotyczą tej jego ilości, która jest unoszona z paleniska wraz z lotnymi związkami składającymi się na strumień spalin, dlatego oznaczają poziom wskaźnika unosu. Nie uwzględniają one bowiem stopnia redukcji pyłu w spalinach, wynikającej z działania urządzenia odpylającego. Wyniki ustalonych wartości wskaźników unosu dla spalanych kompozycji biomasowych z węglem mają mniejsze tendencje do obciążania środowiska popiołem, przy czym w miarę wzrostu zawartości biomasowego źródła ta uciążliwość środowiskowa się zmniejsza od 10% do 40%. Potwierdzeniem tego zjawiska są też doniesienia literaturowe, dotyczące badań porównawczych rzeczywistych procesów spalania drewna i słomy oraz węgla pod kątem różnic emisyjnych [8, 18, 36]. Podobne wyniki uzyskała Kubik [22] dla wystódków, w których wskaźnik unosu pyłu dla kompozycji wystódkowo-węglowych był niższy o ok. 10% w porównaniu z poziomem tego wskaźnika dla analizowanego przez tę badaczkę węgla.

Jak już wspomniano wielkość zanieczyszczeń emitowanych do środowiska podczas spalania paliw zależy od ich reaktywności, parametrów procesu spalania i warunków panujących w komorze paleniskowej [27]. Do spalania biomasy na szeroką skalę stosuje się kotły płomienicowe o małej mocy, które mogą być instalowane w gospodarce komunalnej oraz w rozproszonym ogrzewalnictwie indywidualnym [18].

Spróbowano wykorzystać wyliczone wcześniej wskaźniki emisji do określenia emisji gazowo-pyłowych dla biomasowych źródeł i ich kompozycji z węglem w modelowych warunkach ciepłowni. Rozważając emisje w niniejszej pracy oszacowano je dla powszechnie stosowanego do spalania biomasy kotła rusztowego płomienicowego małej mocy (o mocy nominalnej 100 KW).

Zestawione w tabeli 4 obliczone emisje CO (E_{CO}) dla kompozycji, są niższe od emisji z węgla. E_{CO} zmniejszają się dla kompozycji w stosunku do węgla o około 5%.

Podobnie na podstawie wyników przedstawionych w tej tabeli stwierdzono niższe emisje CO₂ (E_{CO₂}) dla kompozycji biomasowych źródeł z węglem od emisji z węgla.

Warto w tym miejscu podkreślić jednak fakt odnawialności biomasy i zamkniętego zerem bilansu ditlenku węgla, związanego z zamknięciem obiegu C – CO₂ – C [15, 27].

Tabela 4

Oszacowane wielkości emisji gazowo-pyłowych dla kotła płomieniowego o mocy nominalnej 100KW i sprawności 85%

Paliwo	Max. zużycie paliwa	Emisje gazowe					Emisja pyłu
	B	E _{CO}	E _{CO₂}	E _{NO_x}	E _{SO₂}	E _{pył}	
	Mg/h	kg/h					
W-20%BJ	0,0171	1,55	29,72	0,02	0,10	0,41	
W-20%BA	0,0178	1,65	30,76	0,02	0,11	0,43	
W-40%BA	0,0186	1,58	29,87	0,03	0,09	0,28	
W-20%B POM	0,0162	1,52	28,28	0,05	0,12	0,40	
W-30%B OM	0,0174	1,57	29,46	0,07	0,11	0,38	
W	0,0163	1,63	30,16	0,02	0,12	0,49	

Powszechnie uznawanymi indykatorami „ekologiczności” paliwa są parametry emisji ditlenku siarki i pyłu lotnego. Obliczone emisje ditlenku siarki i pyłu ogółem potwierdziły, że wszystkie kompozycje biomasowych źródeł z węglem wykazują niższą od węgla emisję tych substancji.

Warto zaznaczyć, iż niektóre źródła literaturowe [20] podają, że w przypadku spalania kompozycji węgla i biomasy powstaje tzw. efekt synergii powodujący, że redukcja emisji zanieczyszczeń jest wyższa niż wynika to z addytywności dodatku biomasy do węgla.

Wnioski

Analiza emisji gazowo-pyłowych procesu współspalania wybranych do badań kompozycji biomasowych źródeł biomasy z węglem pozwala sformułować poniższe spostrzeżenia.

1. Wyniki ustalonych wartości wskaźników unosu dla spalanych kompozycji biomasowych z węglem są niższe niż dla węgla, przy czym w miarę wzrostu zawartości biomasowego źródła w węglu uciążliwość środowiskowa zmniejsza się od 10% do 40%.
2. Uzyskane wskaźniki emisji SO₂ dla kompozycji biomasy odpadowej z węglem, w szczególności przy udziale wyłoków aroniowych i jabłkowych, są niższe niż dla węgla.
3. Można zatem orzec, że obliczone emisje ditlenku siarki i pyłu ogółem (kg/h), jako wskaźniki walorów ekologicznych paliwa, potwierdziły, że wszystkie kompozycje biomasowych źródeł z węglem wykazują niższą od węgla emisję tych substancji i dlatego biomasowe źródła można nazwać „ekologicznymi dodatkami” do konwencjonalnych źródeł energii.

Literatura

- [1] Armesto L., Cabanillas A., Bahillo A., Segovia J., Eskalada R., Marti-nez J., Carrasco J. (1997): Coal and biomass co-combustion on fluidized bed: Comparison of circulating and bubbling fluidized technologies. 14th Internat. Conf. on Fluid. Bed Comb. Vol. 1 ASME: 301 – 311
- [2] Arsenault R., Grandbois M., Chornet E., Timbers G., (1980): Pyrolysis of agricultural residues in a rotary kiln. Thermal conversion of solid residues and biomass. Am. Chem. Soc.: 337 – 350
- [3] Bratuszewska E. (1999): Lepiej spalać słomę. *Zdr. Żyw. Zdr. Styl Życia*. 4(46): 31 – 32
- [4] Brereton C. (1997): Combustion performance. Circulating Fluidized Bed (edited by Grace J., Avidan A., Knowlton T.): 369 – 416
- [5] Buchoski J. (2004): Bioenergetyka polska – blaski i cienie. *Rynek Energetyki* 4, 18 – 21
- [6] Chruściel S., Nowicki M. (1977): Problemy obliczeniowe w ochronie atmosfery. Część I, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa
- [7] Fryda L., Panopoulos K., Pavlidou E., Kakaras E. (2006): Experimental investigation of fluidised bed co-combustion of meat and bone meal coals and olive bagasse. *Fuel* 85, 12 – 13, 1685 – 1699
- [8] Gradziuk B., Gradziuk P. (1995): Biomasa jako materiał energetyczny. *Tytuł Polski* 9/18: 14 – 15
- [9] Guzenda R., Świegoń J. (1994): Technologiczne i ekologiczne aspekty spalania masy drzewnej. *Gospodarka Paliw. Energ.* 3: 10 – 20
- [10] Helmer W. A., Stokke D. D., Carbondale I. L. (1998): A case study of fluidised-bed combustion of wood/coal mixtures, Part A, The effect of wood particle size. *Forest Prod. J.* 48(3): 46 – 49
- [11] IPCC/OECD, (1995): Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 1.2 and 3 Bracknell, UK
- [12] Kicherer A., Gerhardt T., Spliethof H., Hein K. (1995): Co-combustion of biomass/sewage sludge with hard coal in a pulverized fuel semi-industry application test rig. Combined combustion of biomass/sewage sludge and coals. Final Reports. EC-Research Project. APAS-contract COAL-CT 92-0002
- [13] Korzeniowski Z. (2001): Słomiana energia. *Środowisko* 2: 14 – 16
- [14] Kowalewicz A. (2000): Podstawy procesów spalania. WNT, Warszawa
- [15] Kruczek H., Miller R., Tatarek A. (2000), Spalanie i współspalanie biomasy – korzyści i zagrożenia. *Gospod. Paliw. Energ.* 3: 13 – 19
- [16] Kruczek S., Skrzypczak G., Muraszkowski R. (2007): Spalanie i współspalanie biomasy z paliwami kopalnymi. *Czysta Energ.* 6: 32 – 35
- [17] KTBL Arbeitspapier 249 – Kofermentation; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft – KTBL; Darmstadt
- [18] Kubica K. (2001): Spalanie biomasy w urządzeniach grzewczych małej mocy – emisja zanieczyszczeń. *Mat. Międzynar. Konf. Nauk.pt. „Odnawialne źródła energii u progi XXI wieku”, Warszawa, 419 – 426*
- [19] Kubica K., Raińczak J., Ściążko M. (2002): Współspalanie miała i zrębów drewna. Energetyczne i ekonomiczne wyniki badań. *Mat. Konf. Nauk. pt. „Energia z biomasy”, Wrocław, 75 – 81*
- [20] Kubica K. (2003): Spalanie biomasy i jej współspalanie z węglem. *Cz. I, Biul. Ekolog. PKE OG.* 5: 3 – 5

- [21] Kubica K., Raińczak J. (2003): Współspalanie węgla i biomasy w instalacjach kotłów rusztowych. Mat. Międzynar. Konf. Nauk. pt. „Spalanie paliw alternatywnych w energetyce i przemyśle cementowym”. Opole
- [22] Kubik B. (2006): Odnawialne paliwo w przemyśle cukrowniczym -ekonomiczne i ekologiczne przesłanki wykorzystania wysołków buraczanych. Rozpr. doktorska, PR, Radom
- [23] Lech-Brzyk K. (2001): Ekologiczne i prawne spalania drewna poprodukcyjnego, Mat. Międzynar. Konfer. pt. „Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku”, Warszawa: 427 – 434
- [24] Leckner B., Karlsson M. (1993): Emission from circulating fluidized bed combustion of wood and coal. *Fluidized Bed Comb.* Vol. 1 ASME: 109 – 115
- [25] Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (1996): Wskaźniki emisji substancji zanieczyszczających, wprowadzanych do powietrza z procesu energetycznego spalania paliw. Mat. Inform. Instrukc. seria 1/96, Warszawa
- [26] Nadziakiewicz J., Kozioł M. (2001): Efekty ekologicznego współspalania węgla i odpadów stałych w kotłach rusztowych. Mat. z VII Wiosennego Spotk. Ciepłowników: 47 – 55
- [27] Nowak W., Sekret R. (2002): Emisje zanieczyszczeń gazowych w procesie fluidalnego spalania węgla brunatnego i biomasy. *Gospod. Paliw. Energ.* 2: 7 – 14
- [28] PN-81/G-04513. Paliwa stałe. Oznaczenie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej
- [29] PN-G-04516:1998. Paliwa stałe. Oznaczenie zawartości części lotnych metodą wagową
- [30] PN-G-04560:1998. Paliwa stałe. Oznaczenie zawartości wilgoci, części lotnych oraz popiołu analizatorem automatycznym
- [31] PN-G-04571:1998. Paliwa stałe. Oznaczenie zawartości węgla, wodoru i azotu automatycznymi analizatorami. Metoda makro
- [32] PN-G-04584:2001. Paliwa stałe. Oznaczenie zawartości siarki całkowitej i popiołowej automatycznymi analizatorami
- [33] Radović U. (1997): Zanieczyszczenie atmosfery. Źródła oraz metodyka szacowania emisji zanieczyszczeń. CIE, Warszawa
- [34] Ross A. B., Jones J. M., Chaiklangmuang S., Pourkahanian M., Williams A., Kubica K., Andersson J. T., Kerst M., Danihelka P., Bartle K.D. (2002): Measurement and prediction of the emission of pollutants from the combustion of coal and biomass in a fixed bed furnace. *Fuel*: 1045 – 1051
- [35] Splietchoff H., Hein K. R. G. (1998): Effect of co-combustion of biomass on emissions in pulverized fuel furnaces. *Fuel Process. Technol.* 54: 189 – 205
- [36] Szpil. Z. (2001): Słoma – paliwo ekologiczne i tanie. *Aura* 6: 19
- [37] Tomeczek J., Woitkowska A., Jastrząb Z. (2003): Emisja N₂O z przemysłowych palenisk fluidalnych. *Gospod. Paliw. Energ.* 3: 5 – 8
- [38] Wiszniewski W. (1999): Innowacyjność polskich przedsiębiorstw przemysłowych. Procesy dostosowawcze do polityki innowacyjnej Unii Europejskiej. Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemysle „ORGMAZ”, Warszawa



II Szkoła Energetyki Jądrowej

3-5 LISTOPADA 2009
WARSZAWA

Wszystkie informacje na stronie: www.iea.cyf.gov.pl

Instytut Energii Atomowej 	Stowarzyszenie Elektryków Polskich 	Polskie Towarzystwo Nukleoniczne 
---	--	--

W sprawach merytorycznych informacji udziela:
doc. dr Andrzej Strupczewski
tel. 022 718 03 05
e-mail: a.strupczewski@cyf.gov.pl

W sprawach organizacyjnych informacji udziela:
mgr Ewa Szlichcińska
tel. 022 718 00 07
e-mail: biblioteka@cyf.gov.pl