



Energy from sawmill and agricultural waste biomass

Danuta KRÓL¹, Aleksandra BORSUKIEWICZ-GOZDUR²

¹ Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice tel. 32 237 11304, fax.32 237 11 67, e-mail: danuta.j.krol@polsl.pl

² Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Szczecin, al. Piastów 19 tel. 91 449 41 36, fax. 91 449 45 91 e-mail: aborsukiewicz@zut.edu.pl

Abstract

Biomass- no matter the source- has been acknowledged as the transporter of energy of crucial importance. The energy industry is obliged by the law to enlarge the share of energy from renewable resources in the fuel energetic balance of Poland. The paper presents fuel characteristics of sawmill wood waste with high humidity and some types of agricultural biomass. The results of the research indicate the possibility to use different biomass waste (even in the working state, so with high level of humidity) for thermal conversion processes. Ratios of the weight fractions of sulfur to chlorine in flammable substance of biofuels are also presented in order to assess whether from the point of view of the boilers operation they meet safe criterion.

Keywords: plant biomass, combustion

Streszczenie

Energia z odpadowej biomasy tartacznej i rolniczej

Biomasie – niezależnie od źródła – przypisuje się największe znaczenie wśród nośników energii odnawialnej. Energetyka jest zobligowana aktami prawnymi do zwiększenia udziału energii pochodzącej z odnawialnych źródeł, w bilansie paliwowo energetycznym Polski. W pracy przedstawia się charakterystykę paliwową tartacznych odpadów drzewnych o dużym stopniu wilgotności i kilku rodzajów biomasy pochodzenia rolniczego. Wyniki badań wskazują na możliwość wykorzystania różnych odpadów biomasowych (nawet w stanie roboczym, a więc o znacznym stopniu zawilgocenia) do procesów termicznych przemian. Przedstawiono również wartości stosunków udziałów masowych siarki do chloru w substancji palnej biopaliw, aby ocenić czy z punktu widzenia eksploatacji kotłów, spełniają one bezpieczne kryterium.

Słowa kluczowe: biomasa roślinna, tartaczna, spalanie

1. Wstęp

W listopadzie 1997 roku opublikowana została Biała Księga Komisji Europejskiej „Energia dla przyszłości – odnawialne źródła energii”, (Energy for the Future: Renewable Energy Sources. White Paper for a Community Strategy and Action Plan), w której zawarto założenia dla strategii rozwoju odnawialnych źródeł energii w krajach Wspólnoty Europejskiej. Jest to dokument o charakterze politycznym i ekonomicznym, określający kierunek rozwoju energetyki odnawialnej dla krajów członkowskich. Kolejnym dokumentem jest Dyrektywa z 27 września 2001 r. Nr 2001/77/WE w sprawie promocji energii elektrycznej wytworzonej w źródłach odnawialnych na wewnętrznym rynku energii elektrycznej.

Główne cele jakie wyznacza polityka energetyczna Unii Europejskiej to:

- bezpieczeństwo dostaw energii,
- konkurencyjność technologii europejskich,
- ochrona środowiska.

W Polsce skutkowało to przyjęciem dokumentów w sprawie zwiększenia wykorzystania energii z odnawialnych źródeł. Najważniejsze dla sektora energetycznego kraju to m.in.: „Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej” (z dnia 23 sierpnia 2001, dokument przyjęty przez Sejm) i „Założenia (Program) Polityki Energetycznej do 2020 roku”, zgodnie z którymi powinien nastąpić wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w polityce energetycznej. Zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie paliwowo energetycznym Polski ma postępować od 2,4% w 2001 roku do 7,5% w 2010 roku i do 14% w 2020 roku. Biorąc pod uwagę wymagania, jakie stawiane są krajom Wspólnoty, niezbędne są inwestycje w rozwój technologii OZE.

Biomase – niezależnie od źródła – przypisuje się największe znaczenie wśród nośników energii odnawialnej [1]. Tę tematykę podnosi się w pracy [2]. Czołowe znaczenie przypisuje się technologiom niskoemisyjnego spalania. Dotyczy to efektywnego wykorzystania stosunkowo tanich nośników energii (biopaliw) przyjaznych dla środowiska, z reguły o mniejszej wartości opałowej od paliw kopalnych, ale o dużym, rocznym przyroście masy, a także technologii współspalania tych nośników z paliwami kopalnymi [3,4]. Biomasa roślinna – zarówno leśna, jak i nieleśna – odnawialna w procesie fotosyntezy zaliczana jest do odnawialnych źródeł energii o tzw. zerowym bilansie emisji CO₂, jako że gaz ten, emitowany w procesie spalania, jest asymilowany w fazie wzrostu przez następne nasadzenia danej biomasy roślinnej. Dąży się więc do sukcesywnego zastępowania paliw kopalnych przez takie paliwa odnawialne, jak np. biomasa agro, o znacznej wartości opałowej i obojętne dla środowiska naturalnego, z punktu widzenia emisji ditlenku węgla, odpady z sektora rolno-spożywczego [5], przetwórstwa owocowo-warzywnego [6,7], odpady z leśnictwa i przemysłu drzewnego, osady ściekowe. Ponadto, przy ich spalaniu zazwyczaj nie powstają znaczne ilości tlenków siarki SO_x, a emisja tlenków azotu NO_x jest podobna jak w przypadku spalania paliw kopalnych [1]. Bilansując zasoby energii odnawialnej, największy potencjał energetyczny (ok. 60%) stanowi biomasa [8]. W Polsce roczny potencjał energetyczny biomasy, którą można zagospodarować, to [1]:

- ponad 20 mln Mg słomy odpadowej,
- ok. 4 mln Mg odpadów drzewnych,
- ok. 6 mln Mg osadów ściekowych.

Ilość ta stanowi ekwiwalent 15-20 mln Mg węgla. Ogólny potencjał biomasy, który może być wykorzystany na cele energetyczne szacuje się w Polsce na 2882 PJ, z tego w rolnictwie może być wykorzystanych ok. 260 PJ.

Udział w produkcji energii z procesu spalania drewna w małych paleniskach w Niemczech, wynosi około 1% [9].

Elektrociepłownia w Lahti, w Finlandii jest jednym z przykładów praktycznego zastosowania w skali przemysłowej paliw biomasowych i innych odpadowych. W Elektrociepłowni w Lahti (1998 rok), w Finlandii, przy parowym kotle pyłowym (typu Bensona, 140 MWe) uruchomiono gazogenerator CFB Foster Wheeler o mocy 40-70 MW.

2. Badania właściwości paliwowych biomasy leśnej i rolniczej

Celem badań była charakterystyka paliwowa odpadów tartacznych o dużym stopniu wilgotności i biomasy „agro”. Wyniki oznaczeń były danymi wyjściowymi do badań eksperymentalnych termicznego przetwarzania badanych biopaliw. W celu wyeliminowania błędów grubych, każde oznaczenie powtarzano trzykrotnie, a w tabelach zamieszczono wyłącznie wartości średnie.

Do badań wytypowano biomasę roślinną w postaci odpadów drzewnych oraz ziaren zbóż i odpadu z przemysłu rolno – spożywczego (tłuszczowego). Oznaczono właściwości paliwowe: wilgotność, części palne i niepalne, ciepło spalania i wartość opałową oraz skład elementarny substancji palnej.

2.1. Charakterystyka materiału badawczego i przygotowanie próbek do badań

Badaniami objęto sześć rodzajów odpadów biomasy leśnej (tartacznej):

próbka nr 1. pelety,

próbka nr 2. trociny mokre,

próbka nr 3. łupki dębowe,

próbka nr 4. kora drzew iglastych,

próbka nr 5. kora drzew liściastych,

próbka nr 6. borówka niesort.;

trzy rodzaje odpadów biomasy rolniczej:

próbka nr 7. łodygi kukurydzy,

próbka nr 8. ziarno owsa,

próbka nr 9. ziarno jęczmienia;

oraz jeden odpad poprodukcyjny z przemysłu tłuszczowego:

próbka nr 10. wytloki rzepakowe.

Materiał biomasy leśnej, który stanowiły: pelety, trociny mokre, łupki dębowe, kora drzew iglastych, kora drzew liściastych, borówka niesort. pochodziły z Zakładu Produkcji Drewna TRAK w Garbatce Długiej, w woj. mazowieckim. Pod względem składu chemicznego drewno jest substancją niejednorodną, zawierającą głównie celulozę, hemicelulozę, ligninę i wodę. Wraz z wiekiem drzewa nasila się proces lignifikacji; zawartość ligniny w drewnie wzrasta, a zawartość wody maleje.

Pelety są to przetworzone odpady drzewne (trociny, wióry i zrębki), prasowane pod wysokim ciśnieniem w prasie rotacyjnej, bez substancji klejącej. Pelety produkuje się w laskach o średnicy od 6 do 25 mm i długości do kilku cm. Paliwo takie charakteryzuje się niską zawartością wilgoci (8-12%), popiołów (0,5%) i substancji szkodliwych dla środowiska oraz wysoką wartością energetyczną. Cechy te powodują, że jest to paliwo przyjazne środowisku naturalnemu, a jednocześnie łatwe w transporcie, magazynowaniu i dystrybucji. Pelety są używane do ogrzewania budynków użytkowych i gospodarstw domowych.

Trociny stanowią około 10% drewna przerabianego w tartakach. Są także produktem ubocznym skrawania, frezowania itp. w zakładach bardziej zaawansowanej obróbki drewna. Wady trocin to trudności związane z magazynowaniem, skłonność do zaparzenia (trociny bukowe) i podatność na zawilgocenia. Z uwagi na te słabe punkty trociny powinny być spalane w pierwszej kolejności.

Łupki (zrębki) drzewne to rozdrobnione drewno w postaci ścinków 5-50 mm, o nieregularnych kształtach. W tartakach są produkowane podczas obrabiania kłód.

Kora to wartościowy pod względem energetycznym odpad przemysłu drzewnego, stanowiący od 10 do 15% masy pozyskiwanego drewna. Część kory zostaje podczas obróbki drewna przetworzona na trociny. Korę przed podaniem do kotła z podajnikiem ślimakowym poddaje się zrębkowaniu.

Ziarna zbóż: owsa i jęczmienia i łodygi kukurydzy, pochodziły z upraw rolniczych w woj. zachodniopomorskim.

Wytloki rzepakowe, to odpad powstający podczas produkcji oleju z nasion rzepaku. Wytloki zawierają jeszcze ok. kilkunastu procent oleju. Stąd wytloki wykorzystuje się jako pasze dla zwierząt. Materiał badawczy niewiadomego pochodzenia (prawdopodobnie z Zakładów Tłuszczowych z zagranicy).

Próbki badanego materiału zostały pobrane zgodnie z ogólnie przyjętymi procedurami poboru prób stałych. W celu przygotowania reprezentatywnych próbek laboratoryjnych, pobrany materiał rozdrobniono i zhomogenizowano poprzez zmielenie w młynku laboratoryjnym skandynawskiej firmy IKA Labortechnik.

2.2. Oznaczanie wilgotności, części palnych i niepalnych

Wilgotność oznaczano w próbkach materiału w stanie dostarczonym do laboratorium (bez rozdrabniania) i w próbkach materiału zmielonego.

Wilgotność całkowitą oznaczano metodą wagową. Oznaczenia wykonano zgodnie z Polską Normą – PN-Z – 15008 – 02 :1993.

Części palne i niepalne oznaczano w próbkach pozbawionych wody całkowitej (przemijającej i higroskopijnej). Części palne i niepalne oznaczano metodą wagową. Oznaczenia wykonano zgodnie z Polskimi Normami – PN - Z-15008-03: 1993, PN-ISO 1171:2002.

Wyniki oznaczeń przedstawia tabela 2.2.

Tabela 2.2. Wilgotność [%], części palne i niepalne [%_{sm}].

L.p.	Rodzaj próbki	Wilgotność w stanie roboczym [%]	Wilgotność w stanie rozdrobnionym [%]	Części palne [% _{sm}]	Części niepalne (popiół) [% _{sm}]
1.	pelety	9,0	8,3	99,40	0,60
2.	trociny mokre	42,1	41,7	98,35	1,65
3.	łupki dębowe	47,8	43,7	98,55	1,45
4.	kora drzew iglastych	47,4	34,1	98,85	1,15
5.	kora drzew liściastych	38,7	33,5	90,85	9,15
6.	borówka niesort.	49,0	40,7	67,15	32,85
7.	łodygi kukurydzy	45,2	44,4	98,70	1,30
8.	ziarno owsa	14,6	10,5	98,50	1,50
9.	ziarno jęczmienia	13,3	9,8	99,20	0,80
10.	wytłoki rzepakowe	13,6	10,5	94,75	5,25

Biomasa leśna w stanie dostarczonym do analizy była bardzo wilgotna. Próbki: nr 2 trociny mokre, nr 3 łupki dębowe, nr 4. kora drzew iglastych, nr 5. kora drzew liściastych, nr 6. borówka niesort. odznaczały się wysoką zawartością wilgoci – w przypadku próbek nr 2 i 5 były to wartości na poziomie ~ 40%, a próbek nr 3, 4 i 6 na poziomie aż ~ 50%. Również próbka nr 7 łodygi kukurydzy zawierała wodę w ilości 45%. Pelety (próbka nr 1) były w najmniejszym stopniu wilgotne – 9%. W biomacie pochodzenia rolniczego w postaci ziaren zbóż (owsa i jęczmienia) i wytłoków rzepakowych oznaczono wilgotność w ilości kilkunastu (13-14) procent. We wszystkich próbkach po rozdrobnieniu materiału badawczego, wilgotność spadła o kilka procent, wskutek częściowego odparowania.

Części palne i niepalne (popiół) oraz ciepło spalania oznaczano w suchej masie próbek laboratoryjnych. Największą ilość pozostałości niepalnej oznaczono w próbce nr 6. borówka niesort., bo aż ok. 33%. Po spaleniu próbki kory drzew liściastych (nr 5) pozostało 9% popiołu, a wytłoków rzepakowych (nr 10) 5%. Pozostałe próbki zawierały części palne w ilościach powyżej 98%.

2.3. Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej

Ciepło spalania oznaczano w próbkach pozbawionych wody całkowitej (przemijającej i higroskopijnej). Oznaczenia wykonano zgodnie z Polskimi Normami – PN – ISO 1928 :2002 i PN-Z-15008-04:1993.

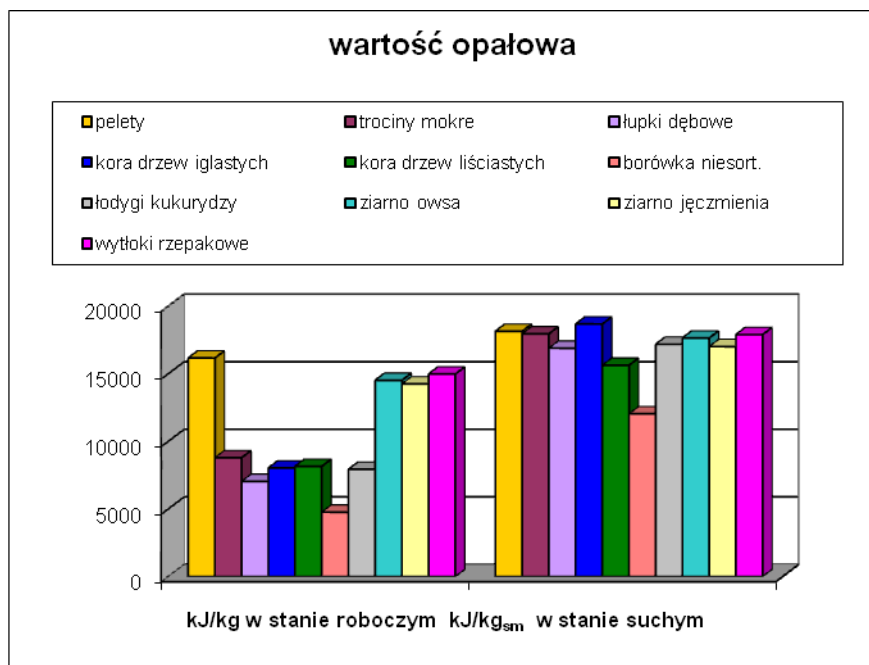
Wartość opałową materiału badawczego obliczono zgodnie z wzorem podanym w Polskich Normach - PN – ISO 1928 :2002 i PN-Z-15008-04:1993.

Wyniki oznaczeń przedstawia tabela 2.3.

Tabela 2.3. Ciepło spalania i wartość opałowa suchej masy [kJ/kg_{sm}] oraz wartość opałowa w stanie roboczym.

L.p.	Rodzaj próbki	Ciepło spalania [kJ/kg _{sm}]	Wartość opałowa [kJ/kg _{sm}]	Wartość opałowa w stanie roboczym [kJ/kg]
1.	pelety	19560	18145	16165
2.	trociny mokre	19325	17958	8794
3.	łupki dębowe	18170	16893	7040
4.	kora drzew iglastych	20025	18680	8031
5.	kora drzew liściastych	16880	15631	8154
6.	borówka niesort.	12395	12037	4767
7.	łodygi kukurydzy	18015	17179	7932
8.	ziarno owsa	18980	17646	14519
9.	ziarno jęczmienia	18320	17012	14251
10.	wytłoki rzepakowe	18990	17896	14982

Wysokie wartości wilgotności miały przełożenie na wielkości wartości opałowej biomasy w stanie roboczym, które były niższe niż dla masy suchej – w próbkach nr 2, 3, 4, 5, 6, 7 nawet blisko o połowę (rys. 2.3). Wartość opałowa próbek nr 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 materiałów w stanie suchym zawierała się w przedziale od 15600 (kora drzew liściastych) do 18700 kJ/kg (kora drzew iglastych), a dla borówki niesort. (próbka nr 6) wartość opałowa była niższa i wynosiła 12000 kJ/kg.



Rys. 2.3. Wartości opałowe biomasy roślinnej

2.4. Analiza elementarna substancji palnej

Skład elementarny paliw stałych, w tym biopaliw, a więc i materiałów roślinnych, stanowi jego podstawową charakterystykę. Na jej podstawie można np. obliczyć przybliżoną wartość ciepła spalania, a więc i wartość opałową, a także zapotrzebowanie powietrza do spalania oraz ilość i skład spalin zarówno suchych jak i wilgotnych [10,11]. O ciepłe spalania i wartości opałowej paliwa decydują udziały gramowe takich pierwiastków, jak: węgiel C, wodór H i siarka S. Im są one większe w masie palnej paliwa, tym większe ciepło spalania, a więc i wyższa wartość opałowa.

Skład elementarny (C, H, N, S, Cl, O) substancji palnej oznaczano w próbkach pozbawionych wody całkowitej (przemijającej i higroskopijnej). Węgiel, wodór, azot i siarkę oznaczano za pomocą analizatora elementarnego CHNS model 2400 seria II firmy Perkin Elmer. Chlor oznaczano zgodnie z PN-ISO 587/2000. Tlen uzupełnia udziały do 100%. Wyniki oznaczeń przedstawia tabela 2.4.

Obciążenie siarką części palnych wszystkich badanych materiałów było niewielkie: ziaren zbóż na poziomie 0,12 i 0,14%, pozostałych w ilościach setnych części procenta.

Chlor oznaczono we wszystkich próbkach, w ilościach większych od siarki. Najwięcej chloru oznaczono w łodygach kukurydzy (0,34%), łupkach dębowych (0,26%) i wytlókach rzepakowych (0,20%). W pozostałych próbkach były to ilości od 0,07% do maksymalnie 0,16%.

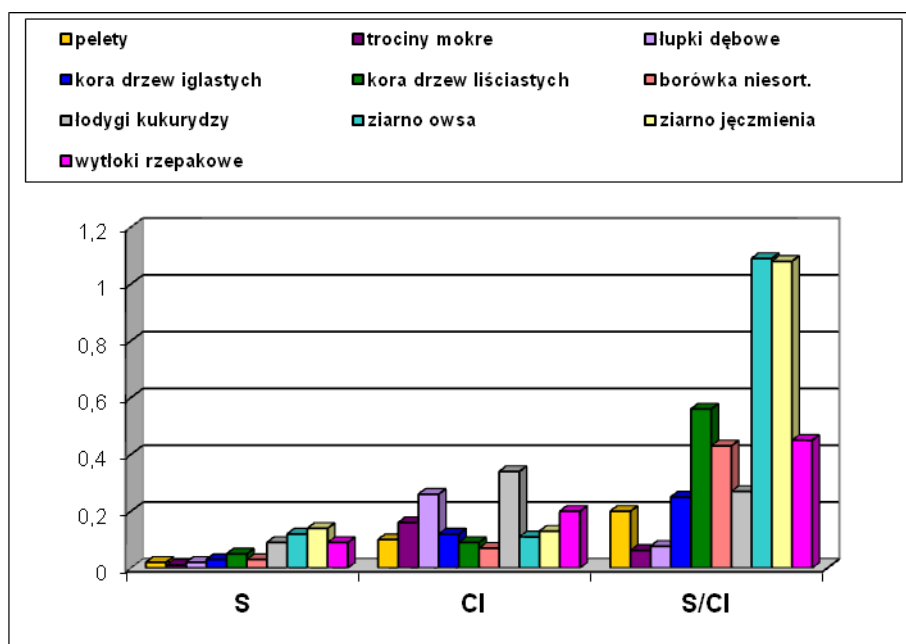
Chlor występuje w roślinach głównie w postaci chlorków, a w niewielkich ilościach – w połączeniach organicznych. Bezpośrednie spalanie biomasy roślinnej może grozić – z uwagi na udział chloru – wystąpieniem korozji wysokotemperaturowej i zużłowaniem powierzchni ogrzewalnych kotłów energetycznych. Na ogół przyjmuje się, że jeśli udział ten nie przekracza 0,3% (próbki 1÷6 i 8÷10 – rys. 2.4.), to taka substancja palna odznacza się małą (Cl < 0,2%) bądź średnią skłonnością do zużłowania. Natomiast, gdy jest on większy od 0,3%, to ta skłonność jest znaczna (w badanych próbkach dotyczy łodyg kukurydzy, których skłonność do zużłowania jest znaczna, ze względu na zawartość chloru, przekraczającą bezpieczny poziom – rys. 2.4), bądź

bardzo duża ($Cl > 0,5\%$). Jak wspomniano wyżej, chlor w biomasie występuje głównie w postaci chlorków, których obecność, a szczególnie chlorku potasu jest istotna ze względu na korozję wysokotemperaturową.

Tabela 2.4. Skład elementarny substancji palnej [%] (stan suchy, bezpopiołowy).

L.p.	Rodzaj próbki	węgiel C	wodór H	azot N	siarka S	chlor Cl	tlen O
1.	pelety	48,93	6,48	0,93	0,02	0,10	43,54
2.	trociny mokre	45,07	6,26	1,44	0,01	0,16	47,06
3.	łupki dębowe	45,33	5,85	0,82	0,02	0,26	47,72
4.	kora drzew iglastych	47,86	6,16	1,27	0,03	0,12	44,56
5.	kora drzew liściastych	36,67	5,72	0,75	0,05	0,09	56,72
6.	borówka niesort.	27,00	1,64	0,35	0,03	0,07	70,91
7.	łodygi kukurydzy	34,20	3,83	0,55	0,09	0,34	60,99
8.	ziarno owsa	44,45	6,11	1,86	0,12	0,11	47,35
9.	ziarno jęczmienia	42,28	5,99	1,51	0,14	0,13	49,95
10.	wytłoki rzepakowe	40,26	5,01	1,88	0,09	0,20	52,56

Chlorki te, odkładając się w osadach tworzących się na powierzchniach ogrzewalnych kotłów, mogą być przyczyną intensywnej korozji chlorowej. Obecność siarki w biopaliwie wpływa na obniżenie zagrożenia korozją chlorkową, poprzez zamianę jonu chlorkowego w chlorkach potasu czy sodu na jon siarczanowy, stanowiący o większej stabilności siarczanów od chlorków. W [12] podaje się, że niebezpieczny jest dopiero stan, w którym stosunek udziałów masowych S/Cl w paliwie spada poniżej 2,0. Z wyników badań przedstawionych na rys. 2.4., dla wszystkich badanych rodzajów biomasy roślinnej stosunek S/Cl, w każdym przypadku jest poniżej wartości 2,0, a więc biopaliwa nie spełniają kryterium bezpiecznego (z punktu widzenia eksploatacji kotłów) stosowania biopaliw w energetyce.



Rys. 2.4. Procentowe udziały masowe siarki S i chloru Cl oraz stosunek udziałów masowych S/Cl w suchej masie biomasy roślinnej.

2.5. Badania stężeń metali ciężkich

Próbki mineralizowano metodą mokrą wspomaganą mikrofalami, w mineralizatorze mikrofalowym Speed four firmy Berghoff Products + Instruments GmbH). Pomiary stężeń metali ciężkich: kadmu Cd, kobaltu Co, miedzi Cu, chromu Cr, manganu Mn, niklu Ni, ołowiu Pb, i talu Tl wykonano metodą płomieniowej spektrometrii

absorpcji atomowej (FAAS) za pomocą spektrometru Z - 2000 firmy HITACHI (Polarized Zeeman Atomic Absorption Spectrophotometr) z zeemanowską korektą tła. Stężenia rtęci Hg mierzone za pomocą analizatora rtęci MA- 2 NIC w próbkach stałych. Wyniki oznaczeń przedstawia tabela 2.5.

Tabela 2.5. Stężenia metali ciężkich (w stanie roboczym).

L.p.	Rodzaj próbki	Metal [ppm]								
		Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Tl	Hg
1.	pelety	<0,1	<0,1	<0,1	126,5	39,3	<0,1	7,2	<0,1	0,07
2.	trociny mokre	<0,1	1,9	<0,1	114,5	12,8	<0,1	<0,1	<0,1	0,03
3.	łupki dębowe	<0,1	<0,1	<0,1	131,2	19,9	<0,1	<0,1	<0,1	0,02
4.	kora drzew iglastych	<0,1	<0,1	<0,1	122,8	51,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,03
5.	kora drzew liściastych	<0,1	<0,1	<0,1	115,2	121,0	<0,1	<0,1	<0,1	0,02
6.	borówka niesort.	<0,1	<0,1	<0,1	137,9	187,3	<0,1	30,9	<0,1	0,03
7.	łodygi kukurydzy	<0,1	<0,1	<0,1	139,3	70,8	<0,1	7,3	<0,1	<0,01
8.	ziarno owsa	<0,1	<0,1	<0,1	121,0	10,8	<0,1	7,0	<0,1	0,03
9.	ziarno jęczmienia	<0,1	<0,1	<0,1	113,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01
10.	wytłoki rzepakowe	<0,1	<0,1	<0,1	117,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,08

Metale ciężkie Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Tl, Hg oznaczano w próbkach w stanie roboczym. Były to ilości śladowe. Poza miedzią Cu, której oznaczona ilość mieściła się w przedziale 113–140ppm, manganem Mn – od kilkunastu (w trocinach, łupkach dębowych i ziarnie owsa) i kilkudziesięciu ppm (w peletach, korze drzew iglastych, łodygach kukurydzy) do ~120ppm w korze drzew iglastych i 187ppm w borówce niesort. oraz ołowiem Pb 7ppm w peletach, łodygach kukurydzy i ziarnie owsa i 30ppm w borówce niesort., stężenia metali ciężkich w biomacie nie przekraczały 0,1ppm.

3. Posumowanie

Każde pożądane paliwo powinno się charakteryzować wysokimi parametrami energetycznymi, a więc wartość opałowa powinna być możliwie wysoka, jak najwyższa zawartość części palnych, przy jak najniższej zawartości części niepalnych (czyli stałej pozostałości rusztowej – popiołu). Wartość energetyczna paliwa w znacznym stopniu zależy od zawartości wilgoci. Wraz ze wzrostem wilgotności paliwa, wartość opałowa obniża się. Korzystne jest zatem, aby poziom wilgotności był możliwie najniższy.

Odpady biomasowe poddane badaniom posiadały dużą zawartość wilgoci (tabela 2.2), co niekorzystnie przekłada się na ich wartość opałową (tabela 2.3 i rys. 2.3). ale również będzie skutkowało trudnościami technicznymi w prowadzeniu procesów termicznych.

Istotnym jest, aby udziały pierwiastka węgla C i pierwiastka wodoru H w materiale palnym były również znaczne, z uwagi na to, że pierwiastki te kształtują efekt energetyczny procesu termicznego.

Udziały pierwiastków – siarki i azotu, tworzących w komorze spalania gazowe tlenki o charakterze kwaśnym (bezwodników kwasowych), czy halogenów (chloru, fluoru) tworzących halogenowodory, były jak najmniejsze, z uwagi na emisje kwaśnych zanieczyszczeń gazowych. Ponadto obecność siarki i chloru w paliwie, stwarza trudności eksploatacyjne kotła związane z korozją wysoko i niskotemperaturową. Udział chloru w odpadach drzewnych, ziarnach zbóż i wytłokach rzepakowych nie przekracza 0,3% (rys. 2.4.), więc te biopaliwa odznaczają się małą ($Cl < 0,2\%$), bądź średnią skłonnością do żużlowania. Wysoka zawartość chlorków metali alkalicznych, głównie KCl, sprzyja tworzeniu się ognisk korozji chlorowej wysokotemperaturowej, to jest penetracji Cl_2 w głąb struktury stali kotłowych.. Działania korozyjne chloru znacznie ograniczają żywotność stalowych elementów konstrukcyjnych kotłów (np. ekranów, elementów wymiennikowych). Problem ten aktualnie stanowi tematykę wielu prac badawczych [13,14,15,16].

W analizowanych materiałach biomasowych stosunek siarki do chloru S/Cl jest niższy od wartości 0,2 (rys. 2.4.) co oznacza, że nie spełniają one bezpiecznego kryterium z punktu widzenia eksploatacji kotłów.

Procesy spalania badanej biomasy roślinnej nie będą przyczyną znacznych emisji metali ciężkich do powietrza atmosferycznego, z uwagi na śladowe ich zawartości w materiałach palnych (tabela 2.5).

Literatura

1. Król D.: Biomasa i paliwa formowane z odpadów w instalacjach niskoemisyjnego spalania, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2013.
2. Wrzosek J., Gworek B.: Biomasa w energetyce odnawialnej, Ochrona Środowiska i Zasobów naturalnych 2010, nr 43, pp. 104-116.
3. Nadziakiewicz J.: Spalanie stałych substancji odpadowych, Wydawnictwo Gnome, Katowice 2011.
4. Bocheński I. C.: Parametry jakościowe produktów z biomasy do spalania. W: Materiały konferencyjne „Biomasa dla elektroenergetyki i ciepłownictwa – szanse i problemy”. Wyd. Wieś jutra. Sp. z o.o., Warszawa 2007, pp: 43–50.
5. Kruczek S., Głąbik R.: Biopaliwa płynne i gazowe, Materiały konf. „Alternatywne i odnawialne źródła energii Nowoczesne technologie”, Karczowiska październik 2006.
6. Borycka B.: Ekologiczne aspekty współspalania biomasy z odpadów owocowo-warzywnych z węglem, Energetyka i ekologia 2009, maj.
7. Borycka B.: Walory ekologiczne spalania biomasy z odpadów owocowo-warzywnych, Energetyka i ekologia 2009, grudzień.
8. Refuse derived fuel, current practice and perspectives – Final Report, European Commission – Directorate General Environment 2003.
9. Knaus H., Richter S., Unterberger S., Snell U., Maier H., Hein K.R.G.: On the application of different turbulence models for the computation of flow and combustion process in small scale wood heaters. Experimental Thermal and Fluid Science 2000, vol. 21, pp. 99-108.
10. Król D., Łach J., Poskrobko S.: O niektórych problemach związanych z wykorzystaniem biomasy nieleśnej w energetyce. Energetyka 2010, nr 1, s.53-62.
11. Poskrobko S., Łach J., Król D.: Badanie podstawowych właściwości paliwowych wybranych odpadów przemysłowych i paliw formowanych z odpadów. Energetyka 2009, nr 9, s.631-638.
12. Salmenioia K.: Chlorine-induced superheater corrosion in boilers fired with solid biofuels. Power Lines 2000, vol. 1, pp. 10-11.
13. Aho M, Yrjas P, Taipale R, Hupa M, Silvennoinen J.: Reduction of superheater corrosion by co-firing risky biomass with sewage sludge. Fuel 2010; vol.89, pp.:2376–86.
14. Król D.: Potato pulp as a modifier of biofuels rich in chlorine and alkali, The Energy & Materials Research Conference 2012, Torremolinos Malaga, Spain.
15. Khan AA, Jong W, Jansens PJ, Spliethoff H.: Biomass combustion in fluidized bed boilers: potential problems and remedies. Fuel Process Technol. 2009; vol.21, pp.: 21–50.
16. Nielsen HP, Frandsen FJ, Dam-Johansen K, Baxter LL.: The implications of chlorine-associated corrosion on the operation of biomass-fired boilers. Prog Energy Combust. Sci. 2000; vol.26, pp.:283–98.

Podziękowanie

The work presented in the paper was financed by the National Centre for Research and Development (NCBiR), Poland, in frame of the Project No. PBS1/A4/7/2012.