

Magdalena Komorowicz*, Hanna Wróblewska, Jacek Pawłowski*****

SKŁAD CHEMICZNY I WŁAŚCIWOŚCI ENERGETYCZNE BIOMASY Z WYBRANYCH SUROWCÓW ODNAWIALNYCH

CHEMICAL COMPOSITION AND ENERGETIC PROPERTIES OF BIOMASS FROM SELECTED RENEWABLE RESOURCES

Słowa kluczowe: biomasa, wierzba krzewiasta (*Salix viminalis* L.), topinambur (*Helianthus tuberosus* L.), miskant olbrzymi (*Miscanthus giganteus*), rdest sachaliński (*Reynoutria sachalinensis* F.Schmidt), skład chemiczny, właściwości energetyczne.

Key words: biomass, basket willow (*Salix viminalis* L.), woodland sunflower (*Helianthus tuberosus* L.), miscanthus (*Miscanthus giganteus*), giant knotweed (*Reynoutria sachalinensis* F.Schmidt), chemical composition, energetic properties.

*Evolution of civilization and exhaustion of fossil resources/raw materials is connected with increase of demand for energy from renewable sources. Renewable sources are mainly plant raw materials – biomass, which can be used as energetic or industrial raw material. In which way we use that sources, it depends on chemical composition and energetic properties of these raw materials. Estimation of these properties were made for shoots of basket willow (*Salix viminalis* L.), stems of woodland sunflower (*Helianthus tuberosus* L.), straw of perennial grass of miscanthus (*Miscanthus giganteus*) and stems of giant knotweed (*Reynoutria sachalinensis* F.Schmidt). Chemical composition (soluble substances, content of cellulose, lignin, pentosans), elemental composition (carbon, nitrogen, hydrogen and sulfur content), ash content (550°C), heat of combustion and calorific value of tested materials were determined. Tests showed diversity of content of main (cellulose, lignin, pentosans) and secondary components (substances soluble in water, 1% solution of NaOH, extraction*

* **Mgr inż. Magdalena Komorowicz – Zakład Ochrony Środowiska i Konserwacji Drewna, Instytut Technologii Drewna, ul. Winiarska 1, 60-654 Poznań; tel.: 61 849 24 26; e-mail: m_ciesiolka@itd.poznan.pl**

** **Doc. dr Hanna Wróblewska – Instytut Technologii Drewna, ul. Winiarska 1, 60-654 Poznań; tel.: 61 849 24 80; e-mail: h_wroblewska@itd.poznan.pl**

*** **Mgr Jacek Pawłowski – Instytut Technologii Drewna, ul. Winiarska 1, 60-654 Poznań; tel.: 61 849 24 82**

substances) and of calorific values of tested samples in dry, ash-free state. High ash content was characteristic of all lignocellulosic raw materials (2.10% – 5.50%).

1. WPROWADZNI

Głównym elementem polityki oszczędzania zasobów kopalnych surowców energetycznych jest uzyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych: wiatru, wody, słońca i biomasy. Udział tej energii w światowym bilansie energetycznym powinien być z każdym rokiem większy. Polska jako członek Unii Europejskiej zobowiązała się do zwiększenia udziału energii cieplnej i elektrycznej ze źródeł odnawialnych do poziomu 12,9% w 2017 r. [Dyrektywa 2001/77/WE, Rozporządzenie Ministra Gospodarki 2008]. Oznacza to, że nasz kraj musi przeznaczyć na cele energetyczne znaczne ilości biomasy, która w polskich warunkach geograficznych jest jedynym liczącym się źródłem energii odnawialnej. Biomasa może pochodzić z upraw energetycznych, drewna opałowego oraz odpadów rolniczych, przemysłowych i leśnych. Niewystarczająca podaż biomasy z tych źródeł sprawia, że energetyka sięga po sortymenty drewna (papierówka) i odpady drzewne (trociny), które były dotychczas wykorzystywane do produkcji celulozy, papieru i płyt drewnopochodnych. Spodziewane niedobory przemysłowego surowca drzewnego uzupełniane mogą być biomasa z konwencjonalnych i specjalnych upraw roślin przemysłowych i żywnościowych na gruntach rolniczych. W celu zwiększenia zainteresowania rolników uprawami energetycznymi są wprowadzane dopłaty do upraw tych roślin z budżetu Unii Europejskiej. Do otrzymania dotacji upoważnia m.in. uprawa roślin jednorocznych (jak: rzepak, rzepik, żyto, kukurydza i len włóknisty), buraków cukrowych, soi, roślin wieloletnich (jak: róża bezkolcowa, śluzowiec pensylwański, miskant olbrzymi, topinambur, rdest sachaliński, mozga trzcinowata) oraz zagajników drzew leśnych o krótkim okresie rotacji, np. wierzby energetycznej [Rozporządzenie Komisji WE 2004].

Surowce niedrzewne, jak: słoma zbożowa, trzcina, bambus, bagassa, konopie, len, juta, od lat są wykorzystywane w przemyśle celulozowo-papierniczym [Surmiński 1989]. Również przemysł tworzyw drzewnych jest zainteresowany surowcami lignocelulozowymi, które mogą zastąpić drewno [Frąckowiak 2007, Kowaluk i in. 2008, Danecki i in. 2008].

Największe zainteresowanie jako surowiec energetyczny budziła dotychczas wierzba, głównie ze względu na szybki przyrost i małe wymagania glebowe. Wydajność płoń wierzby krzewiastej według Szczukowskiego [2006] wynosi od 11,0 do 26,4 ton z hektara rocznie, przy czym zbiór roślin co 3 lata daje najkorzystniejsze rezultaty – średnio 21,6 t/ha·rok.

W polskich warunkach klimatycznych można w celach energetycznych uprawiać m.in. słonecznik bulwiasty (topinambur), trawy wieloletnie z rodziny *Miscanthus* i rdest sachaliński [Majtkowski 2007, Piskier 2007].

Przydatność niedrzewnych roślin jednorocznych i wieloletnich do wykorzystania energetycznego bądź przemysłowego zależy od właściwości chemicznych i fizycznych pozyskanej z nich biomasy.

2. CEL, MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Celem omawianych w tym artykule badań było określenie składu chemicznego i właściwości energetycznych biomasy pozyskanej z wybranych surowców lignocelulozowych. Badaniami objęto:

- jednoroczne pędy wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.),
- czteroletnie pędy wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.) w trzech wariantach: w korze, bez kory i sama kora,
- łodygi topinambura, czyli słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.),
- słomę wieloletniej trawy miskanta olbrzymiego (*Miscanthus giganteus*),
- łodygi rdestu sachalińskiego (*Reynoutria sachalinensis* F. Schmidt).

Materiał do badań pozyskano z upraw doświadczalnych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Próby biomasy suszono na powietrzu do osiągnięcia stanu powietrznosuchego, po czym pocięto na 5-centymetrowe odcinki, które rozdrobniono w młynie nożowym lub udarowym do odpowiedniej wielkości ziarna.

W próbkach o uziarnieniu 0,5–1,0 mm oznaczono według Prosińskiego [1984]:

- wilgotność metodą suszarkowo-wagową,
- zawartość substancji ekstrakcyjnych metodą Soxhleta (mieszanina etanol:benzen 1:1),
- zawartość substancji rozpuszczalnych w zimnej i gorącej wodzie,
- zawartość substancji rozpuszczalnych w 1-procentowym NaOH,
- zawartość celulozy metodą Seiferta,
- zawartość ligniny Klasona metodą Tappi,
- zawartość pentozanów metodą Tollensa,
- zawartość popiołu oznaczono w temperaturze 550°C.

W próbkach o uziarnieniu <0,20 mm oznaczono skład elementarny (zawartość węgla, azotu, wodoru i siarki), stosując analizator elementarny Flash 1112 firmy Thermo Electron Corporation. Ciepło spalania i wartość opałową wyznaczono zgodnie z normą PN-81/G-04513 z wykorzystaniem kalorymetru KL-12 Mn firmy Precyzja Bit.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Badane surowce różniły się zawartością zarówno głównych, jak i ubocznych składników drewna (tab. 1). Pędy jednoroczne i kora wierzby krzewiastej oraz łodygi topinamburu zawierały więcej substancji rozpuszczalnych w mieszaninie etanolowo-benzenowej – woski, tłuszcze i substancje żywiczne (odpowiednio 5,34%; 4,93% i 3,00%), niż rdest sach-

liński – 2,43%, miskant olbrzymi – 2,28%, czteroletnie pędy wierzby krzewiastej w korze – 1,91% i bez kory – 1,94% (tab. 1). Prosiński [1984] podaje, że dojrzałe drewno sosny, wierzby i topoli zawiera średnio od 2,2% do 5,7% substancji ekstrakcyjnych (tab. 2). Zawartość substancji rozpuszczalnych w zimnej i gorącej wodzie (garbniki, barwniki, cukry) była najwyższa w jednorocznych pędach (6,60% – zimna woda, 10,37% – gorąca woda) i w korze wierzby krzewiastej (6,16% – zimna woda, 12,02% – gorąca woda). W miskancie olbrzymim (2,86% – zimna woda, 4,99% – gorąca woda), w topinamburze (2,12% i 4,68%) i w czteroletnich pędach wierzby (2,04% i 4,36%) była na podobnym poziomie, co w dojrzałym drewnie sosny (średnio 2,1% i 6,4%). Mniej substancji rozpuszczalnych w wodzie zawierały łodygi rdestu sachalińskiego (1,78% i 4,26%), a najmniej drewno czteroletnich pędów wierzbowych (1,52% i 2,97%). Jeszcze mniej substancji rozpuszczalnych w wodzie odnotowano [Prosiński 1984] w dojrzałym drewnie wierzby białej – 1,3% i 2,7% (tab. 2). Substancje rozpuszczalne w 1-procentowym roztworze wodorotlenku sodu stanowiły aż 48,20% kory wierzbowej, 34,47% jednorocznych pędów wierzbowych i tylko 20,16% drewna czteroletnich pędów wierzbowych.

W badanych surowcach niedrzewnych najmniej substancji rozpuszczalnych w 1% NaOH stwierdzono u topinambura – 25,66%.

Roztwór 1-procentowego NaOH rozpuszcza w drewnie dojrzałym głównie hemicelulozę, a w młodocianym również częściowo celulozę i ligninę. Wysoka zawartość substancji rozpuszczalnych w 1-procentowym NaOH cechuje drewno niedojrzałe, słabo zdrewniałe, młode.

Główny składnik materiałów lignocelulozowych – celuloza oznaczona metodą Seiferta – stanowił w badanych surowcach od nieco ponad 39% absolutnie suchej masy w jednorocznych pędach i korze wierzby krzewiastej do 47,47% w miskancie olbrzymim (tab. 1). Pędy i drewno czteroletniej wierzby krzewiastej zawierały 45,97% i 45,25% celulozy (odpowiednio), a łodygi topinamburu i rdestu sachalińskiego kolejno 40,69% i 40,65%. Prosiński [1984] podaje, że w dojrzałym drewnie wierzby i sosny występuje średnio 43,6% i 48,1% celulozy (tab. 2). Zawartość pentozanów w badanych surowcach lignocelulozowych – w miskancie olbrzymim i topinamburze – wynosiła kolejno 23,57 i 22,65% (tab. 1) i była większa niż w dojrzałym drewnie wierzby białej, średnio 21,5% i topoli białej, 21,8% (tab. 2). Wierzba krzewiasta (10,22% – kora oraz od 17,05 do 18,32% – pędy) i rdest sachaliński (19,17%) zawierały mniej pentozanów niż dojrzałe drewno wierzby białej – 21,5% (tab. 1 i 2).

Najwyższą zawartość ligniny stwierdzono w korze czteroletnich pędów wierzby – 36,05%. Zawartość ligniny w łodygach rdestu sachalińskiego – 27,81%, nieokorowanych jednorocznych pędach wierzby krzewiastej – 26,04% oraz w słomie miskanta olbrzymiego – 24,62% była porównywalna z średnią zawartością tego składnika w dojrzałym drewnie wierzby białej – 25,0% (tab. 1 i 2). Łodygi topinamburu, czteroletnie pędy wierzby i drewno pędów wierzby krzewiastej zawierały natomiast odpowiednio: 20,48%, 20,04% i 17,53% ligniny, podobnie jak dojrzałe drewno topoli białej zawierające 20,4% ligniny (tab. 2).

Tabela 1. Skład chemiczny badanych surowców lignocelulozowych**Table 1.** Chemical composition of tested lignocelluloses raw materials

Składniki		Topinambur	Miskant olbrzymi	Rdest sachaliński	Wierzba krzewiasta			
					pędy jednoroczne	pędy czteroletnie		
						drewno w korze	drewno	kora
% absolutnie suchej masy								
Wilgotność		8,11	7,05	7,30	6,22	5,90	5,89	7,96
Substancje rozpuszczalne	etanol-benzen	3,00	2,28	2,43	5,34	1,91	1,94	4,93
	zimna woda	2,12	2,86	1,78	6,60	2,04	1,52	6,16
	gorąca woda	4,68	4,99	4,26	10,37	4,36	2,97	12,02
	1% NaOH	25,66	29,24	29,71	34,47	24,80	20,16	48,20
Celuloza Seiferta		40,95	47,47	40,65	39,29	45,97	45,25	39,76
Pentozany		22,65	23,57	19,17	17,05	17,53	18,32	10,22
Lignina Klasona		20,48	24,62	27,81	26,04	20,04	17,53	36,05

Tabela 2. Skład chemiczny wybranych gatunków drewna – dane literaturowe [Prosiński 1984]**Table 2.** Chemical composition of selected wood species – literature data [Prosiński 1984]

Składniki		Wierzba biała	Sosna zwyczajna	Topola biała
		% absolutnie suchej masy		
Substancje rozpuszczalne	etanol-benzen	2,2*	4,6*	5,7
	zimna woda	1,3*	2,1*	1,2
	gorąca woda	2,7	6,4*	2,0
Celuloza Seiferta		43,6*	48,1*	52,4
Pentozany		21,5*	9,8*	21,8
Lignina Klasona		25,0*	28,8*	20,4

* Wartości średnie.

Analiza elementarna wykazała, że zawartość węgla w badanych surowcach wahała się od 44,29% w czteroletnich pędach wierzby do 48,15% w słomie miskanta olbrzymiego i była mniejsza od przeciętnej zawartości tego pierwiastka (~49%) w biopaliwach stałych (CEN/TS 14961:2007). Zawartość wodoru (5,62%–6,09%) w niedrzewnych surowcach była natomiast zbliżona do zawartości tego pierwiastka w biopaliwach stałych (6,3%; tab. 3).

Tabela 3. Skład elementarny oraz właściwości energetyczne badanych surowców lignocelulozowych w zestawieniu z dojrzałym drewnem sosny i wierzby oraz węglem brunatnym**Table 3.** Elementary composition and energetic values of the studied lignocellulosic raw materials in comparison with mature wood of pine and willow, and brown coal

Surowiec	Ciepło spalania	Wartość opałowa			Skład elementarny				Popiół	
		w stanie			C	H	N	S		
		analitycznym	roboczym	suchym bezpopiołowym						
MJ/kg	MJ/kg			% absolutnie suchego surowca						
Topinambur	16,128	14,588	14,699	16,653	45,77	6,08	0,31	0	2,51	
Miskant olbrzymi	17,975	16,478	16,450	18,300	48,15	6,09	0,23	0	2,10	
Rdest sachaliński	15,376	14,435	14,394	15,558	46,81	5,69	0,38	0	2,67	
Wierzba krzewiasta	pędy jednoroczne	18,150	16,715	16,876	18,489	44,96	5,79	0,70	0	1,77
	pędy czteroletnie	17,867	16,437	16,688	18,095	44,29	5,75	0,37	0	1,23
	drewno pędów czteroletnich	18,376	16,956	17,094	18,422	44,44	5,77	0,24	0	0,62
	kora pędów czteroletnich	17,016	16,300	16,345	17,695	44,67	5,62	1,28	0	5,69
Sosna	–	–	–	18,800	49,7	6,3	0,13	0,02	0,60	
Buk	–	–	–	18,400	47,9	6,2	0,22	0,02	0,50	
Węgiel brunatny	–	–	–	27,000	68,4	5,5	1,8	1,3	7,60	

Zawartość azotu w badanych surowcach była zróżnicowana od 0,23% w miskancie i 0,31% w topinamburze do 0,70% w jednorocznych pędach wierzby i 1,28% w korze wierzby (tab. 3). Według literatury zawartość azotu w biopaliwach stałych waha się od 0,5 do 1,4% (CEN/TS 14961:2007).

Przeciętna zawartość popiołu w biopaliwach stałych nieдрzewnych kształtuje się na poziomie od 4 do 7%. W drewnie liściastym i iglastym wynosi 0,3%, w korze drzew liściastych 5%, a w drewnie wierzby 2% (CEN/TS 14961:2007). Zawartość popiołu w badanych próbkach biomasy nie przekraczała tych typowych wartości dla surowców roślinnych i wynosiła od 0,62% w drewnie wierzby do 5,69% w korze wierzby, a zatem była mniejsza niż zawartość popiołu w węglu brunatnym – 7,60% (tab. 3).

Ciepło spalania badanych surowców wahało się od 16,128 MJ/kg topinamburu do 18,376 MJ/kg drewna wierzby krzewiastej (tab. 3). Wartość opałową badanych materiałów obliczono na podstawie ciepła spalania, wilgotności, zawartości wodoru i popiołu w stanie analitycznym (wilgotność materiału po przygotowaniu próbki do analizy) oraz w stanie roboczym (wilgotność produktu/materiału jako gotowego paliwa) i w stanie suchym bezpopiołowym (tab. 3). Wartość opałowa paliwa zależy od zawartości wilgoci i popiołu – im wyż-

sza zawartość wody i substancji niepalnych w paliwie, tym niższa jego wartość opałowa. W praktyce ważna jest wilgotność i zawartość popiołu w chwili dozowania paliwa do kotła, jednakże do celów porównawczych przyjęto podawanie wartości opałowej w stanie suchym i bezpopiołowym (wartość teoretyczna).

Porównanie wartości opałowej badanych surowców wykazało, że wartość tego parametru jest najniższa dla materiału w stanie roboczym, wyższa dla materiału w stanie analitycznym a najwyższa dla materiału w stanie suchym i bezpopiołowym (tab. 3).

Wartość opałowa badanych próbek miskanta i ślázowca wynosiła w stanie suchym i bezpopiołowym kolejno: 18,272 MJ/kg i 18,300 MJ/kg; wierzby 18,489 MJ/kg, a topinamburu 16,653 MJ/kg (tab. 3). Topinambur odznaczała zatem najniższa a wierzbę krzewiastą najwyższą wartość opałowa. Przeciętna wartość opałowa w stanie suchym i bezpopiołowym dla roślin jednoliściennych (traw, słomy zbóż i trzciny) według Specyfikacji Technicznej (CEN/TS 14961:2007) wynosi 18,4–18,5 MJ/kg drewna liściastego i 19,0–19,2 MJ/kg drewna iglastego, a dla wierzby 18,4–18,8 MJ/kg (tab. 3). Z badanych roślin tylko topinambur miał mniejszą wartość opałową niż zakresy podane w specyfikacji, a także od wymagań normy DIN 51731 w odniesieniu do sprasowanych paliw z cząstek drzewnych (17,500–19,500 MJ/kg). Wartość opałowa pozostałych badanych surowców, a w szczególności wierzby (18,489 MJ/kg) spełniała wymagania normy DIN 51731 dotyczącej drewna. Zawartość azotu (0,70%) i popiołu (1,77%) w wierzbie przekraczała natomiast limity podane w tej normie (<0,3% azotu i <1,5% popiołu). Pozostałe surowce niedrzewne również nie spełniały wymagań normy DIN 51731, jeżeli chodzi o zawartość popiołu i azotu, mimo że zawartość tych substancji była niższa w badanych roślinach, mniejsza od przeciętnej przytoczonej w Specyfikacji Technicznej (CEN/TS 14961:2007).

Biopaliwa w porównaniu z węglem brunatnym cechuje mniejsza zawartość popiołu (od dwóch do czterech razy) i mniejsza wartość opałowa (ok. 40 %). Można zatem sądzić, że w odniesieniu do jednostki energii uzyskanej w procesie spalania ilość popiołu z biopaliwa będzie większa niż z węgla brunatnego. Kalembasa [2006] stwierdziła, że popiół ze spalania biomasy zawiera makro- i mikroelementy wyniesione z plonem z gleby i może zostać wykorzystany do nawożenia upraw rolniczych.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały różnice między biomasą uzyskaną z roślin niedrzewnych a biomasą z wierzby krzewiastej.

Biomasa ze słonecznika bulwiastego, miskanta olbrzymiego i rdestu sachalińskiego różniła się od dojrzałego surowca drzewnego czterokrotnie większą zawartością popiołu i mniejszą wartością opałową (15,6–18,3 MJ/kg wobec 18,4–18,8 MJ/kg).

Biomasa uzyskana z jednorocznych i czteroletnich pędów wierzby krzewiastej, a zwłaszcza z pozyskanej z nich kory, zawierała średnio więcej popiołu niż dojrzałe drewno (0,62–5,69%). Jej wartość opałowa 17,7–18,5 MJ/kg spełniała wymagania normy DIN 51 731.

Skład chemiczny badanej biomasy wierzbowej – charakterystyczny dla drewna młodego – był zróżnicowany w zależności od badanego surowca wierzbowego: pędy jednoroczne, pędy czteroletnie, drewno, kora.

Najkorzystniejsze dla praktyki właściwości energetyczne miało drewno czteroletnich pędów wierzby krzewiastej: niska zawartość popiołu – 0,62% i wysoka wartość opałowa – 18,4 MJ/kg.

Na podstawie składu chemicznego i właściwości energetycznych biomasy z miskanta olbrzymiego, słonecznika bulwiastego, rdestu sachalińskiego i wierzby krzewiastej stwierdzono, że gatunki te są potencjalnym źródłem odnawialnego surowca lignocelulozowego, który przy wprowadzeniu odpowiednich technologii może być wykorzystany w energetyce i w przemyśle.

PIŚMIENNICTWO

DANECKI L., NICEWICZ D., KLIMCZEWSKI M. 2008: Straw as a Raw Material for Production of Fibreboards. In: Proceedings of the International Panel Products Symposium 2008, Espoo, Finland 24 – 26 October 2008: 255–259.

Dyrektywa 2001/77/WE z dnia 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych (Dz.Urz. WE L 283 z 27.10.2001 r.)

FRĄCKOWIAK I. 2007: Z badań nad wykorzystaniem alternatywnych surowców lignocelulozowych do produkcji płyt wiórowych. W: Technologia drewna wczoraj, dziś, jutro. Studia i szkice na Jubileusz Profesora Ryszarda Babickiego. ITD, Poznań.

KALEMBASA D. 2006: Ilość i skład chemiczny popiołu z biomasy roślin energetycznych. Acta Agrophysica 7(4): 909–914.

KOWALUK G., SANDAK J., PALUBICKI B. 2008. Wettability of Chosen Alternative Lignocellulose Raw Materials for Particleboards Production. In: Proceedings of the International Panel Products Symposium, Espoo, Finland 24–26 October 2008: 279–283.

MAJTKOWSKI W. 2007. Wartościowe rośliny energetyczne. W: Materiały z IV Konferencji „Biopaliwa szansą dla Polski, Dni Ślązowca”, SGGW, Warszawa, 27–28 września 2007.

Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej. PN-81/G-04513 Paliwa stałe.

PISKIER T. 2007: Topinambur – alternatywne źródło energii. W: Materiały z IV Konferencji „Biopaliwa szansą dla Polski, Dni Ślązowca”, SGGW, Warszawa, 27–28 września 2007.

Preßlinge aus Naturbelassenem Holz. Anforderungen und Prüfung. DIN 51731 Prüfung fester Brennstoffe.

PROSIŃSKI S. 1984. Chemia drewna. PWRiL, Warszawa.

Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1973/2004 z dnia 29 października 2004 r. ustanawiające szczegółowe zasady stosowania rozporządzenia Rady (WE) nr 1782/2003 w odniesieniu do systemów wsparcia przewidzianych w tytułach IV i IVa tego roz-

porządzenia oraz wykorzystania odłogowanych gruntów do produkcji surowców
Dz.U. L 345 z 20.11.2004 r.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz.U. Nr 156, poz. 969.

Specyfikacja Techniczna. Biopaliwa stałe. Wymagania techniczne i klasy. CEN/TS 14961:2007.

SZCZUKOWSKI S. (2006): Zwiększenie produkcji biomasy z wieloletnich upraw wierzby krzewiastej. W: Paliwa i Energia XXI wieku szansą rozwoju wsi i miast. W. Ciechanowicz, S. Szczukowski (red.) WIT, Warszawa: 171–181.

SURMIŃSKI J. 1989. Budowa i morfologia surowców i mas włóknistych. Wyd. AR, Poznań.